

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ  
ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26.12.2018 протокол 24

О присуждении Ананьеву Сергею Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Физико-химические превращения углеродных наноструктур и реакционно-способных смесей при ударно-волновых воздействиях» в виде рукописи по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 24.10.2018г., протокол 20, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2, [jiht.ru](http://jiht.ru), (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012г. № 105/нк.

Соискатель Ананьев Сергей Юрьевич 1990 года рождения, в 2014 году окончил Московский физико-технический институт (государственный университет).

В 2018 году окончил очную аспирантуру Московского физико-технического института (государственного университета).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Работает м.н.с. Лаборатории №1.1 – ударно-волновых воздействий НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Долгобородов Александр Юрьевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, НИЦ-1, Лаборатория №1.1, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор Разоренов Сергей Владимирович, Институт проблем химической физики Российской академии наук (142432, Московская область, Ногинский район, г. Черноголовка, проспект ак. Семенова, 1б, Телефон: +7 (495) 993-57-07, razsv@icp.ac.ru), лаборатория реологических свойств конденсированных сред при импульсных воздействиях, заведующий лабораторией;
  - кандидат физико-математических наук, Шаргатов Владимир Анатольевич, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31, +7 (495) 788-5699, info@mephi.ru), кафедра химической физики, доцент;
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук (142432, Московская область, г. Черноголовка. ул. Академика Осипьяна, д.8, Телефон: 8 (49652) 46-376, isman@ism.ac.ru) в своем положительном заключении, составленном старшим научным сотрудником лаборатории ударно-волновых процессов, кандидатом технических наук, Сайковым И.В. (утвержденном ученым секретарем Камыниной О.К.), указала что:

1. Найдены пороговое давление структурной устойчивости двустенных углеродных нанотрубок (ДУНТ) и одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) при ударно-волновых нагружениях. Показано, что введение УНТ увеличивает прочность керамики при квазистатическом нагружении более, чем в два раза.
2. Найдены условия взрывного нагружения ампул сохранения, при которых реакция Ni-Al протекает практически полностью с образованием интерметаллида NiAl с небольшим количеством Al<sub>3</sub>Ni<sub>5</sub> (< 5 %).
3. Изучена динамика ударно-волнового и электроискрового инициирования реакции в механоактивированных термитных смесях Al с оксидами металлов. Определены оптимальные условия повышения реакционной способности смесей Al с Ni, Al с CuO в механохимических активаторах.

Результаты исследований, выполненных Ананьевым С.Ю., считаем целесообразным использовать при планировании экспериментов по ударно-волновому прессованию и синтезу высокоплотных компактов заданного состава, в том числе дисперсноупрочненных.

Соискатель имеет 7 статей в рецензируемых научных журналах, 9 статей в сборниках трудов российских и международных конференций и 27 тезисов докладов:

Основные работы:

- Maxime Noël, Sergey Ananev, Mattias Mases, Xavier Devaux, Juhan Lee, Ivan Evdokimov, Manuel Dossot, Edward McRae, Alexander V. Soldatov Probing structural integrity of single walled carbon nanotubes by dynamic and static compression // Physica Status Solidi (b) 2014, V.8, I. 11, p. 935–938;
- Ananev S.Yu., Deribas A.A., Drozdov A.A., Dolgoborodov A.Yu., Morozov A.E., Povarova K.B., Yankovsky B.D. Dynamic compaction of Ni and Al micron powder blends in cylindrical recovery scheme // Journal of Physics: Conf Ser., 2015, V653, N1, pp.12037-12040;
- Ananev S.Yu., Dolgoborodov A.Yu., Shiray A.A., Yankovsky B.D. Shock initiation of exothermic reactions in mechanically activated mixtures // Journal of Physics: Conference Series (JPCS), 2016, V.774, N.1., pp. 12069-12078;
- Ananev S.Yu., Yankovsky B. D., Dolgoborodov A.Yu. The combustion of Al+CuO powder mixture under shock wave initiation of the reaction // Journal of Physics: Conference Series (JPCS), 2018, V. 946, C.1, pp. 12054-12061;
- Botella Vives, Pablo and Devaux, Xavier and Dossot, Manuel and Garashchenko, Viktor and Beltzung, Jean-Charles and Soldatov, Alexander and Ananev, Serg Single-walled carbon nanotubes shock-compressed to 0.5 Mbar // Physica Status Solidi B: Basic Solid State Physics, 2017, V254, I.11;
- А.Н. Жуков, В.В. Якушев, С.Ю. Ананьев, В.В. Добрыгин, А.Ю. Долгобородов Исследование алюминиды никеля, образовавшегося при

ударно-волновом нагружении смесей алюминия с никелем в плоских ампулах сохранения // Физика горения и взрыва, 2018, т. 54, N1 стр. 72-80;

- В.В. Якушев, С.Ю. Ананьев, А.В. Уткин, А.Н. Жуков, А.Ю. Долгобородов Ударная сжимаемость смесей микро- и наноразмерных порошков никеля и алюминия // Физика горения и взрыва, 2018, т. 54, N5 стр. 45-50.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»** (д.т.н., профессор Кривченко А.Л.) – отзыв положительный, с замечаниями:

– В автореферате недостаточно отражены результаты исследований других авторов по исследованию упрочнения композиционных материалов углеродными нанотрубками;

– известно, что интерметаллид NiAl ранее был получен в отделе д.ф.-м.н. Дрёмина А.Н., там же проведены исследования его свойств.

