

**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, ВЕДОМСТВЕННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ФАНО
РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 07.02.2018 г. № 1

О присуждении Мирошниченко Таисии Павловне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика пламени в закрытых сосудах с пористыми стенками и микроканалах при фильтрации газа» по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 25.10.2017 г. (протокол заседания № 5/1) 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), ведомственная принадлежность ФАНО России, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказ о создании диссертационного совета № 105/НК от 11.04.2012 года.

Соискатель Мирошниченко Таисия Павловна, 1986 года рождения, в 2009 г. окончила магистратуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ имени В.В. Куйбышева)» по направлению «Прикладная математика и информатика», в 2012 г. окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН) по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ). Диссертация выполнена в Научной лаборатории перспективных технологий горения, Инженерной школе ФГАОУ ВО ДВФУ, ведомственная принадлежность Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – Минаев Сергей Сергеевич, доктор физико-математических наук, заведующий Международной лабораторией горения и энергетики, Инженерная школа ДВФУ.

Официальные оппоненты: Коржавин Алексей Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий Лабораторией физики и химии горения газов ФГБУН Институт химической кинетики горения им. В.В. Воеводского СО РАН и Крайнов Алексей Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Кафедры математической физики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кивериным

Алексеем Дмитриевичем, кандидатом физико-математических наук, исполняющим обязанности заведующего Лабораторией № 4.3.1 математического моделирования ОИВТ РАН, указала, что «Классификация математических моделей, алгоритм построения граничных условий, а также ряд новых теоретических результатов могут быть использованы для решения широкого круга задач, связанных с горением и фильтрацией газообразных сред и исследуемых в таких научных центрах как ОИВТ РАН, ИБРАЭ РАН, ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, ИПХФ РАН, ИСМАН, ИТПМ СО РАН, Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, НИЦ Курчатовский институт и др.»

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, работ, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК, – 4, общим объемом 42 стр. Вклад автора в опубликованных работах состоит в участии в постановке задач, разработке математических моделей, анализе полученных результатов. Выбор и реализация численных алгоритмов, обработка полученных данных и подготовка материалов к публикациям выполнены автором лично.

Наиболее значимые научные публикации по теме диссертации:

1. Miroschnichenko T., Gubernov V., Minaev S. Diffusive-Thermal oscillations of rich premixed hydrogen air flames in microflow reactor // *Combustion Theory and Modelling*. – 2016. – Vol. 20, Issue 2. – P. 313-327.

2. Мирошниченко Т.П., Беляков Н.С., Минаев С.С. Динамика горения газа в канале с истечением продуктов сгорания через пористую стенку // *Физика горения и взрыва*. – 2015. – № 3. С. 12-18.

3. Мирошниченко Т.П., Луценко Н.А., Левин В.А. Исследование режимов фильтрации газа из подземного резервуара при большом начальном перепаде давления // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2015. – Т. 56, № 5. – С. 149-155.

4. Луценко Н.А., Мирошниченко Т.П., Одякова Д.С., Харитонов Д.И. Параллельная реализация алгоритма для расчета двумерных нестационарных течений газа через пористые объекты с источниками тепловыделения // *Вычислительные технологии*. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 98-110.

На автореферат диссертации поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные, 6 из них содержат замечания. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы оригинальны, имеют научную и практическую значимость.

В отзывах Полежаева А.А., д.ф.-м.н., заведующего Лабораторией нелинейной динамики и теоретической биофизики ОТФ ФИАН, ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН и Мансурова З.А., д.х.н., профессора, Лауреата Государственной премии Республики Казахстан, Генерального директора РГП «Институт проблем горения» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан замечания отсутствуют.

В отзыве Кирдяшкина А.И., к.ф.-м.н., заведующего Лабораторией ФГБУН Томский научный центр СО РАН (ТНЦ СО РАН) содержатся следующие замечания и вопросы: «1. В подписи к рис. 8 имеет место опечатка. Вместо предложения «Соотношение между ... и максимальным абсолютным значением скорости ...» по смыслу должно стоять следующее: «Соотношение между ... и минимальным абсолютным значением скорости ...». 2. На стр. 12, 13 для расчета горения богатых водород-воздушных смесей в микроканале автор применяет

модель реакции с двухступенчатой кинетикой. Из автореферата неясно почему выбрана именно эта модель и откуда она взята? 3. На рис. 12 представлен ряд диаграмм $W-Q$ без описания в тексте автореферата. В чем смысл диаграмм».

