

# СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.14

**Соискатель:** Москаленко Ольга Александровна

**Тема диссертации:** Численное моделирование детонации газокапельных смесей в каналах

**Специальность:** 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

## **Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 29 декабря 2016 года, протокол № 21, диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Москаленко Ольге Александровне учёную степень кандидата физико-математических наук.

## **Присутствовали:**

*председатель диссертационного совета*

Красильников П.С.,

*учёный секретарь диссертационного совета*

Гидаспов В.Ю.,

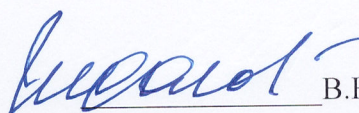
*члены диссертационного совета:*

Бардин Б.С., Бишаев А.М., Косенко И.И., Котельников В.А., Котельников М.В., Марков Ю.Г., Маркеев А.П., Ревизников Д.Л., Скороход Е.П., Стернин Л.Е., Формалев В.Ф., Холостова О.В., Ципенко А.В., Чуркин В.М.

Учёный секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.14

к.ф.-м.н., доц.

  
В.Ю. Гидаспов



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.14 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 29.12.2016 № 21

О присуждении Москаленко Ольге Александровне, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование детонации газочапельных смесей в каналах» по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите «27» октября 2016 года, протокол № 17, диссертационным советом Д 212.125.14 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: создан приказом Минобрнауки России № 714/нк от 02.11.12.

Соискатель Москаленко Ольга 1982 года рождения, обучалась с 01.11.2006 г. по 17.09.2014 г. в аспирантуре Московского авиационного института (национального исследовательского университета) Министерства образования и науки РФ.

Работает младшим научным сотрудником НИО-806 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Вычислительная математика и программирование» факультета «Прикладная математика и физика».



Научный руководитель – ведущий научный сотрудник кафедры «Вычислительная математика и программирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кандидат физико-математических наук, Гидаспов Владимир Юрьевич.

Официальные оппоненты:

1. Голуб Виктор Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физической газовой динамики Объединенного института высоких температур РАН;
2. Загордан Надежда Леонидовна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального Исследовательского Центра «Информатика и управление» РАН

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Государственный научный центр Российской Федерации федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном начальником отделения, доктором технических наук, профессором Мироновым Вадимом Всеволодовичем, заместителем начальника отделения, начальником отдела, доктором технических наук, профессором Борисовым Дмитрием Мариановичем, старшим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук Ананьевым Анатолием Викторовичем, старшим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук Роциным Антоном Сергеевичем, указала, что диссертационная работа представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 15 работах (3 в изданиях, включенных в перечень ВАК). Работа изложена ясным языком, лаконично и последовательно. Автореферат диссертации отражает основные результаты работы и соответствует содержанию диссертации.



На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**Отзыв на диссертацию ведущей организации.**

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе не указаны границы применимости предложенной физико-математической модели.

2. В диссертационной работе расчеты проводятся для монодисперсных капель воды и топлива, и при этом отсутствуют расчеты и ничего не говорится о влиянии функции распределения по размерам капель воды и топлива на параметры волн детонации.

3. Несмотря на высокую степень проработки материала и качество его оформления, в диссертационной работе имеются некоторые неточности. Например, в работе указано на несоответствия между различными справочными данными для углеводородных топлив, однако не приводится правило выбора достоверных данных, на основании которых в дальнейшем восстанавливаются термодинамические свойства этих топлив. При расчете теплофизических свойств углеводородного горючего на основе справочных данных (стр. 90-95) не соблюдаются правила округления величин, а описание процесса расчета носит неструктурированный характер. Неоднократно встречается запись через знак равенства величин разной размерности (Дж/кг и Дж/моль, кг/м<sup>3</sup> и кг/моль).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Голуба Виктора Владимировича.**

Замечания по диссертационной работе:

1. К сожалению, в работе приведено мало результатов расчетов течений с детонацией в ударной трубе, что делает затруднительным сопоставление полученных в работе результатов с экспериментальными данными.

2. В работе из жидких топлив рассмотрены метанол и керосин, интересно было бы рассмотреть и другие высокомолекулярные углеводороды (пропан, н-декан).



## **Отзыв на диссертацию официального оппонента Загордан Надежды Леонидовны.**

### Замечания по работе:

1. Для решения жесткой системы дифференциально-алгебраических уравнений используется оригинальный численный метод, однако в работе отсутствуют результаты проверки его эффективности на известных из литературы тестовых примерах; также отсутствует обоснование используемой в расчетах точности  $\varepsilon \approx 10^{-5}$  (стр. 35).

