

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.243.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
ИМ. Н.Н. СЕМЁНОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ФИЦ ХФ РАН), ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.03.2024, протокол № 2
о присуждении Басакиной Светлане Сергеевне ученой степени кандидата
физико-математических наук

Диссертация «Гидродинамика направленного подводного взрыва неидеально детонирующих высокометаллизированных составов» в виде рукописи по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества принята к защите 17 января 2024 года (протокол № 1) диссертационным советом 24.1.243.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4, приказом Рособнадзора № 105 н/к от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Басакина Светлана Сергеевна** родилась 28 апреля 1996 года, гражданка Российской Федерации. В период с 02 сентября 2013 года по 31 августа 2017 года обучалась на физико-технологическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», где ей была присуждена квалификация бакалавр по специальности «Ядерная физика и технологии». С 01 сентября 2017 года по 28 июня 2019 года Басакина С.С. обучалась в институте

лазерных и плазменных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», где ей была присуждена квалификация магистр по специальности «Ядерная физика и технологии». С 02 сентября 2019 года по 31 августа 2023 года Басакина С.С. обучалась в аспирантуре Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. С 01 сентября 2017 года по 30 сентября 2019 года Басакина С.С. работала инженером-исследователем лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук. С 02 октября 2019 года и по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук.

Научный руководитель — **Комиссаров Павел Владимирович**, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. **Ершов Александр Петрович**, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физики взрыва Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук

2. **Мочалова Валентина Михайловна**, гражданка Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории детонации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ имени Н.Э. Баумана)**, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой «Высокоточные летательные аппараты» (СМ-4) МГТУ имени Н.Э. Баумана, академиком Российской академии ракетных и артиллерийских наук, доктором технических наук, профессором **Селивановым Виктором Валентиновичем** и утвержденном проректором по науке и цифровому развитию МГТУ имени Н.Э. Баумана, доктором экономических наук, профессором **Дрогвозом Павлом Анатольевичем**, указала, что:

1). В Главе 2 для термодинамического моделирования параметров детонации многокомпонентных взрывчатых составов, включая расчет теплоты взрыва и состава продуктов детонации, используется

разработанная в МГТУ имени Н.Э. Баумана компьютерная программа (см. ссылки [99, 100, 114] в диссертации), которая является ранней версией более универсального кода «ТЕРМО-2010» (автор: Имховик Н.А., 2010). В обеих программах в качестве термического уравнения состояния смеси газообразных продуктов детонации используется уравнение Беккера-Кистяковского-Вильсона, для которого возможно применение следующих наборов параметров: RDX и TNT (Мейдер Ч.), ВКВ-R (Фингер М., Ли Е., Хелм Ф.) и ВКВ-RR (Губин С.А., Одинцов В.В., Пепекин В.И.). Последний набор получен с учетом фазовой диаграммы состояния конденсированного углерода в продуктах детонации при высоких давлениях и температурах. Из краткого описания приводимых в работе результатов неясно, какой именно набор параметров и, соответственно, набор коволюмных факторов использовался в расчетах. В каком фазовом состоянии рассматривался углерод? Учитывалась ли его сжимаемость и сжимаемость других конденсированных фаз (алюминий, его оксид, бемит, байерит и др.)?

2). При термодинамическом моделировании процесса изоэнтропического расширения продуктов детонации из состояния Чепмена-Жуге их состав может рассчитываться как равновесный, частично неравновесный (по температурам и концентрациям конденсированных фаз) или как "замороженный", т.е. постоянный. "Заморозка" может осуществляться принудительным заданием содержания компонентов продуктов детонации как в точке Чепмена-Жуге, так и в любой точке на изоэнтропе расширения продуктов. Выбор точки «заморозки», т.е. фиксации состава продуктов, важен, поскольку он определяет и состав конечных продуктов детонации, и теплоту взрыва. Из Главы 2 неясно, осуществлялась ли данная процедура для продуктов детонации алюминизированных взрывчатых составов и проводилось ли сравнение с экспериментальными данными для каких-нибудь других взрывчатых составов хотя бы по теплоте взрыва?

3). Исследованные неидеальные взрывчатые составы имеют одинаковую массовую долю нитрометана — 17%. Однако, принимая во внимание большую удельную поверхность частиц алюминия марки ПАП-2, в зарядах взрывчатых составов с различным содержанием алюминия слои нитрометана, распределенные по поверхности частиц, будут сильно отличаться. Почему тогда выбрано именно такое соотношение между жидким взрывчатым веществом и порошкообразными компонентами? Было ли исследовано, каким образом относительное содержание нитрометана влияет на детонационные характеристики взрывчатого состава и кинетику энерговыделения за фронтом детонационной волны?

