



Государственный научный центр Российской Федерации –
федеральное государственное унитарное предприятие

**"Исследовательский центр
имени М.В.Келдыша"
(ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша")**

ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001
kerc@elnet.msk.ru; kerc@comcor.ru; http://www.kerc.msk.ru

12.12.2016 № 2-04/266

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

**ВРИО генерального директора
ГНЦ ФГУП Центр Келдыша**



В.В. Кошляков

09.12.2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Москаленко Ольги Александровны «Численное моделирование детонации газокапельных смесей в каналах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Актуальность темы диссертации

Большой научный и практический интерес к изучению высокоскоростного горения и детонации газокапельных горючих смесей связан как с необходимостью создания систем взрывобезопасности, направленных на подавление детонации (при взрывах на угольных шахтах, в промышленности при образовании реагирующих пылей, в двигателях внутреннего сгорания и др.), так и с желанием научиться управлять детонационным горением при создании перспективных технологических и энергетических установок (установки детонационно-газового напыления, объемные взрывы, прямоточные воздушно-реактивные двигатели, перспективные двигатели, использующие энергию нестационарных и стационарных детонационных волн).

В настоящее время в России и за рубежом проводятся интенсивные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования высокоскоростного горения и детонации газовых, газокапельных и газодисперсных смесей. В тех случаях, когда используются хорошо апробированные математические модели и вычислительные алгоритмы, дополнительная информация, получаемая с помощью численного

моделирования, не уступает по надежности экспериментальным данным и превосходит последние по своей полноте.

Необходимо отметить, что задача моделирования высокоскоростного горения и детонации газочапельных смесей в полном объеме до сих пор не может быть решена с помощью широко используемых импортных и отечественных универсальных пакетов прикладных программ. Задача создания отечественного научного задела, включающего многомасштабные физико-математические модели, оригинальные вычислительные алгоритмы и комплексы программ для моделирования детонации газочапельных смесей является актуальной и востребованной.

Содержание диссертации

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы концепция и основные положения диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации.

Во второй главе представлена физико-математическая модель газочапельных течений в каналах при наличии испарения и газочапельных химических реакций, описаны использованные в работе численные методы и вычислительные алгоритмы.

В третьей главе исследовано влияние капель воды на параметры и структуру стационарной детонационной волны (ДВ) в горючих смесях: водород-кислород-аргон, водород-воздух, метан-воздух и детонация метанола-воздушной газочапельной горючей смеси.

Приводятся результаты математического моделирования:

- детонации горючих газовых смесей, подача диспергированной воды в которые приводит к ослаблению и затуханию детонационных волн. Рассмотрены смеси диспергированной воды и топлива: водород-кислород-аргон, водород-воздух, метан-воздух;

- детонации газочапельных смесей, в которых горючим являются капли метанола, а окислителем, входящий в состав воздуха кислород.

В четвертой главе рассмотрена задача численного моделирования стационарных волн горения, детонации и нестационарной детонационной волны в керосино-воздушной горючей смеси.

Приводится самосогласованная методика восстановления непротиворечивой системы теплофизических свойств тяжелого углеводородного горючего в жидком и газообразном состояниях.

Рассчитаны равновесные адиабаты продуктов сгорания керосино-воздушных горючих смесей при различных отношениях начальных масс керосина и воздуха ($0.05 \leq M_K / M_{Air} \leq 0.4$).

Проведено численное моделирование стационарных волн горения и детонации в стандартных условиях при отношении начальных масс керосина и воздуха в диапазоне от 0.01 до 1. Расчетным путем получена структура стационарных волн горения и детонации, включающая нагрев и испарение частиц, воспламенение и соответствующее изменение температуры и состава продуктов сгорания. Исследовано влияние массовой доли керосина на минимальную скорость стационарной детонации и максимальную скорость газа при которой существует стационарная волна горения.

