

**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 04.03.2020 г. № 2/2020

О присуждении Фомину Павлу Аркадьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация “Моделирование взрывных и детонационных течений в многофазных средах с химическими реакциями” по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, принята к защите 20.11.2019 (протокол заседания № 12-1/2019) 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 Фомин Павел Аркадьевич, 1958 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук “Кинетика детонационных процессов в двухфазных средах” защитил в 1987 году в диссертационном совете, созданном при Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Академии наук СССР, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук. Диссертация выполнена в Лаборатории газовой детонации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: Крайнов Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский Томский государственный университет”, кафедра Математической физики, заведующий; Марков Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., ФГБУН Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук, отдел механики, ведущий научный сотрудник; Луценко Николай Анатольевич, д.ф.-м.н., и.о. главного научного сотрудника, ФГБУН Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, лаборатория механики жидкости и газа, заведующий, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, в своем положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., заместителем заведующего Отделом горения и взрыва Крупкиным Владимиром Герцовичем, указала, что “Результаты диссертации могут быть использованы в научных организациях, занимающихся вопросами реагирующих гомогенных и гетерогенных газодинамических течений (горение и взрыв, пожаро- и взрывобезопасность, технические приложения взрывных и детонационных процессов), например, в Федеральном исследовательском центре химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Институте проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Всероссийском научно-исследовательском институту противопожарной обороны МЧС России (г. Балашиха), ИГиЛ им. М.А. Лаврентьева СО РАН, ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск) и др.”

Соискатель имеет 120 опубликованных работ. По теме диссертации опубликовано 104 работы, в том числе 3 монографии, 1 патент и 36 статей в изданиях из перечня ВАК. Общий объем статей из перечня ВАК – 415 страниц. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Публикации в полной мере отражают основные результаты диссертационной работы. Вклад автора в опубликованных работах состоял в постановке задач, разработке физико-математических моделей явлений и процессов, проведении расчетов, анализе полученных результатов и подготовке публикаций. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ю.А. Николаев, П.А. Фомин. О расчете равновесных течений химически реагирующих газов // Физика горения и взрыва. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 66-72.
2. P.A. Fomin, K.S. Mitropetros, H. Hieronymus. Modeling of detonation processes in chemically active bubble systems at normal and elevated initial pressures // Journal of Loss Prevention in the process industries. – 2003. – V. 16, № 4. – P. 323-331.
3. P.A. Fomin, J.-R. Chen. Explosion safety aspects of shock wave-induced condensation in fuel-rich gaseous mixtures // Combustion Science and Technology. – 2008. – V. 180, № 7. – P. 1317-1333.
4. P.A. Fomin, J.-R. Chen. Effect of chemically inert particles on thermodynamic characteristics and detonation of a combustible gas // Combustion Science and Technology. – 2009. – V. 181, № 8. – P. 1038-1064.
5. П.А. Фомин. Моделирование ударно-волнового инициирования взрыва одиночных пузырьков, находящихся в жидких углеводородных горючих // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 75-91.
6. P.A. Fomin, A.V. Trotsyuk, A.A. Vasil'ev. Approximate model of chemical reaction kinetics for detonation processes in mixture of CH_4 with air // Combustion Science and Technology. – 2014. – V. 186, № 10-11. – P. 1716-1735.

На автореферат диссертации поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечена новизна, научная и практическая

значимость, достоверность полученных результатов, актуальность исследования, наиболее значимые научные и практические результаты проведенного исследования взрыва и детонации газовых и газожидкостных систем.

Отзыв д.т.н., профессора, заведующего кафедрой “Средства поражения и боеприпасы” ФГБОУ ВО “Балтийский государственный технический университет “Военмех” им. Д.Ф. Устинова Кэрт Бориса Эвальдовича замечаний не содержит.

В отзыве д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой “Химическая физика” НИЯУ МИФИ Губина Сергея Александровича сделаны следующие замечания. “1. В автореферате отсутствуют данные о расчетах детонационных волн в углеводородо-воздушных смесях, в которых химические превращения в зоне индукции заменяются брутто-реакцией разложения углеводородов с образованием окислов азота. 2. Трудно согласиться с утверждением о том, что “использование детальных кинетических схем для описания детонационного сгорания газообразных углеводородов неудобно своей громоздкостью, наличием большого числа констант, огромным объемом вычислений”. Применение детальных кинетических схем и их редуцированных аналогов для численных расчетов детонации в одномерной, двухмерной и трехмерной постановке общепринято, прежде всего, из-за высокой точности такого моделирования.”

