

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СО РАН, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08.12.2023 № 20

О присуждении Темербекову Валентину Макаровичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование процессов формирования и ослабления детонационных волн посредством введения в поток твердых объектов» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 04 августа 2023 г. (протокол № 15) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, утвержденным приказом Рособрнадзора от 16.11.2007 г. №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009 (№591925-1734), подтверждением полномочий от 11.04.2012 (№105/нк) и изменениями от 08.06.2016 (№ 661/нк), от 3.08.2018 (№59/нк) и от 12.09.2022 (№1215/нк).

Соискатель Темербеков Валентин Макарович, 1994 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению подготовки 24.04.03 «Баллистика и гидроаэродинамика»; в 2022 году окончил аспирантуру ФГБУН ИТПМ СО РАН по направлению

подготовки 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, работает инженером-исследователем в ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории волновых процессов в ультрадисперсных средах ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Бедарев Игорь Александрович, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией волновых процессов в ультрадисперсных средах ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Васильев Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Газовой детонации» Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук;

Киверин Алексей Дмитриевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Вычислительной физики» Объединенного института высоких температур Российской академии наук
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»**

в своем положительном отзыве, подписанном Георгиевским Дмитрием Владимировичем, доктором физико-математических наук, профессором РАН, и.о. директора НИИ механики МГУ; Левиным Владимиром Алексеевичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, заведующим лабораторией «Газодинамики взрыва и реагирующих систем» НИИ механики МГУ; Георгиевским Павлом Юрьевичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником НИИ механики МГУ

указала, что «диссертация В.М. Темербекова соответствует критериям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации от 24

сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук».

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 24 работы, из них 6 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, и 3 статьи в сборниках конференций, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Все результаты, представленные в работе, получены автором или при его непосредственном участии. Авторский вклад составляет около 80%. Наиболее значимые результаты диссертации изложены в публикациях:

1. Бедарев И.А., Темербеков В.М., Федоров А.В. Моделирование режимов наклонных детонационных волн, возникающих при инициировании детонации снарядом малого диаметра // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26. № 1. С. 63–73.

2. Bedarev I., Temerbekov V. Estimation of the energy of detonation initiation in a hydrogen-oxygen mixture by a high-velocity projectile // Thermal Science. 2021. Vol. 25. No. 5. P. 3889–3897.

3. Tropin D.A., Temerbekov V.M. Numerical simulation of detonation wave propagation through a rigid permeable barrier // International Journal of Hydrogen Energy. 2022. Vol. 47. No. 87. P. 37106–37124.

4. Бедарев И.А., Темербеков В.М. Двумерное моделирование ослабления детонационной волны при ее прохождении через область с круговыми препятствиями // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47. № 14. С. 8–10.

5. Bedarev I. A., Temerbekov V. M. Modeling of attenuation and suppression of cellular detonation in the hydrogen-air mixture by circular obstacles // International Journal of Hydrogen Energy. 2022. Vol. 47. No. 90. P. 38455–38467.

В [1–2] представлены результаты тестирования расчетной модели и кинетической схемы химических реакций на задаче о формировании режимов наклонных детонационных волн, возбуждаемых быстролетящим телом. Проведена оценка энергии инициирования детонации на основе расчетных данных полученных в соответствии с экспериментальными. По

результатам такой оценки проведены собственные расчеты режимов наклонной детонации. В [3] описаны результаты моделирования распространения ячеистой детонации в разделенном продольными стенками канале. Рассмотрено две конфигурации: сплошные стенки и конечноразмерные пластины. Выполнена серия расчетов для различных геометрических параметров каналов. Оценен вклад этих параметров на интенсивность детонации. Работы [4–5] посвящены численному моделированию взаимодействия ячеистой детонации с жесткой проницаемой преградой, состоящей из набора круговых препятствий. Получены различные режимы распространения детонации. Оценен эффект различных геометрических параметров преграды на распространение детонационной волны. Выявлены косвенные и независимые параметры, влияющие на интенсивность детонации.