Проведено численное моделирование детонации газокapельной керосино-воздушной горючей смеси в модельной ударной трубе при различных соотношениях горючее-окислитель. Расчетным путем получена временная развертка процесса, включающая: взаимодействие падающей ударной волны с керосино-воздушной газокapельной 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.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Основные результаты

В диссертационной работе получены следующие новые результаты:

1. Предложена уточненная универсальная физико-математическая модель высокоскоростных течений многокомпонентного газа и капель жидкости для случая равновесных и неравновесных, описываемых многостадийными кинетическими механизмами, химических превращений в газовой фазе, в которых участвуют как вещества, входящие в состав газа, так и продукты испарения капель.

2. Разработан эффективный 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.

3. Численно решена задача о стационарных волнах детонации и дефлаграции в канале в горючей смеси, состоящей из многокомпонентного реагирующего газа и испаряющихся капель. Рассчитаны равновесные адиабаты и структура волн детонации в горючих газовых смесях (водород-

кислород-аргон, водород-воздух, метан-воздух) с добавлением капель воды и горючих газокапельных смесях метанола и керосина с воздухом.

4. Разработан метод получения коэффициентов, входящих в аппроксимационные формулы температурной части потенциала Гиббса для жидкого и газообразного состояния углеводородных горючих сложного состава (бензина, керосина и дизельного топлива), моделируемого в рамках модели однокомпонентной жидкости.

5. Расчетным путем получена нестационарная картина инициирования детонации в газокапельной керосино-воздушной смеси падающей ударной волной. Показано, что использование модели горения с необратимыми реакциями может приводить к завышенным температурам продуктов сгорания, а также к зависимости конечной температуры от диаметра капель при неизменной массовой доле горючего. Расчетным путем получено, что параметры стационарных волн горения и детонации асимптотически стремятся к равновесным значениям – точке на равновесной адиабате. Расчетным путем обнаружено, наблюдаемое в экспериментальных исследованиях, двухочаговое воспламенение горючей смеси.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность результатов представленных в диссертационной работе не вызывает сомнений, т.к. они основаны на строгих физико-математических моделях, устойчивых численных методах. Используемые в работе модели и численные методы верифицировались сравнением с результатами экспериментальных и расчетно-теоретических исследований других авторов.

Теоретическая и практическая значимость и рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

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.

Результаты работы могут быть использованы при разработке систем управления детонацией для изучения взрывобезопасности при образовании реагирующих пылей (объемные взрывы) и для проектирования различных энергетических и технологических установок, использующих энергию нестационарных и стационарных детонационных волн (прямоточные двигатели, установки детонационно-газового напыления и пр.).

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 расчёты 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 расчёте теплофизических свойств углеводородного горючего на основе справочных данных (стр. 90-95) не соблюдаются правила округления величин, а описание процесса расчёта носит неструктурированный характер. Неоднократно встречается запись через знак равенства величин разной размерности (Дж/кг и Дж/моль, кг/м³ и кг/моль).

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, достоверности, значимости и новизны полученных результатов.

Заключение

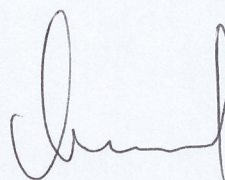
Диссертационная работа Москаленко О.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 15 работах (3 в изданиях, включенных в перечень ВАК). Работа изложена ясным языком, лаконично и последовательно.

Автореферат диссертации отражает основные результаты работы и соответствует содержанию диссертации.

На основании вышесказанного считаем, что диссертационная работа Москаленко Ольги Александровны «Численное моделирование детонации газочапельных смесей в каналах» соответствует всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», а соискатель Москаленко Ольга Александровна заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа обсуждена на заседании секции НТС отделения 2 ГНЦ ФГУП Центр Келдыша (протокол № 12 от «05» декабря 2016 г.)

Начальник отделения,
д.т.н., профессор




В.В. Миронов

Заместитель начальника отделения
Начальник отдела,
д.т.н., профессор



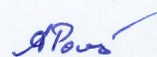
Д.М. Борисов

Старший научный сотрудник,
к.ф.-м.н.



А.В. Ананьев

Старший научный сотрудник,
к.ф.-м.н.



А.С. Роцин

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

Адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Сайт: <http://www.kerc.msk.ru>

Email: kerc@elnet.msk.ru; kerc@comcor.ru

Телефон: +7(495)456-4608