

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор - начальник Управления научной  
политики и организации научных исследований  
Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова  
д.ф.-м.н., профессор



А.А. Федянин

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Бивола Григория Юрьевича «Влияние геометрии канала и покрытия стенок на распространение детонационных волн», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

В диссертации Г.Ю. Бивола выполнено экспериментальное исследование влияния геометрии канала и покрытия стенок пористыми материалами на распространение, ослабление и восстановление детонационных волн в смесях метана с кислородом, водорода с воздухом и ацетилена с воздухом. Актуальность темы диссертации обусловлена возможностью использования результатов для управления детонационным горением в трактах перспективных двигателей различной конструкции и назначения, для разработки методов ослабления и подавления детонации в промышленных технологических устройствах, а также для проверки вычислительных методик расчета детонации с учетом всего многообразия наблюдаемых физико-химических явлений.

Критический анализ диссертации удобно выполнять по разделам, попутно отмечая основные достоинства и недостатки.

Обзор литературы содержит анализ опубликованных работ по теме диссертации: общие вопросы газовой детонации, срыв и восстановление детонации в расширяющихся и сужающихся каналах, влияние пористых покрытий на распространение газовой детонации в каналах, галопирующая и спиновая детонация в каналах субкритического сечения. Обзор структурирован в соответствии с разбивкой диссертации на главы. Анализ литературы выполнен автором диссертации тщательно, содержит оригинальные рисунки и фотографии, исключительно полезен для понимания, и при этом легко читается.

В главе 1 исследовано формирование и распространение детонации в метано-кислородных смесях с различным коэффициентом избытка горючего на экспериментальном стенде, измерительная секция которого представляет собой цилиндрический канал, с коническим расширением на входе и сужением на выходе. Установка работала в двух режимах: на предварительно подготовленной «выдержанной» смеси (в этом случае смесь находилась в состоянии покоя), а также при динамическом перемешивании горючего и окислителя непосредственно в канале установки (скорость потока была порядка 5 м/с). Автором был получен совершенно нетривиальный результат - детонация при динамическом перемешивании оказалась более стабильной и реализовывалась



в значительно более широком диапазоне коэффициентов избытка горючего, чем в случае тщательно подготовленной смеси (то есть «худшая» по качеству смесь на практике дает лучшие результаты). Этот результат может иметь приложение при проектировании различных двигателей. В качестве недостатка можно отметить отсутствие объяснения этого эффекта в тексте диссертации. Например, это явление может быть связано с турбулизацией потока при динамическом перемешивании, что обеспечивает более надежный и быстрый переход горения в детонацию, несмотря на «худшее» качество самой смеси.

В главах 2 – 3 исследовано распространение самоподдерживающейся детонации в водородно-воздушных смесях в каналах круглого и квадратного сечений включающих секцию с пористым (или просто мягким) покрытием различной толщины (пенополиуретан различной пористости, в том числе и покрытый плёнкой, и стальная вата). Установлено влияние толщины и типа покрытия на режимы распространения детонации (в том числе срыва и восстановления). Особо следует отметить серию экспериментов в канале с прозрачной вставкой (глава 3), в которых была проведена визуализация течений, что позволяет наглядно представить действие различных механизмов подавления детонации. Автором получены фотографии великолепного качества, проведен анализ, представлены схемы течения для различных режимов, а также проведено сравнение воздействия пористых материалов на характеристики детонации. Все эти результаты имеют важное значение не только для практического использования, но и для физики детонации, как науки, поскольку способствуют пониманию взаимодействия различных механизмов подавления детонации в каналах с пористыми стенками: расширения канала за фронтом волны, ухода массы в пористый слой, ослабления поперечных волн в пористом слое, и, наконец, наличия потерь на нагрев (для случая стальной ваты). К сожалению, в систематизированном виде эти результаты не были обобщены в выводах по главе.