2. На стр.41 для демонстрации того, что рассматриваемая система имеет особенность, отмечено, что правая часть дифференциальных уравнений  $\Phi$  – сложная функция своих аргументов. Наверное, в диссертационной работе необходимо привести вид функции  $\Phi$ . Кроме этого в работе имеются некоторые опечатки. Так на стр. 33 слагаемое должно иметь вид  $\frac{M^2 V^2}{2}$ . На стр.103 имеется в виду следующий интервал:  $0.1 \leq M_K / M_{Air} \leq 0.2$ .

**На автореферат диссертации поступило 3 отзыва.** Все отзывы, поступившие на автореферат диссертации, положительные. В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна, достоверность полученных автором результатов и их теоретическая и практическая значимость.

### **НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова.**

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Погосбебяном Михаилом Юрьевичем.

### Замечание:

1. При моделировании процесса горения керосина использовался упрощенный кинетический механизм. Интересно было бы провести аналогичные расчеты с детальной химической кинетикой горения керосина и сравнить полученные результаты между собой, чтобы оценить применимость брутто механизма в данных условиях.



### **Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующей лабораторией плазменной газодинамики Знаменской Ириной Александровной.

#### Замечание:

В автореферате отмечено, что температура в волне детонации изменялась от 2800 К до 600 К, которая является низкой для рассматриваемого явления. Данный факт нуждается в дополнительных пояснениях.

### **Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН.**

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником Крюковым Игорем Анатольевичем.

#### Замечания:

1. В разделе 4.4 описываются результаты численного моделирования одномерного нестационарного течения газочапельной смеси керосина с воздухом в ударной трубе. Длина ударной трубы 9 метров. Диаметр в автореферате не указан. Если предположить, что диаметр приблизительно 20-30 см, то толщина пограничного слоя на стенках ударной трубы, развивающегося за ударной волной, будет весьма существенной и соизмеримой с радиусом ударной трубы. Поэтому в данной задаче необходимо учитывать вязкие эффекты и двумерность течения. Либо явно предполагать такой диаметр «ударной трубы», который заведомо намного больше толщины пограничного слоя.

2. В автореферате не всегда четко описана постановка и других задач. Например, из автореферата не ясно, учитывается или нет дробление капель.

Соискатель имеет 15 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 3 из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий. Работы опубликованы в соавторстве, при этом вклад соискателя был определяющим, а опубликованные результаты получены либо лично соискателем, либо при непосредственном участии соискателя. В опубликованных работах излагаются основные положения диссертационной



работы: физико-математическая модель, вычислительный алгоритм совместного решения одномерных уравнений физической газовой динамики, сопротивления и тепломассообмена капель жидкости с многокомпонентным газом при наличии газофазных химических превращений, описываемых многостадийными кинетическими механизмами, результаты численного моделирования горючих газовых смесей (водород-кислород-аргон, водород-воздух, метан-воздух) с добавлением капель воды и горючих газок капельных смесей метанола и керосина с воздухом.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А., Пирумов У.Г. Численное моделирование стационарных детонационных волн в газовых и газок капельных реагирующих смесях // Вестник МАИ, М., Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. Т. 16. № 2. С. 51-61.

2. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А., Пирумов У.Г. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в керосино-воздушной горючей смеси // Вестник МАИ, М., Изд-во МАИ, 2014. Т.21. № 1. С. 169-177.

3. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование инициирования детонации в керосино-воздушной газок капельной смеси падающей ударной волной // Электронный журнал "Труды МАИ". 2016. № 90.

4. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование стационарных детонационных волн в газовых и газок капельных реагирующих смесях // Материалы VII Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2008), 24-31 мая 2008 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2008. С. 140-143.

5. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование стационарных детонационных волн в горючей смеси водорода с кислородом и керосино - воздушных смесях // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества, Воскресенск, Вф НОУ ВПО «РосНОУ», 2012. С. 85-89.



6. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование стационарных волн детонации в горючих смесях углеводородов с воздухом // Материалы XVIII Международной конференции по Вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2013), 22-31 мая 2013 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2013. С. 539-542.

7. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в керосино-воздушной горючей смеси // Материалы X Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2014), 25-31 мая 2014 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2014. С.133-135.