На диссертацию поступили отзывы:

Официального оппонента д.ф.-м.н. Киверина А.Д. Указано, что «диссертация 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». Замечания: 1. Стр. 21: в разделе «Научная новизна» автор разделяет 1 и 2 пункт. П. 2 напрямую следует из п. 1. 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. 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. 4. Стр. 37: По всей видимости, при определении скорости V пропущены скобки. 5. Стр. 39: автор вводит степень регулярности детонационной ячейки, 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. 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: (1) Определение детонации на стр. 4 как «квазистационарного процесса распространения горения в сверхзвуковом режиме» является неполным. (2) Говоря о пределах воспламенения на стр. 9 корректнее говорить о широких или узких пределах, но не о «низких». (3) Требуется пояснение уточнение «акустическая» в отношении скорости Чепмена-Жуге. (4) Для обозначения перехода горения в детонацию автор использует три различные аббревиатуры (ПГД, ПДД и ДДТ), верна только первая. (5) На стр. 37 автор использует англицизм «симуляций», на мой взгляд некорректно использовать его в данном контексте. (6) На стр. 44 автор вводит значение критической энергии (соотношение 1.8), однако здесь корректнее говорить о критической удельной энергии.

Официального оппонента д.ф.-м.н. Васильева А.А. Указывается, что «диссертационная работа является квалификационной научной работой, соответствует требованиям действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней». Замечания: 1. Соискатель под термином «срыв детонации» понимает разделение фронта ДВ на ударную волну и фронт горения. В газодинамике есть более удачный термин для перехода от стационарного состояния к нестационарному – «распад». 2. В диссертации (стр. 22) и автореферате есть неудачная фраза «В случае адиабатических

граничных условий на стенках скорость детонационной волны заметно выше из-за отсутствия теплопотерь». По сравнению с какой скоростью? 3. На стр. 37 диссертации в тексте и на рис. 1.1 некорректно приведено значение скорости $V=1.24\pm 0.03D_{CJ}$ – без скобок; на стр. 52 диссертации говорится о стехиометрической смеси водорода с воздухом, но на рис. 2.1 и 2.2 указана обедненная смесь $H_2+O_2+3.8N_2$. 4. Расчетные поля параметров в главе 2 и автореферате представлены слишком мелко. 5. В отечественной литературе размер детонационной ячейки следует обозначать буквой a , а буква λ используется в зарубежных статьях.

Ведущей организации МГУ им М.В. Ломоносова. Отмечается, что в диссертации решена важная для развития механики жидкости, газа и плазмы задача – на основе численного моделирования определено влияние проницаемых преград в канале в виде набора параллельных стенкам канала пластин различной длины или нескольких слоев круговых цилиндров на распространение, ослабление, подавление, срыв и реиницирование детонации в водородо-воздушных смесях. Замечания: 1. Работы Я.Б. Зельдовича, М.П. Самозванцева, Г.Г. Черного, В.А. Левина, В.В. Маркова и других ученых Советской школы газовой динамики и физики 1960 – 1970-х годов заслуживают более внимательного отношения! 2. Следует обратить внимание, что ни в одном из режимов (для узких каналов) не было отмечено срыва детонации.

На автореферат поступили отзывы:

Д.т.н., профессора Саленко С.Д., к.т.н. Телковой Ю.В., к.ф.-м.н., доцента Гостеева Ю.А. (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный технический университет). Отзыв положительный. Замечания: 1. При численном решении нестационарных задач проверялась ли сходимость по сетке варьированием шага интегрирования по времени? 2. На рис. 2 расчетные точки располагаются в более узком диапазоне по горизонтальной оси по сравнению с экспериментальными точками. 3. Непонятно, что

означает и как определяется «поле максимумов плотности» (рис. 7). 4. В тексте отсутствует описание фигурирующих на рис. 9 и 10 параметров. Не приведены данные для режима срыва детонации. 5. На рис. 11 в подписи вертикальной оси должно стоять «Р, кПа»? 6. Согласно рис. 12 срыв детонации наблюдается как при $l/\lambda = 0.4$, так и при $l/\lambda = 1.6$, т.е. как при «близком», так и при «дальнем» взаимном расположении препятствий?

К.ф.-м.н. Большовой Т.А. (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук). Отзыв положительный. Замечания: 1. Какой кинетический механизм горения водорода использовался? 2. Не ясно, какие физические параметры описывают I_2, I_3 и n . 3. Какие параметры поверхности препятствий были заданы при моделировании? Изучался ли вопрос влияние шероховатости или пористости поверхности препятствий на распространение ДВ?

К.ф.-м.н. Головастова С.В. (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук). Отзыв положительный. Замечания: 1. Не совсем понятен термин «срыв детонации», целесообразнее использовать термин «распад детонации». 2. Приведено мало характерных числовых значений, определяющих условия проведения расчёта или определяющие новые научные результаты.

