

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Темербекова Валентина Макаровича «Моделирование процессов формирования и ослабления детонационных волн посредством введения в поток твердых объектов», на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «механика жидкости, газа и плазмы» в диссертационном совете Д 24.1.125.01, созданного на базе ИТПМ СО РАН (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1).

Диссертационная работа Темербекова В.М. посвящена актуальной теме управления процессами формирования и ослабления газовой детонации путем воздействия на поток малогабаритными твердыми объектами. Для анализа процессов выбрано несколько конфигураций с использованием твердых объектов миллиметрового размера и проведено подробное численное исследование того, как геометрические параметры системы влияют на развитие газовой детонации. Полученные автором результаты позволяют систематизировать, по крайней мере, на качественном уровне, режимы инициирования и срыва газовой детонации, что имеет научную и практическую ценность для развития методов управления нестационарным горением в камерах сгорания энергетических систем, а также для решения задач пожаро- и взрывобезопасности при работе с горючими газами и дисперсными средами с твердотельными включениями. Важно отметить, что предложенная и используемая автором модель, при этом, на хорошем уровне воспроизводит количественные характеристики процесса, и, следовательно, полученные результаты могут использоваться для количественной оценки возможностей использования той или иной системы для инициирования или подавления газовой детонации.

Объем и структура диссертации. Диссертация Темербекова В.М. изложена на 119 страницах, состоит из введения, трех глав и заключения. Работа содержит 66 рисунков, 6 таблиц и схем. Список литературы содержит 91 наименование.

Во введении сформулированы цель и задачи диссертации, обоснована их актуальность, определены научная новизна, теоретическая и практическая ценность, а также достоверность полученных результатов. Здесь же автор формулирует положения, выносимые на защиту. Представлены личный вклад автора и информация об апробации результатов диссертационной работы.

В первой главе диссертационной работы представлена математическая модель процесса распространения горения и детонации в газовой смеси в объеме заданной геометрии. Представлены расчеты инициирования горения и детонации при пролете через реагирующую смесь высокоскоростного твердого тела и продемонстрирована предсказательная способность двухмерной модели. Проведено сравнение расчетных данных с известными экспериментальными результатами. Проведено параметрическое исследование процесса инициирования горения и детонации при изменении диаметра быстролетящего тела, состава реагирующей смеси и начального давления смеси.

Во второй главе решена задача о распространении детонации через систему плоских каналов и систему пластин, равномерно распределенных по длине и ширине канала. Описаны детали динамического изменения структуры детонационного фронта при взаимодействии с твердотельными преградами. Изучено влияние граничных условий и геометрических параметров системы на развитие детонации, включая ее замедление, распад и реиницирование. Сделаны выводы о том, как те или иные особенности конфигурации воздействуют на развитие детонации.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования распространения детонации через систему цилиндрических препятствий, расположенных в регулярном порядке и заполняющих объем канала. На основе расчетно-теоретического анализа сделаны выводы по оптимизации систем препятствий для реализации того или иного режима распространения горения, включая режимы с подавлением детонации и с ее реиницированием.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Актуальность работы определяется необходимостью управления быстропотекающими процессами в реагирующих газообразных средах, связанными с генерацией и распространением ударных и детонационных волн. В первую очередь, это необходимо при разработке систем пожаро- и взрывобезопасности на объектах промышленности, работа которых связана с рисками генерации, утечки и взрыва газообразных топлив. При этом отдельный интерес представляет решение задач водородной безопасности, к чему настоящее исследование имеет прямое отношение. Помимо этого, проведенные исследования имеют отношение к разработке перспективных энергетических и энергосиловых установок, где сжигание топлива планируется реализовать в режиме быстрого горения или детонации.

Научная новизна диссертационной работы определяется новыми данными о развитии газовой детонации в присутствии твердотельных объектов, распределенных в объеме горючей газовой смеси. Полученные новые результаты позволили автору выявить базовые механизмы, определяющие формирование детонации, управление ее скоростью и тушение, а также определить закономерности, позволяющие управлять горением и детонацией путем модификации геометрии сосуда и внедрением в систему пространственных неоднородностей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты, полученные Темербековым В.М. и представленные в тексте диссертационной работы, указывают на особенности развития газовой детонации в присутствии твердотельных объектов, распределенных в объеме, что необходимо принимать к сведению при разработке перспективных технических систем, работа которых связана с рисками газового взрыва. Предложенные в диссертационной работе компьютерные модели и полученные результаты указывают пути развития методов управления режимами горения газообразных смесей, включая методы управления скоростью распространения детонации и методы ее подавления. Это, в свою очередь, необходимо для обеспечения эффективной и безопасной работы перспективных технических систем. Полученные автором результаты могут быть использованы для решения широкого круга задач, исследуемых в таких научных центрах как Институт теоретической и прикладной механики им. С.А.Христиановича СО РАН, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, ОИВТ РАН, ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семенова РАН, РФЯЦ – ВНИИТФ, АО ГНЦ «Центр Келдыша», и др.