8. Гидаспов В.Ю., Москаленко О.А. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в смеси тяжелого углеводородного горючего с воздухом // Материалы XIX Международной конференции по Вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015), 24-31 мая 2015 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 408-411.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **Предложена** уточненная замкнутая физико-математическая модель детонации и дефлаграции газочапельной смеси, состоящей из многокомпонентного газа и испаряющихся капель, в каналах.

2. **Разработан** эффективный вычислительный алгоритм решения дифференциально-алгебраической системы уравнений, включающей уравнения, описывающие законы сохранения массы, импульса, энергии, химических элементов и числа частиц, а также газофазную химическую кинетику, сопротивление и тепломассообмен.

3. **Приведен** вычислительный алгоритм и **результаты** расчета равновесных адиабат (детонационные и дефлаграционные) для смесей водород-кислород-вода, водород-воздух-вода, метан-воздух-вода, метанол-воздух, керосин-воздух. **Результаты** численного моделирования стационарной детонационной волны в газочапельных смесях, состоящих из горючей смеси



водорода и метана с воздухом и каплей распыленной воды. **Исследовано** влияние массовой доли и диаметра капель на параметры волны детонации. Определены параметры пересжатых детонационных волн и волн детонации Чепмена - Жуге.

4. **Результаты** численного моделирования стационарной детонационной волны в газокапельной смеси, состоящей из капель метанола и воздуха. Данные по влиянию массовой доли и диаметра капель на тонкую структуру детонационной волны. Определены параметры детонации Чепмена-Жуге.

5. **Разработана** методика восстановления термодинамических свойств углеводородных горючих сложного состава (в рамках модели однокомпонентной капли) для жидкой и газовой фазы. Получены соответствующие коэффициенты, входящие в температурную часть потенциалов Гиббса для бензина, керосина и дизельного топлива.

6. **Результаты** численного моделирования стационарных волн дефлаграции и детонации керосино-воздушных газокапельных горючих смесей при различных значениях массовой доли горючего. Получены параметры волн детонации и дефлаграции в режимах Чепмена-Жуге.

7. **Результаты** численного моделирования детонации газокапельной керосино-воздушной горючей смеси в модельной ударной трубе при различных соотношениях горючее-окислитель. Расчетным путем **получена** двухочаговая картина воспламенения, временная развертка процесса, включающая: взаимодействие падающей ударной волны с керосино-воздушной газокапельной горючей смесью; нагрев горючей смеси; испарение капель керосина с последующими экзотермическими газофазными химическими превращениями; образование волны сжатия; формирование и распространение волны детонации; выход детонационной волны на режим, близкий к стационарному.

**Теоретическая и практическая значимость** полученных результатов заключается в том, что разработанные вычислительные алгоритмы и комплекс программ могут использоваться для экспресс-анализа реагирующих многофазных течений в энергетических и технологических установках (в



которых реализуются высокоскоростные течения, в том числе с детонацией или дефлаграцией), а также в качестве элемента в составе комплексов программ многомерного моделирования. Предложенные в диссертации методики математического моделирования позволяют рассчитывать для газовых и газокапельных топлив произвольного состава: скорости волн детонации и дефлаграции, а также состав продуктов сгорания, температуру, давление и др., в том числе и в режиме Чепмена-Жуге; определять задержку воспламенения и тонкую структуру волн детонации, вплоть до выхода системы на равновесное состояние.

Оценка **достоверности** и **обоснованности** результатов, представленных в диссертационной работе, обеспечивается строгостью математических постановок, разработкой адекватных физико-математических моделей, устойчивостью и сходимостью используемых численных методов, тестированием вычислительных алгоритмов, а также сравнением результатов численного моделирования с результатами экспериментальных и расчетно-теоретических исследований других авторов.

**Личный вклад** соискателя состоит в том, что он принимал непосредственное участие в постановке задач, разработке вычислительных программ, проведении расчетов, их обработке и анализе, а также подготовке статей и докладов на конференциях. Соискателем реализованы используемые численные методы решения задачи, проведены вычислительные эксперименты и выполнен анализ полученных расчетных данных.

**Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней»**, так как является научно-квалификационной работой, в которой автором выполнены расчетно-теоретические исследования, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области механики жидкости, газа и плазмы.



На заседании «29» декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Москаленко О. А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета

Д 212.125.14, д.ф.-м.н., профессор

П. С. Красильников

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.14, к.ф.-м.н., доцент

В. Ю. Гидаспов

29.12.2016 г.