Д.ф.-м.н. Крайнова А.Ю., к.ф.-м.н. Моисеевой К.М. (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»). Отзыв положительный. Замечания: 1. Хорошо бы было более подробно описать результаты, представленные на рисунках 3, 4. Также нет описания по исследованию сходимости разностной сетки. 2. По какому принципу отбирались геометрические характеристики каналов, а также величины расстояний между препятствиями? В описании главы 2 указано,

что результаты коррелируют с известными экспериментальными данными. Тогда было бы хорошо привести ссылки на эксперимент в тексте работы.

К.ф.-м.н. Баранышина Е.А. (Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси). Отзыв положительный.

Замечания: 1. Нет перечня использованных обозначений. 2. Практическая ценность работы значительно больше, чем представлена в разделе «Теоретическая и практическая ценность». 3. В тексте автореферата о физико-математической модели сказано крайне скудно. 4. В подписи к рис. 1, 2, 3 необходимо отметить, что данные получены для водород-кислородной смеси. 5. На рис. 2 имеет смысл сосредоточиться на диапазоне, для которого авторами выполнялся расчет. 6. Автор пишет, что в результате работы «подтверждены и конкретизированы закономерности» наблюдаемые в экспериментальных и численных исследованиях других авторов. Скорее речь идет о воспроизведении и объяснении.

Д.ф.-м.н. Зарко В.Е. (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук). Отзыв положительный.

Замечания: Утверждение о достоверности полученных теоретических результатов, основанное на сравнении с экспериментальными данными, равно как и утверждения о подтверждении экспериментальных закономерностей численными расчетами (с. 6 и с. 16) логически не оправданы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными высокопрофессиональными специалистами в области газовой динамики, теплофизики, химической кинетики, горения и детонации, а ведущая организация – один из крупнейших научных центров фундаментальных прикладных исследований по газовой динамике, разработке численных методов и другим областям науки.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

проведено тестирование расчетного алгоритма по экспериментальным данным о режимах формирования детонационных волн в диапазоне начального давления 121 – 141 кПа (водород-кислородная смесь) и 100 – 250 кПа (водородо-воздушная смесь), а также по теоретическим критериям оценки энергии инициирования детонации, которое позволило отладить математическую технологию расчета задач, связанных с детонационными явлениями;

численно **реализовано** взаимодействие развитой ячеистой детонационной волны с жесткой проницаемой преградой, состоящей из наборов жестко закрепленных твердых объектов, равномерно распределенных в расчетной области. На основе полученных результатов построены детальные картины течений, а также зависимости интенсивности детонационных волн по длине расчетной области. Выявлены различные режимы течения: распространение в детонационном режиме, расщепление детонации на ударную волну и волну горения, срыв детонации с последующим ре-иницированием, срыв детонации без ре-иницирования;

выполнена оценка степени влияния геометрических параметров преграды на эффективность ослабления детонации в пределах от 0.4 до 2 размеров детонационной ячейки. Показано, что уменьшение вертикального расстояния между препятствиями оказывает более сильный эффект на ослабление детонации, чем уменьшение горизонтального расстояния. Количество рядов препятствий также оказывает более сильное влияние на ослабление детонации по сравнению с удельным объемом препятствий. Показано, что горизонтальное расстояние между объектами преграды и их диаметр косвенно влияют на интенсивность ослабления детонации.

Теоретическая значимость исследований заключается в адаптации физико-математической модели, использующей упрощенный кинетический механизм химических реакций для горения водорода в воздухе

применительно к задачам газовой детонации, а также в получении новых данных, дополняющих известные на сегодняшний день знания о распространении детонационных волн и их взаимодействии с преградами.

Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что они могут быть использованы для развития современных технологий численного моделирования высокоскоростных течений с ударными волнами, горением и детонацией, а также решения практических проблем взрыво- и пожаробезопасности в технологических процессах, использующих перспективные водород-содержащие газообразные соединения.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием современного программного комплекса, который признан многими ведущими учеными и инженерами, тестированием физико-математической модели и расчетного алгоритма по экспериментальным данным и теоретической модели, соответствием получаемых результатов известным экспериментальным и расчетным данным других авторов, доказательством сходимости результатов на расчетных сетках.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач, проведении всех расчетов и в обработке всех полученных данных, обсуждении результатов, подготовке статей для публикации в рецензируемых журналах и других изданиях, а также в представлении результатов исследований на научных конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 8 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за исследования процессов инициирования, распространения и ослабления газовой детонации, имеющих важное значение для механики высокоскоростных реагирующих течений и волновых процессов, присудить Темербекову В.М. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15, против - 1, недействительных бюллетеней - 0.

И.о. председат
диссертационн

Бойко Андрей Владиславович

Ученый секрет
диссертационн

апонов Сергей Александрович

8 декабря 2023