В отзыве д.ф.-м.н., профессора, заведующего Отделом газовой динамики и физики взрыва Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета Архипова Владимира Афанасьевича имеются следующие замечания. “1. Размеры частиц дисперсной фазы (капель, микрочастиц) играют важную роль при описании характеристик детонационных процессов. Вместе с тем, в автореферате не всегда указаны размеры частиц (стр. 29-30, например). 2. Непонятно, какие параметры волны пузырьковой детонации приведены на диаграмме (рис. 2.3б на стр. 23). 3. Компонентные составы смесей (подрисуночные подписи к рис. 2.2, 2.3, например) трудно идентифицировать. Было бы целесообразно привести массовые доли компонентов в этих смесях”.

В отзыве д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой “Высокоскоростные летательные аппараты” ФГБОУ ВО “Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана” Селиванова Виктора Валентиновича содержится замечание: “Экспериментального подтверждения предсказанных эффектов конденсации за ударными волнами в газах и пузырьковых смесях пока не имеется. В этой связи было бы интересным привести в автореферате соображения о том, каким образом можно экспериментально подтвердить их существование”.

В отзыве д.ф.-м.н., заведующего кафедрой Газодинамических устройств ФГБОУ ВО “Новосибирский государственный технический университет” Гуськова Анатолия Васильевича сделано замечание: “Не проанализирована реальная чрезвычайная ситуация – взрыв на шахте, с описанием химических превращений в конкретной газопылевой смеси и возможностью подавления газовой детонации облаком химически инертных частиц, то есть существующими техническими устройствами”.

В отзыве д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника ФГБУН Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН Палецкого Александра Анатольевича содержатся следующие замечания. “1. Как в моделях устанавливалась однозначность решения? Какова математическая точность расчетных методов, которые позволили открыть новые эффекты? 2. Во всех ли моделях есть согласие с экспериментом? И есть ли такие сравнения моделирования и эксперимента? 3. Какова погрешность оценки времени восстановления химического равновесия в газах? 4. Стр. 15. Почему в образующейся смеси не рассматриваются радикалы Н и CH_3 ? А также развал CH_4 с образованием C_2H_2 и H_2 ?”.

В отзыве д.т.н., профессора из ООО “Горный ЦОТ” Трубицина Анатолия Александровича приведены следующие замечания. “1. В пятой главе приведены результаты расчетов параметров ДВ в газовых смесях с окислителями и частицами ряда веществ. Для расчета параметров гашения ДВ в выработках угольных шахт наибольший интерес представлял бы расчет с частицами CaCO_3 (инертная пыль, которая в основном, применяется для предупреждения и гашения взрывов в шахтах. 2. Возможно ли использование предложенных обобщенных моделей химических превращений для описания детонационного сгорания газовых смесей и алгоритма подавления детонации частицами при наличии газообразного ингибитора?”.

В отзыве д.ф.-м.н., академика НАН Беларуси, директора Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси Пенязькова Олега Глебовича и Сметанникова Андрея Сергеевича, д.ф.-м.н., главного научного сотрудника того же института имеются следующие замечания. “1. В гл. 3 рассматривается возможность конденсации паров горючего в ударной волне, распространяющейся по газовой смеси. Этот процесс может заметно изменять концентрационные пределы воспламенения (нижний и верхний). Интересно было бы получить экспериментальные подтверждения этих эффектов. 2. В гл. 5 рассмотрен вопрос об ослаблении и подавлении волны газовой детонации химически инертными частицами. Однако ничего не сказано о размерах частиц (или о функции распределения частиц по размерам). Как эти факторы влияют на выводы об ослаблении и подавлении волн детонации?”