Апробация результатов. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на Российских и Международных конференциях.

Публикации. Результаты работы изложены в 6 научных работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Публикации достаточно полно отражают материалы диссертации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Личный вклад автора правильно и полно отражён в диссертации и автореферате.

В ходе рассмотрения текста диссертации возникли следующие **вопросы и замечания:**

1. Стр. 21, в разделе «Научная новизна» автор разделяет 1 и 2 пункт. На мой взгляд, п. 2 напрямую следует из п. 1. Особенности

детонационных течений в первую очередь связаны с тем, как протекает химическая реакция в зоне реакции. Так как автор использовал упрощенный механизм, «отлаженный на данных о размере детонационной ячейки», при этом расчет детонационной ячейки проводился в двухмерном приближении, то очевидным является то, что такая двухмерная модель с заданной моделью химической кинетики будет адекватно воспроизводить особенности развития детонации. Считаю, что было бы корректнее сказать, что предложенная модель достаточно хорошо воспроизводит различные режимы инициирования детонации не вопреки «трехмерной природе», а в виду того, что модель сформирована определенным образом. И новизна, как раз, заключается в том, что автор проверил работоспособность конкретного класса моделей (двухмерных с упрощенной кинетикой) на возможности решать определенный класс задач (об инициировании детонации при обтекании тела).

2. Стр. 34, при записи уравнений автор использует обозначение «i-го компонента», но сами компоненты вводятся лишь на стр. 36.
3. Стр. 36, желательно привести количественные параметры, характеризующие модель, такие как « k , E_a , m , n , w , q ».
4. Стр. 37. По всей видимости, при определении скорости V пропущены скобки, должно быть $V=(1.24\pm 0.03)D_{СД}$.
5. Стр. 39, автор вводит степень регулярности детонационной ячейки, говоря о «менее регулярной» ячейке. Как эта степень оценивалась численно?
6. Стр. 40-41, имеет место противоречие, автор сначала говорит о том, что расчетный размер детонационной ячейки согласуется с данными экспериментов, и далее говорит о том, что в эксперименте ячеистая структура разрешается слабо.
7. Стр. 46, требует пояснения предложение «Уменьшение размера ячейки приводит к уменьшению энергии инициирования этой ячейки...»
8. Стр. 55, согласно повествованию, ячеистая структура детонации воспроизводится даже на довольно грубой расчетной сетке. Однако, как правило, когда речь идет о численном моделировании детонации, крайне важно воспроизводить внутреннюю структуру детонационного фронта. Каково значение ширины зоны реакции в исследуемых смесях? Как оно согласуется с используемыми автором размерами расчетной ячейки?

9. Стр. 89, требуется дополнительное пояснение о выборе геометрии задачи. Также не ясно, какое граничное условие использовано на левой границе расчетной области (рис. 3.1).

10. Ряд терминов, используемых автором, требует уточнения.

- Так, определение детонации на стр. 4 как «квазистационарного процесса распространения горения в сверхзвуковом режиме» является неполным.
- Говоря о пределах воспламенения на стр. 9 корректнее говорить о широких или узких пределах, но не о «низких», тем более что далее автор поясняет, что «источники воспламенения не определены», а, стало быть, речь идет, скорее всего, о концентрационных пределах.
- Требуется пояснение уточнение «акустическая» в отношении скорости Чепмена-Жуге.
- Для обозначения перехода горения в детонацию автор использует три различные аббревиатуры (ПГД, ПДД и ДДТ), верна только первая.
- На стр. 37 автор использует англицизм «симуляций», на мой взгляд некорректно использовать его в данном контексте.
- На стр. 44 автор вводит значение критической энергии (соотношение 1.8), однако здесь корректнее говорить о критической удельной энергии.

Сделанные замечания не меняют общей положительной оценки диссертации. Диссертация содержит новые результаты, имеющие практическую и научную значимость для решения актуальной задачи управления процессами горения и детонации газов, в том числе и с целью регулирования параметров детонации или ее подавления. Предложенные модели и полученные результаты могут в последствие плодотворно использоваться для решения фундаментальных и прикладных задач физики горения и детонации газов.