В главе 4 был изучен процесс распространения детонации в каналах субкритического поперечного размера для смеси ацетилен-воздух. Полученные данные позволили обнаружить три режима распространения пламени: стационарную детонацию Чепмена-Жуге, затухающий осциллирующий режим распространения горения и галопирующий режим с распадом и последующим восстановлением детонации в узком канале. С использованием современных оптических методов диагностики выполнена визуализация различных режимов, в том числе великолепно разрешена структура ячеистой самоподдерживающейся детонации. Полученные результаты могут быть использованы как эталонные для проверки вычислительных методик расчета детонации с учетом всего многообразия наблюдаемых физико-химических явлений.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 статьях в журналах, рекомендованных ВАК (оригинальные или переводные версии индексируются международными базами данных Web of Science, Scopus, Springer). Таким образом, требования постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (п. 11–13) выполнены полностью. Особо следует отметить публикации в ведущих иностранных журналах в области ударных волн, горения и детонации *Shock Waves* и *Combustion Science and Technology*, которые в 2018 году вошли в первую четверть Q1 по списку Scimago Journal Rank (<http://www.scimagojr.com>), а также в ведущих российских физических журналах *Письма в ЖТФ* (Q2) и *Теплофизика высоких температур* (Q2). В качестве недостатка можно отметить неточность – и в автореферате и в диссертации приведена ссылка на переводную версию журнала *Technical Physics Letters* вместо оригинальной.



Оценивая диссертацию в целом, следует отметить внушающий уважение огромный объем работы, проделанной автором. Фактически, для проведения экспериментов построено 4 различных стенда. Для каждого стенда была разработана и реализована методика проведения измерений, а также обработки и визуализации результатов. Использовались прецизионные быстродействующие датчики давления и фотодатчики, что позволило автору даже в закрытых трактах определять режимы и измерять скорости распространения детонационной волны, а также, в случае распада детонации, - отдельно скорости ударной волны и фронта горения (главы 1-4). Кроме того, автор очень уверенно использовал современные способы визуализации течений с применением скоростной фото- и видео- съемки (главы 3-4). Следует отметить, что во всех случаях детонация инициировалась обычной автомобильной свечой, то есть глубоко подкритической энергией. То есть, конфигурация подводных каналов установок должна была обеспечить переход горения в детонацию, что само по себе является нетривиальной задачей. Таким образом, автор при выполнении работы сумел успешно преодолеть разнообразные трудности, что подтверждает его высокую квалификацию, как сложившегося исследователя.

Подводя итоги можно заключить что, в диссертации решена важная для развития теплофизики и теоретической теплотехники задача - выполнено экспериментальное исследование влияния геометрии канала и покрытия стенок пористыми материалами на распространение, ослабление и восстановление детонационных волн в смесях метана с кислородом, водорода с воздухом и ацетилена с воздухом.

Полученные автором результаты имеют высокую значимость в самых различных областях современной науки и техники.

1. Результаты по инициированию детонации глубоко подкритическими по мощности разрядами в каналах, а также по устойчивой в широком диапазоне коэффициентов избытка горючего детонации для динамически перемешиваемых смесей в каналах могут быть использованы при разработке перспективных двигателей различной конструкции и назначения (авиационных воздушно-реактивных, ракетных, а также двигателей внутреннего сгорания).

2. Результаты по распространению детонации в каналах с пористыми вставками из различного материала имеют важное значение для развития физики и газодинамики детонации, поскольку способствуют пониманию взаимодействия различных механизмов ослабления и подавления детонации в каналах с пористыми стенками: расширения канала за фронтом волны, ухода массы в пористый слой, ослабления поперечных волн в пористом слое, потерь на нагрев и других. На практике результаты могут быть использованы при разработке способов ослабления и подавления детонации и защиты технологических устройств на производстве.

3. Полученные результаты могут быть использованы как эталонные для проверки вычислительных методик расчета детонации с учетом всего многообразия наблюдаемых физико-химических явлений не только в настоящее время, но и в будущем при создании программ расчета газовой детонации в пористых средах с учетом упругих и пластических свойств.

Диссертация Г.Ю. Бивола соответствует критериям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями от 21 апреля, 2 августа 2016 г., 29 мая, 28 августа 2017 г., 1 октября 2018 г.) для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.



Григорий Юрьевич Бивол заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании подсекции НТС НИИ механики МГУ по физико-химической газовой динамике (протокол №8 от 26.11.2018)

Зав. лаб. НИИ механики МГУ  
академик, д.ф.-м.н.



В.А. Левин

В.н.с. НИИ механики МГУ,  
к.ф.-м.н.



П.Ю. Георгиевский

Подписи В.А. Левина,  
П.Ю. Георгиевского удостоверяю  
Зам. директора НИИ механики МГУ  
д.ф.-м.н.



Н.А. Остапенко

**Полное наименование организации в соответствии с уставом:**

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

**Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом:**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, МГУ им. М.В. Ломоносова, Московский университет, МГУ

**Полное наименование структурного подразделения, составляющего отзыв:**

Научно исследовательский институт механики МГУ (НИИ механики МГУ)

**Почтовый индекс, адрес организации:**

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова