

Отзыв

официального оппонента Маркова Владимира Васильевича на диссертационную работу Фомина Павла Аркадьевича «Моделирование взрывных и детонационных течений в многофазных средах с химическими реакциями», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация посвящена разработке простых моделей быстропротекающих физико-химических процессов в многокомпонентных и многофазных средах и исследованию на их основе ударных и детонационных волн в газовых, газожидкостных и газопылевых смесях.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена потребностью в решении прикладных проблем применения взрывных процессов в технологических и энергетических устройствах, обеспечения взрывобезопасности при хранении, транспортировке и работе с горючими смесями, а также подавления неконтролируемых взрывов в протяженных объемах на производствах и в угольных шахтах.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 373 наименований, изложена на 291 странице, содержит 212 рисунков и 5 таблиц.

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертации, достоверности полученных результатов, научной новизны, научной и практической ценности работы, достоверности полученных результатов, определена цель и основные задачи исследования, сформулированы выносимые на защиту результаты и описана структура диссертации.

В первой главе автор развивает двухстадийную модель Ю.А. Николаева для описания химического равновесия в газовых, газожидкостных, газопылевых смесях и химической кинетики детонационного горения газовых углеводородных смесей. Рассматриваются углеводородные горючие произвольного состава C_nH_m , смеси двух и более горючих (CH_4 , CO , H_2 , C_nH_m), смеси, содержащие монотопливо (водород-кислород-перекись водорода).

Предложены модели химического равновесия для газожидкостных смесей с реакцией в газовой фазе и межфазным тепло - и массообменом, а также для смеси газа с химически инертными частицами.

Во второй главе представлены результаты исследования ударно-волновых процессов в химически активных пузырьковых средах с использованием данных высокоскоростной оптической регистрации. Обнаружен двухстадийный механизм взрыва пузырьков, при котором сначала происходит их сжатие в первичной ударной волне, а затем горючее взрывается под воздействием вторичных ударных волн, вызванных взрывами соседних пузырьков. Рассмотрены также среды, в которых горючее и окислитель предварительно не перемешаны, гибридные смеси, а также пузырьковые смеси на основе жидких монотоплив. В результате расчетов пузырьковой детонации установлено, что она может распространяться по смеси со сверхзвуковой скоростью, без предвестника, но со скачком давления на переднем фронте. Предложена конструкция источника мощных периодических акустических сигналов в жидкости, вызываемых детонационной волной в пузырьковой смеси на основе жидких монотоплив (акустического лазера).

В третьей и четвертой главах установлена возможность конденсации паров газообразного топлива за ударными волнами, и в пузырьках, сжимаемых ударной волной, при условии близости показателя адиабаты газовой фазы к единице. Рассматривалась насыщенная газовая смесь паров циклогексана с окислителем и кислородсодержащий пузырек в жидком циклогексане. Расчет производился в рамках предложенной модели химического равновесия.

В пятой главе в рамках разработанной модели химического равновесия изучается влияние химически инертных твердофазных частиц на ослабление и подавление детонационных волн в газопылевых смесях. Предложены алгоритмы оценки минимальной концентрации конденсированной фазы, обеспечивающей подавление детонации, и предела распространения детонационной волны в зависимости от состава газа и концентрации частиц в смеси. Установлено, что эффективность ослабления и подавления газовой

детонации химически инертной пылью повышается с увеличением теплоемкости частиц. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

В Заключение приводятся основные результаты и выводы.

Автором предложена совокупность простых моделей химических превращений и решен ряд новых конкретных задач о течениях газовых и газожидкостных смесей. В процессе исследования обнаружены новые физические эффекты и явления: инициирование пузырьков преломленными ударными волнами, распространение пузырьковой детонации со скачком давления на переднем фронте, ударно-волновая конденсация паров в газах и пузырьках и ее влияние на взрывобезопасность. Предложена концепция акустического “лазера”.

Достоверность представленных в диссертации результатов определяется уровнем достоверности предположений, заложенных в физические и аналитические модели.

Многочисленные примеры успешного практического использования полученных в диссертации результатов показывают, что проведенное исследование может быть полезно при решении вопросов взрывобезопасности газовых и газожидкостных систем, в частности, химических реакторов, в угольных шахтах, а также при разработке энергоустановок различного назначения.