Тема исследования соответствует пунктам паспорта специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Диссертация Темербекова В.М. «Моделирование процессов формирования и ослабления детонационных волн посредством введения в поток твердых объектов» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно, и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24

сентября 2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор темербеков Валентин Макарович заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник лаборатории №15.2 Вычислительной физики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур РАН,
доктор физико-математических наук
(специальность - 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»)

Киверин Алексей Дмитриевич —————

7.11.2023

ФГБУН ОИВТ РАН, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Телефон: (495)484-44-33

E-mail: alexeykiverin@gmail.com

Подпись Киверина А.Д. и сведения заверяю

Заместитель директс

Иванова Нина Нико —————

125412, г. Москва, Ижорская ул. д.13, стр. 2, (495) 485-90-09,

amirovrivil@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН) 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, (495) 485-82-44, webadmin@ihed.ras.ru

Председателю
диссертационного совета
24.1.125.01 (Д 003035.02)
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, Киверин Алексей Дмитриевич, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации Темербекова Валентина Макаровича на тему: Моделирование процессов формирования и ослабления детонационных волн посредством введения в поток твердых объектов на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	Д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.04.14- Теплофизика и теоретическая теплотехника
Ученое звание	
Академическое звание	
Тел:	8-999-986-7
E-mail:	alexeykiverin@gmail.com
Должность	Главный научный сотрудник
Подразделение организации	Лаборатория №15.2. - вычислительной физики
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	125412, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2
Web-сайт организации.	http://www.jiht.ru
Телефон организации.	8(495) 485-99-22
E-mail организации.	oivt@ihed.ras.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 103 научные работы, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Киверин А.Д., Яковенко И.С.	О роли локальных эффектов в развитии горения // Физика горения и взрыва. 2022. Т. 58. № 3. С. 32-39.
2	Kiverin A.D., Medvedkov I.S., Yakovenko I.S.	Criterion of Transition to Detonation in Freely Expanding Flames. Russian Journal of Physical Chemistry B. 16(6) P. 1075-1079.
3	Smygalina A.E., Kiverin A.D.	Self-ignition of hydrogen jet due to interaction with obstacle in the obstructed space. 2022. International Journal of Hydrogen Energy. 2022. 47(84). P. 35877-35885
4	Yakovenko I.S., Kiverin A.D.	Intensification mechanisms of the lean hydrogen-air combustion via addition of suspended micro-droplets of water // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46, No 1. p. 1259-1272.
5	Kiverin A., Yakovenko I.	Numerical modeling of combustion and detonation in aqueous foams. Energies. 2021. 14(19), 6233
6	Смыгалина А.Е., Киверин А.Д.	Самовоспламенение водорода при его истечении под высоким давлением в канал, заполненный кислородом с нейтральными добавками // Химическая физика. 2021. Т. 40. № 8. С. 49-55.
7	Киверин А.Д., Яковенко И.С.	Высокоскоростные режимы распространения пламени в канале и переход к детонации // Теплофизика высоких температур. 2020. Т. 58. № 4. С. 707-716.
8	Киверин А.Д., Смыгалина А.Е., Яковенко И.С.	Классификация сценариев развития быстрых волн горения и перехода горения в детонацию в каналах // Химическая физика. 2020. Т. 39. № 8. С. 9-15.
9	Kiverin A.D., Minaev K.O., Yakovenko I.S.	Modes of mild ignition in shock tubes: Origins and classification. Combustion and Flame. 2020. 221. P.420-428
10	Kichatov B., Korshunov A., Kiverin A., Yakovenko I., Gubernov V., Khomik S.V., Medvedev S.P.	Detonation in the hydrogen-oxygen microfoam on the aqueous base // International Journal of Hydrogen Energy. 2019. Vol. 44, No 59. p. 31567-31578.
11	Киверин А.Д., Яковенко И.С., Фортов В.Е.	Механизм формирования детонации при свободном распространении пламени в неограниченном пространстве // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 5. С. 461-464.
12	Efremov V.P., Obruchkova L.R., Kiverin A.D.	Influence of particle on gas detonation by shock // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences. 2019. No 6 (87). p. 67-82
13	Golub V.V., Kiverin A.D., Sadokhina T.D., Yakovenko I.S.	Generation of Directed Microparticle Flows by Burning Gaseous Fuel in a Nonstationary Mode. Technical Physics Letters. 2018. 44(11). P. 1038-1041
14	Kiverin, A.D., Yakovenko, I.S.	Evolution of wave patterns and temperature field in shock-tube flow. Physical Review Fluids. 2018. 3(5),053201
15	Yakovenko I.S., Ivanov M.F., Kiverin A.D., Melnikova K.S.	Large-scale flame structures in ultra-lean hydrogen-air mixtures // International Journal of Hydrogen Energy. 2018. Vol. 43, No 3. p. 1894-1901.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

г.н.с. лаб. Вычислительной физики ОИВТ РАН, д.ф.-м.н. _____

Киверин А.Д.

Подпись Киверина А.Д. и сведения заверяю

Заместитель директора ОИВТ РАН



Иванова Н.Н.