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации, способностью оценить научную и практическую ценность работы. Марков Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., является признанным в мире специалистом в области математического моделирования взрывных и детонационных течений в газовых смесях; Крайнов Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор является известным специалистом в механике многофазных химически реагирующих систем, горению, взрывам и взрывобезопасности аэровзвесей; Луценко Николай Анатольевич, д.ф.-м.н., известен работами в области гетерогенного горения и механики химически реагирующих неоднородных сред.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что она является признанным мировым лидером по химической кинетике, взрыву и детонации газовых и гетерогенных сред, взрывобезопасности и техническим приложениям быстропротекающих высокоэнергетических процессов. Работающие в ней специалисты (д.ф.-м.н., профессор С.М. Фролов, д.ф.-м.н. Н.М. Кузнецов, д.ф.-м.н. В.Г. Крупкин и др.) могут дать обоснованную экспертную оценку достоверности, научной и практической значимости результатов работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработан комплекс физически обоснованных, простых и обладающих высокой точностью обобщенных моделей газофазных химических превращений. Он включает модели химической кинетики детонационного сгорания одно- и многотопливных углеводородо-воздушных газовых смесей и бинарной газовой смеси, содержащей монотопливо, модели химического равновесия в газах, в газожидкостных смесях при наличии межфазного массообмена, и в газопылевых смесях с химически инертной твердой компонентой. Рассматриваемые модели являются эффективным физико-математическим аппаратом для расчета химических превращений при моделировании взрывных и детонационных течений в газовых, газожидкостных и газопылевых смесях. Предложены модели взрыва и детонации газожидкостных систем: газок капельной, газопленочной, пузырьковой детонации, ударно-волновой динамики и взрыва одиночных пузырьков. Они отличаются оригинальностью описания химических превращений и межфазного массообмена, и позволяют рассматривать произвольные гетерогенные системы с точки зрения начального фазового состояния горючего и окислителя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в результате изучения взрыва и детонации газовых и газожидкостных систем установлены новые эффекты и явления, предсказано существование волн пузырьковой детонации, в которых отсутствует предвестник и имеет место скачок давления на переднем фронте. Обнаружен механизм инициирования взрыва пузырьков преломленными ударными волнами, порожденными взрывами соседних пузырьков. Предложена и обоснована концепция источника периодических акустических сигналов в жидкости на основе процесса многократного прохождения детонационной волны по пузырьковой среде, содержащей жидкое монотопливо. Показана возможность и определены условия конденсации паров горючего за фронтом ударной волны, распространяющейся по газовой смеси, и при сжатии и нагреве газа в пузырьке за фронтом ударной волны, распространяющейся по жидкости. Установлено влияние рассматриваемого конденсационного процесса на взрывоопасность газовых и пузырьковых систем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенные обобщенные модели химического равновесия и химической кинетики позволяют просто, вместе с тем физически корректно и с высокой точностью, описывать химические превращения при взрывных и детонационных процессах в газовых и газожидкостных смесях.

Имеются примеры успешного использования рассматриваемых моделей, как самим соискателем, так и другими исследователями для решения широкого круга научных задач, связанных с моделированием газовой, газокапельной и газопленочной детонации, взрыва и детонации пузырьковых систем. Обнаружены и описаны новые эффекты и явления, связанные с ударно-волновыми, взрывными и детонационными процессами в газовых и пузырьковых средах, разработаны методы моделирования взрывных и детонационных процессов в пузырьковых системах, в которых горючее и окислитель находятся в разных фазах, в гибридных системах и системах на основе жидких монотоплив. Результаты работы могут быть использованы при решении вопросов повышения пожаро- и взрывобезопасности газовых и газожидкостных систем в химической технологии и угольных шахт. Они могут использоваться при разработке технических устройств, использующих детонацию и взрыв. Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что они применялись при разработке технологий детонационно-газового нанесения порошковых покрытий, термогазодетонационного удаления заусенцев и моделировании работы двигателей, основанных на детонационном сгорании топлива.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что теоретическое моделирование химических превращений, взрыва, детонации и конденсационных процессов учитывает известные данные эксперимента, корректные физически обоснованные модели движения сплошной среды и химических превращений, и сопровождалось анализом допустимости использованных предположений. Численное моделирование взрывных и детонационных течений выполнено с использованием известных и надежных конечно-разностных методов. Проводилась вариация дискретности и тестирование расчетных схем на точных решениях. Результаты расчетов термодинамических параметров смесей в состоянии химического равновесия успешно верифицированы на соответствующих расчетах, выполненных по детальным уравнениям химического равновесия. Имеется соответствие результатов расчетов параметров и структуры взрывных и детонационных течений в газожидкостных смесях и подавления детонации частицами экспериментальным данным. Достоверность предложенного описания химических превращений и разработанных моделей взрывных и детонационных явлений подтверждается успешной практикой их применения при решении ряда научных и прикладных задач.

Личный вклад соискателя состоит в определении тематики исследований и формулировке решаемых задач, выборе методов исследования, разработке физико-математических моделей химических превращений, взрывных и детонационных процессов, создании программных средств и проведении расчетов, анализе полученных результатов и выявлении новых закономерностей рассматриваемых процессов. Основные научные результаты и выводы, сформулированные в диссертации, получены соискателем лично.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Фомина Павла Аркадьевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании проведенного автором моделирования газофазных химических превращений, взрывных и детонационных процессов в газовых и газожидкостных смесях разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в механике многокомпонентных и многофазных реагирующих сред, и соответствует критериям п. 9 “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 29.04.2013 г.

На заседании 04 марта 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Фомину П.А. 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, участвовавших в заседании, 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

06 марта 2020 г.