В отзыве Чеботарева А.Ю., д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника Института прикладной математики ДВО РАН содержатся следующие замечания: «1. Было бы уместным к каждому рассматриваемому процессу представить исходные математические модели. Это определило бы взаимосвязь явлений с точки зрения математического моделирования и значительно упростило бы понимание работы. 2. На странице 8, в описании к рисунку 3, не понятно, что имеется в виду под временем протекания процесса».

В отзыве Штыма К.А., д.т.н., доцента, председателя правления «Центра МКТ», Автономной некоммерческой организации ДВФУ «Научно-технический и внедренческий центр «Модернизация котельной техники» содержатся следующие замечания: «1. В автореферате не отражено сопоставление результатов проведенного теоретического исследования с практическими исследованиями в описанных моделях. 2. Не ясно насколько широко возможно использование полученных данных, так как горение в энергетических установках происходит в замкнутом пространстве, насыщенном факторами прямого и косвенного воздействия».

В отзыве Яковенко И.С., к.ф.-м.н., научного сотрудника Лаборатории №4.3.1 математического моделирования, Отдела №4.3 вычислительной физики Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов (НИЦ-4 ЭФТП) ОИВТ РАН содержатся следующие замечания и вопросы: «1. Раздел 2.2 второй главы посвящен задаче моделирования истечения газа из подземного резервуара в результате скачкообразного повышения давления внутри резервуара. В автореферате не отражено, как соотносятся результаты расчетов с аналитическим решением задачи фильтрации при перепаде давлений, полученным в разделе 2.1. 2. В автореферате не указано на проведение сравнений полученных результатов вычислительного эксперимента с натурным. Хорошей проверкой рассматриваемых теоретических моделей могло быть, к примеру, сравнение хронограмм нарастания давления в закрытом резервуаре (см. рис. 5) широко представленных в литературе по определению нижнего концентрационного предела воспламенения. 3. Учитывалась ли роль скорости распространения пламени во внешнем потоке при определении критериев устойчивого прохождения пламенем в микроканале с сужением (глава 4)? 4. Воспроизводится ли пульсационный режим горения, проанализированный автором в пятой главе диссертации, в отсутствие теплопотерь на стенку канала?».

В отзыве Рабиновича О.С., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника Института тепло- и массопереноса им. А.В. Лыкова НАН Беларуси содержатся следующие замечания: 1. «...по мнению автора данного отзыва, задача о фильтрации газа в многослойной области достаточно тривиальна, и ее решение вряд ли является новым научным результатом». 2. «...использование термина «бародиффузия» как характеристики и названия II-го режима истечения газа из подземного резервуара не является удачным. В обычном понимании этот термин относится к диффузии в многокомпонентной газовой смеси, вызванной градиентом полного давления. Но в рассмотренном в диссертации случае речь идет совсем о другом, фактически, о приближении медленного сброса давления в резервуаре, когда газодинамические эффекты перестают играть заметную роль». 3. «Спорной или не совсем

продуманной кажется интерпретация полученного в 3-й главе результата об ускорении выгорания газа в резервуаре с пористыми стенками при увеличении их толщины. При анализе этого результата по-видимому надо говорить не только о скорости течения газа, но и зависимости скорости горения от давления». 4. «В автореферате много стилистически неудачных или даже неправильных выражений».

В отзыве Сеначина П.К., д.т.н., профессора, заведующего вузовско-академической лабораторией НИИ СО РАН-АлтГТУ, профессора Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова содержатся следующие замечания: «1. В третьей главе (рисунок 4 автореферата) введено понятие нормальной скорости пламени u_b , которая полагается постоянной. На самом деле видимая (пространственная) скорость продуктов горения на фронте пламени S_b является суммой нормальной скорости продуктов u_b и скорости движения газа w_b на фронте пламени, то есть $S_b = u_b + w_b$. И обе эти скорости являются переменными во времени. 2. В пятой главе (уравнение (3) автореферата) в первом уравнении в правой части, похоже, опущен коэффициент $\kappa = \lambda / c_p \rho$ при лапласиане (второй производной по координате)».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными специалистами в областях, непосредственно связанных с темой диссертации: Коржавин А.А., д.т.н., доцент, является специалистом в области процессов горения в ограниченных объемах, математического моделирования процессов горения, разработки научных основ пожаровзрывобезопасности; Крайнов А.Ю., д.ф.-м.н., доцент, является специалистом в области газовой динамики, математического и численного моделирования процессов горения газовых смесей, что подтверждается публикациями оппонентов в ведущих научных журналах. Выбор ведущей организации обоснован тем, что Киверин А.Д., к.ф.-м.н., и.о. заведующего Лабораторией математического моделирования, и другие сотрудники Отдела вычислительной физики Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов Объединенного института высоких температур РАН являются признанными, высококвалифицированными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработаны математические модели, позволяющие выявить новые закономерности процессов фильтрации газа через пористые стенки ограниченного объема и распространения пламени в каналах малого диаметра. Разработана математическая модель, позволяющая учесть процесс нарастания давления газа в сосуде за счет горения и вызванное этим процессом фильтрационное течение газа через пористую стенку в открытое пространство. Получено новое аналитическое решение задачи о фильтрации газа через многослойный пористый элемент. Выявлены два характерных режима нестационарной фильтрации газа через пористую стенку ограниченного объема при резком увеличении давления, которое вызывает распространение ударной волны. Определена минимальная скорость спутного потока газовой смеси, при которой фронт пламени проходит через сужение канала, установлены закономерности развития диффузионно-тепловой неустойчивости в микроканале с контролируемой температурой стенок.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации результативно объединены математические модели горения для закрытого сосуда и его пористой стенки, использованы существующие численные методы и получено решение новой для теории горения задачи, включающей учет фильтрации газа через пористую стенку, ограничивающую объем, в котором происходит горение газа. Результаты, полученные в диссертации, вносят существенный вклад в развитие методов расчета фильтрации и горения в объемах, ограниченных пористыми стенками, и в каналах малого диаметра. Автором получены пределы применимости приближения медленного сброса давления в задачах фильтрации газа через пористую стенку, установлена возможность прохождения пламенем узких зазоров докритического диаметра, даны оценки скорости потока газовой смеси в микропотоковом реакторе, при которых реализуются различные динамические режимы горения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные данные могут быть использованы для развития методов ликвидации последствий пожаров и взрывов в подземных газовых резервуарах или шахтах, и оценки последствий аварий на таких объектах. Полученные результаты позволяют оценить максимальное давление в резервуаре и время его достижения, интенсивность истечения продуктов горения в атмосферу. Результаты исследования горения газовых смесей в микроканалах с сужением указывают на значительное уменьшение диаметра канала, через которое может пройти пламя, в том случае, если в среде имеется ненулевая скорость спутного потока газа, и обосновывают выбор диаметра микроканала для использования в пламегасителях. Результаты исследования неустойчивостей в микропотоковом реакторе способствуют разработке миниатюрных горелочных устройств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что используемые математические модели являются корректными, в работе использованы известные и апробированные численные алгоритмы, проведен детальный анализ сеточной сходимости численных методик, установлено качественное совпадение авторских результатов с экспериментальными и расчетными данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач и создании математических моделей, анализе и интерпретации полученных результатов. Аналитическое решение задачи фильтрации газа через многослойный пористый элемент, подбор и реализация численных алгоритмов, проведение численных расчетов и их подготовка к публикации выполнены автором лично.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Мирошниченко Таисии Павловны представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится численное решение задачи о фильтрации и горении в ограниченном объеме с пористой стенкой, и задачи о горении в микроканале, имеющих существенное значение для теории горения, и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. 21.04.2016).

На заседании 07.02.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Мирошниченко Таисии Павловне ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по специальности

рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН

Алексеев Сергей Владимирович

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

Кузнецов Владимир Васильевич

«9» февраля 2018 г.