4). В таблице 2 (стр. 39) приведены характеристики исследуемых в работе смесей и их зарубежных аналогов, а также их рецептуры. Однако в столбце «Состав» рецептуры 2-х последних ВС указаны неверно: для Н-6 сумма вес.% равна 110, а для НВХ-3 — 90 вес.%. В последнем составе содержание алюминия должно быть 35%, а не 25% (см. ссылку [120] диссертации).

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации — 6. Работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях — 5, общим объемом 3 печатных листа.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Комиссаров П.В., Борисов А.А., Басакина С.С., Лавров В.В. Усиление взрывной волны подводного взрыва металлизированного заряда в направлении пузырькового канала в сплошной воде // Химическая физика. — 2019. — Т. 38, № 8. — С. 12–23.

2. Комиссаров П.В., Сулимов А.А. Ермолаев Б.С., Басакина С.С., Лавров В.В., Точилин С.Н., Храповский В.Е. Особенности инициирования и распространения низкоскоростной детонации в высокоплотных зарядах на основе смесей перхлората аммония с горючими добавками // Химическая физика. — 2020. — Т. 39, № 8. — С. 21–27.

3. Ермолаев Б.С., Комиссаров П.В., Басакина С.С., Лавров В.В. Оценка скоростей экзотермических реакций при неидеальной детонации тройных смесей нитрометан/перхлорат аммония/алюминий // Химическая физика. — 2023. — Т. 42, № 9. — С. 63–73.

На автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный заместителем директора института комплексной безопасности в строительстве Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского Московского государственного строительного университета», кандидатом технических наук **Громовым Николаем Викторовичем**. Отзыв положительный. При чтении автореферата у автора возникли следующие вопросы и замечания:

1). Параметры подводного взрыва, определенные для высокометаллизированных составов, получены на небольшой глубине (до 3 м), на которую быстро приходят волны разрежения, образующиеся при разгрузке волн сжатия после их выхода на поверхность воды. Возможно, что на большей глубине эффект от взрыва будет другим.

2). Из текста неясно, каким образом автор работы пришла к выводу, что вдоль пузырькового канала распространяется именно реагирующая среда. В этом случае должно быть заметно сравнительное влияние таких реакций на период пульсации. Был ли обнаружен такой эффект?

2. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный начальником отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Государственного научно-исследовательского института органической химии и технологии» доктором технических наук, доцентом **Громовой Татьяной Владимировной**. Отзыв положительный. По тексту автореферата у автора возникли следующие замечания:

1). В работе нет никаких сведений о тарировке использованных датчиков давления. Каким образом тарировали датчики?

2). Неясно на чем основан выбор основы для детонирующих составов (нитрометан + перхлорат аммония) и размера частиц окислителя. Возможно ли, что при использовании других окислителей, например, нитрата аммония эффект будет тем же?

3). В тексте автореферата идет речь о том, что с целью получения информации о скоростях экзотермического превращения и взаимодействия компонентов смеси для исследуемых композиций расчеты осуществлялись с помощью компьютерной программы, созданной на основе квазиодномерной математической модели стационарной неидеальной детонации двух- или трехкомпонентных смесей. Однако в автореферате нет описания программного продукта, его статуса (сертификация, регистрация) и примеров его использования.

3. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный начальником научно-конструкторского отдела КБ-2 Акционерного общества «Научно-производственное объединение «Базальт», кандидатом технических наук **Русковым Владимиром Федоровичем**. Отзыв положительный. При чтении автореферата у автора возникли следующие вопросы и замечания:

1). На рис. 1 представлены скорости детонации зарядов в зависимости от расстояния. По этим данным делается вывод о стационарном распространении детонационного процесса. Однако, несмотря на то, что в тексте диссертации упоминается большое количество опытов, в автореферате на рис. 1 показаны только некоторые из них, что не позволяет сделать однозначные выводы о стационарности процесса.

2). Следовало бы объяснить, из каких соображений автор делает вывод о том, что реакция продолжается в пузырьковом канале при движении гетерогенной сжимаемой среды по нему в сторону мишени.

3). В работе рассмотрены генераторы пузырьков, обеспечивающие вертикальное образование пузырьковой колонны. Рассматривалась ли

система подачи воздуха в генератор пузырьков, которая обеспечивала бы устойчивое образование пузырьковой колонны, отличное от вертикального? На практике возможны случаи, когда необходимо разрушить препятствие под водой, расположенное, например, вертикально, а не горизонтально.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

1. Официальный оппонент д.ф.-м.н., доц. **Ершов Александр Петрович** — автор известных научных работ по экспериментальному и теоретическому исследованию механизма распространения детонации по различным взрывчатым составам. Его работы по данной теме опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях. Несомненно, Ершов А.П. является экспертом в области детонации конденсированных взрывчатых веществ, который может по существу оценить представленную диссертационную работу.