Диссертационная работа является законченным научным исследованием, все части которой связаны между собой объектом исследования и единым подходом с использованием предложенной в первой главе простой модели кинетики для описания процессов с учетом взаимного влияния движения сплошной среды, химических реакций и межфазного взаимодействия. Диссертация - плод многолетнего упорного труда Павла Аркадьевича Фомина.

Совокупность представленных в диссертации результатов может рассматриваться как научное достижение, являющееся существенным вкладом в развитие инженерных методов исследования взрывных и детонационных

явлений в газовых и газожидкостных смесях, способствующее пониманию их механизмов и возможности их применения для решения проблем взрывобезопасности и практического использования в технике.

Полученные в диссертации результаты полностью опубликованы в ведущих научных российских и международных журналах из списка ВАК, в научных монографиях и трудах российских и международных конференций.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

По существу диссертационной работы и качеству ее оформления.

Следующие ниже замечания обусловлены, в первую очередь, неправильной, по мнению рецензента, оценкой соискателем возможности использования детальных моделей химической кинетически, а также ошибочными утверждениями об отсутствии до него проведенных исследований по некоторым проблемам, затронутым в диссертации. Кроме того, есть замечания, касающиеся формы изложения и конкретных результатов.

1. В противоположность утверждению диссертанта, детальные кинетические схемы с успехом используются при численном моделировании течений с ударными и детонационными волнами в газах и газовзвесьях (см., например, работы академика В.А. Левина, д.ф.-м.н. В.В. Маркова, д.ф.-м.н. Ю.В. Туника, д.ф.-м.н. Т.А. Хмель, к.ф.-м.н. Т.А. Журавской и других российских и зарубежных исследователей).

2. В работе нет примеров «обобщенных моделей детонационной химической кинетики и химического равновесия в газовых смесях», которые не соответствуют второму началу термодинамики». Обеспокоенность соискателя о выполнении принципа Ле Шателье нельзя считать оправданной, поскольку этот принцип, как известно, имеет ограниченную применимость.

3. Утверждение автора: «Принципиальный вопрос о влиянии теплофизических свойств частиц на эффективность подавления газовой детонации химически инертными частицами не рассматривался» не соответствует действительности.

Чтобы опровергнуть это утверждение достаточно указать на докторские диссертации Ю.В. Туника и Т.А. Хмель.

4. Проблема расчета химического и термодинамического равновесия давно решена. Существующие методики и алгоритмы, такие например, как используемые в программе Gaseq (см. в открытом доступе интернет) имеют точность не 3%, а определяют параметры равновесного состояния с точностью до 9-12 знака после запятой и не нуждаются в проверке на соответствие второму закону термодинамики и в каких-либо предположениях относительно химических реакций. В диссертации развивается известная инженерная методика, которая имеет ограниченную область применимости и невысокую точность, в частности, из-за наличия нескольких подгоночных параметров.

5. Формула для оценки характерного времени восстановления химического равновесия вызывает сомнение, потому что, во-первых, соискатель не дает определения этой величины и, во-вторых, это время в соответствии с теорией размерности должно напрямую зависеть от параметра размерности времени, входящего в список определяющих параметров задачи. Но такого параметра в формуле нет.

6. В диссертации известная популярная двухшаговая модель, предложенная В.П. Коробейниковым и В.А. Левиным несколько десятилетий назад, которую общепринято называть моделью Коробейникова-Левина, трансформирована за счет использования инженерной методики моделирования процесса тепловыделения, которая, в частности, не позволяет однозначно определять состав продуктов горения, а значит и тепловой эффект химических превращений без предварительного подбора параметров, входящих в используемые кинетические уравнения. Эта методика может использоваться для получения представления о качественной картине течения, но достоверность количественных характеристик весьма сомнительна, особенно для потоков сложной многомерной геометрии с контактными разрывами, ударными и детонационными волнами. В работах современного уровня используются расчеты на основе детальной химической кинетики.

7. Работоспособность предлагаемой модели стационарной детонации в газокапельной среде целиком зависит от достоверности расчета равновесного состояния среды. Методика расчета представляется грубой и недостаточно обоснованной. Соответствие развиваемой в работе теории детонации с экспериментом, по мнению рецензента, является результатом удачной подгонки параметров в используемых формулах.

8. Всякого рода упрощенные модели, как и представленные в диссертации, имеют право на существование, могут использоваться в предварительных научных исследованиях и при решении прикладных задач, но при условии, что определены границы их применимости и может быть оценена точность результатов. Решить последние задачи представляется возможным путем сравнения, как с экспериментальными данными, так и с результатами исследований на основе моделей с детальной химической кинетикой. При этом не следует забывать, что модели любой степени сложности тоже имеют границы применимости и по мере поступления новой информации требуют корректировки, прежде всего с учетом данных экспериментов. В диссертации соответствующих сравнений нет.

Полагаю, что сказанное выше будет стимулом и побудит автора к дальнейшему совершенствованию предложенного им подхода.

Вопросы по результатам.

1. Какова область применимости разработанных моделей кинетики и равновесия по температуре и давлению? Чем она определяется? Возможно ли использование разработанных моделей химических превращений для расчета детонации газовых смесей с пространственным градиентом химического состава?
2. В чем принципиальное отличие предложенной модели кинетики для монотоплива от разработанных моделей кинетики для углеводородов?
3. Какие параметры установки для механической генерации ударных волн в химически активной пузырьковой среде?

4. Лазер – квантовый генератор вынужденного монохроматического когерентного излучения (излучение, совпадающее с иницилирующим по направлению, частоте, фазе и поляризации). По каким признакам пузырьковую среду соискатель относит к лазерному устройству? Есть ли доказательство или наглядная иллюстрация признаков лазерного излучения у акустических волн, генерируемых в рассматриваемых пузырьковых средах?

Замечания по тексту автореферата и диссертации.

1. В автореферате на стр. 7 во втором и третьем абзацах нет существенных различий по содержанию, возможно, один из них лишний.

2. В автореферате на стр. 8 конец четвертого абзаца. Оценки времени конденсации являются не подтверждением достоверности, а скорее аргументом в пользу принципиальной возможности эффекта. Кроме того, сами оценки еще опираются на какие-то допущения и не обязательно верны. Поэтому последнее слово за экспериментом.

3. В автореферате на стр. 15:

- в третьем абзаце в формуле для $Y(t)$ верхним пределом в интеграле должно быть t , поскольку $Y(t)$. По-видимому, автор хотел написать формулу для определения τ , которая получается при $Y=1$;

- в пятом абзаце говорится о росте температуры и тепловыделении, но во время периода индукции идут реакции диссоциации.

- в пятом абзаце нет обоснования представленных в шестом абзаце соотношений, в которых, к тому же, без объяснения фигурирует параметр α_1 .

4. В автореферате на стр. 22 в последнем абзаце говорится о хорошем соответствии расчета с экспериментом. Относительно скорости с этим можно согласиться, но по пределам детонации, как следует из рисунка, наблюдается отличие в разы.

5. В автореферате на стр. 29 в предпоследнем абзаце: «Чем выше теплоемкость твердой фазы..., тем эффективнее частицы ослабляют ДВ». Это противоречит графикам на рис. 5.1, где кривые для Al_2O_3 расположены ниже кривых для

SiO₂, а кривые для KCl - ниже кривых для WC, хотя должно быть наоборот в соответствии с приведенным автором списком частиц в порядке убывания теплоемкости: SiO₂, Al₂O₃, W, WC, KCl.

6. В диссертации на стр.145 не закончено последнее предложение: «Для того, чтобы воспользоваться уравнениями »

7. Часть рисунков имеет слишком маленький размер (рис. 2.20, 2.23), затрудняющий восприятие. Кривые на рис. 3.8 разной толщины. Рисунки 3.1 и 4.1 одинаковы. Достаточно было привести рисунок один раз.

Указанные замечания и вопросы не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Считаю, что диссертация Фомина П.А. «Моделирование взрывных и детонационных течений в многофазных средах с химическими реакциями» соответствует всем требованиям “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор Фомин Павел Аркадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - “Механика жидкости, газа и плазмы”.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

по специальности 01.02.05 – механика

жидкости, газа и плазмы

Марков Владимир Васильевич.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки Математический Институт им. В.А.

Стеклова РАН, отдел механики.

Должность: Ведущий научный сотрудник.

Почтовый адрес: Математический Институт им. В.А.
Стеклова РАН, ул. Губкина, д. 8, г. Москва 119991
Телефон: +7-495-984-81-41; +7-495-984-37-36; +7-495-
984-36-54

Адрес электронной почты: markov@mi-ras.ru

Подпись В.В. Маркова



/В.В. Марков/

13.02.2020

С.А. ПОЛИКАРПОВ
УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ МИАН