2. Официальный оппонент к.ф.-м.н. **Мочалова Валентина Михайловна** является специалистом в области физики детонационных волн в жидких и конденсированных взрывчатых веществах. Большой и разнообразный экспериментальный опыт, высокая научная квалификация Мочаловой В.М. позволяют ей всесторонне оценить диссертационную работу Басакиной С.С.

3. Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ имени Н.Э. Баумана)** является одним из ведущих российских учреждений в области физики взрыва. Основными направлениями исследований МГТУ имени Н.Э. Баумана являются исследования физики быстропротекающих процессов (физики взрыва и высокоскоростного удара) и теории взрывчатых веществ; механики деформирования и разрушения твердого

тела; теории оптимального проектирования и разработки промышленных взрывных технологий. Высокая научная квалификация сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана позволяет дать экспертную оценку представленной диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что в рассматриваемой работе диссертантом был определен механизм распространения детонационного процесса в составах, содержащих большой избыток металлического горючего, и отмечена ведущая роль в нем жидкого взрывчатого вещества. Разработан новый метод организации подводного взрыва высокометаллизированных взрывчатых веществ. Впервые экспериментально было показано, что наличие гетерогенной пузырьковой среды увеличивает смещение продуктов взрыва, содержащих разогретые частицы алюминия, с водой, тем самым увеличивая общую энергетику взрыва. Кроме того, впервые доказана возможность организации направленного подводного взрыва, при котором волны сжатия и течения распространяются в специально подготовленном гетерогенном канале от заряда до цели. При этом установлено, что изменяя долю избыточного алюминия и параметры пузырькового канала можно увеличить эффективность подводного взрыва за счет управления ударноволновой и пульсационной составляющими энергии.

Теоретическая значимость исследования. В диссертации на основе экспериментальных данных уточнена численная модель неидеальной детонации, с помощью которой установлен механизм ее распространения. Благодаря этому было показано, что для распространения детонации в сильно забалластированном металлическим горючим составе необходима добавка жидкого взрывчатого вещества. Фактически предложен новый способ эффективного управления энерговыделением при проведении подводного взрыва.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики. Новый метод организации подводного взрыва

высокометаллизированных взрывчатых веществ может быть использован для конструирования зарядов с заранее заданным типом, направлением и кинетикой энерговыделения. Это может быть востребовано в промышленных технологиях взрывной гидроформовки, морской сейсморазведке, а также подводной добыче полезных ископаемых.

Оценка достоверности результатов исследования. Достоверность результатов обеспечивается большим массивом экспериментальных данных, полученных с использованием нескольких апробированных измерительных методик, непротиворечивостью получаемых результатов и их удовлетворительным согласием с результатами численных расчетов, воспроизводимостью результатов при неизменных условиях экспериментов. Материалы диссертации были широко апробированы на представительных научных конференциях, совещаниях и семинарах.

Личный вклад соискателя состоит в личном участии на всех этапах исследования. Соискатель принимал непосредственное участие в постановке задач, проведении расчетов детонационных характеристик используемых составов, разработке и изготовлении экспериментальных установок, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе их результатов, а также в подготовке научных статей и представлении докладов на научных конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1). Возможно ли использовать пузырьковые тоннели, аналогичные описанным в работе, на практике? Каким образом создать такие пузырьковые каналы?

2). Сохранится ли обнаруженный эффект направленного взрыва и дореагирования избыточного металла в случае, если геометрические начальные условия будут изменены? Или полученные значения удельных энергий справедливы только для ваших условий проведения эксперимента?

Соискатель Басакина С.С. ответила на задаваемые ей вопросы и привела собственную аргументацию:

1). В ходе проведения экспериментов был опробован способ создания пузырькового канала путем взрыва между зарядом и препятствием детонирующего шнура. Расходящаяся цилиндрическая волна формирует кавитационные пузырьки, образующие канал с высокой сжимаемостью, приходящие от заряда к цели за миллисекунду до взрыва основного алюминизированного заряда.

2). Да, эффект сохранится. В тексте диссертации представлены результаты экспериментов, в которых масса заряда была увеличена на порядок, а длина и объем пузырькового канала в несколько раз. Эффект сохранился. Полученные значения энергии справедливы только в проведенной постановке, однако они могут быть использованы для сравнения экспериментов с различными составами и пузырьковыми средами между собой, что и было показано в работе.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменениям, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 335 от 21 апреля 2016 года, и принял решение присудить **Басакиной Светлане Сергеевне** ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний

вещества, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение ученой степени — 20,
против присуждения ученой степени — нет,
недействительных бюллетеней — нет.

Председатель
диссертационного совета 24.1.243.02
доктор физико-математических наук



М.Г. Голубков

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.243.02
кандидат физико-математических наук

С.Ю. Сарвадий

27 марта 2024 года