**2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»** (заведующий кафедрой «Химическая физика», д.ф.-м.н., профессор, Губин С.А.) – отзыв положительный, с замечанием:

– армирующее действие нанотрубок в композиционной керамике на основе карбида кремния, показанное в работе при статических условиях, было бы логично дополнить данными при ударно-волновых воздействиях с использованием ампул сохранения.

**3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела структурной макрокинетики, д.ф.-м.н., Зелепугин С.А.) – отзыв положительный, с замечанием:**

– в автореферате не приводятся фотографии ампул сохранения после проведения ударно-волновых экспериментов. Отсутствие таких данных снижает значимость экспериментальных результатов для разработки численных моделей и их верификации.

**4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (д.т.н., профессор кафедры «Высокоточные летательные аппараты» (СМ-4) Кобылкин И.Ф.) – отзыв положительный, с замечаниями:**

– в автореферате, и, по-видимому, в диссертации не сформулированы объект и предмет исследования. Поэтому три главы диссертации практически никак между собой не связаны;

– в тексте автореферата в ряде случаев отсутствует определение использованных обозначений, в частности, в табл. 1.2 не дано определение геометрических характеристик образца и не указан метод определения изгибной прочности.

**5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии Наук**

(заведующий лабораторией физики горения твердых топлив, д.ф.-м.н., Ассовский И.Г.) – отзыв положительный, с замечанием:

– в числе замечаний по автореферату диссертации можно отметить отсутствие какого-либо обзора современного состояния исследований по теме диссертации, а также отсутствие ПЭМВР-фотографий исходных образцов одностенных и двухстенных УНТ, что затрудняет оценку разрушения образцов после ударно-волнового нагружения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

– заведующий лабораторией реологических свойств конденсированных сред при импульсных воздействиях ИПХФ РАН, д.ф.-м.н., профессор Разоренов Сергей Владимирович является признанным специалистом в области физики ударных волн и свойств веществ при ударно-волновых нагружениях. Автор более 200 работ по этой тематике.

- Савиных А.С., Канель Г.И., Разоренов С.В., Румянцев В.И. Эволюция ударных волн в керамике SiC // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. № 7. С. 43-47.
- Тарасов А.Е., Бадамшина Э.Р., Анохин Д.В., Разоренов С.В., Вакорина Г.С. Влияние малых добавок углеродных нанотрубок на механические свойства эпоксидных полимеров при статических и динамических нагрузках // Журнал технической физики. 2018. Т. 88. № 1. С. 34-41.
- Савиных А.С., Гаркушин Г.В., Разоренов С.В., Румянцев В.И. Динамическая прочность реакционно-спеченной керамики карбида бора // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 6. С. 77-82.

– к.ф.-м.н. Шаргатов В.А. является известным специалистом в области газодинамики и моделирования ударно-волновых процессов в газовых смесях и пористых средах.

- Губин С.А., Шаргатов В.А. Эффективный приближенный метод решения задачи об установлении химического равновесия в продуктах взрыва газовых смесей // Химическая физика. 2013. Т. 32. № 4. С. 80.
- Шаргатов В.А., Чугайнова А.П., Горкунов С.В., Сумской С.И. Структура течения за ударной волной в канале с периодически расположенными препятствиями // Труды Математического института им. В.А. Стеклова РАН. 2018. Т. 300. С. 21
- Shargatov V.A. Dynamics and stability of air bubbles in a porous medium // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2018. Т. 58. № 7. С. 1172-1187.

Выбор ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук в качестве ведущей организации обусловлен тем, что «ИСМАН» является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе, в области самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), синтеза и модификации материалов в условиях высоких динамических давлений, управления процессами горения и взрыва, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя.

- Shchukin A.S., Sytshev A.E., Vrel D. Interaction of NiAl intermetallic during SHS synthesis with TA substrate // Advanced Engineering Materials. 2018. С. 1701077.

- Алымов М.И., Первухин Л.Б., Рогачев А.С., Первухина О.Л., Сайков И.В. Комбинирование СВС и ударно-волнового компактирования для получения композиционных материалов // Письма о материалах. 2014. Т. 4. № 3 (15). С. 153-158.
- Rogachev A.S., Shkodich N.F., Vadchenko S.G., Kovalev D.Yu., Rouvimov S., Neparushev A.A., Mukasyan A.S., Baras F. Influence of the high energy ball milling on structure and reactivity of the Ni + Al powder mixture // Journal of Alloys and Compounds. 2013. Т. 577. С. 600-605.
- Mukasyan A.S., Rogachev A.S., Aruna S.T. Combustion synthesis in nanostructured reactive systems // Advanced Powder Technology. 2015. Т. 26. № 3. С. 954-976.

Диссертационный совет отмечает, что, на основании выполненных **соискателем исследований:**

- определены пределы структурной устойчивости двухслойных и однослойных углеродных нанотрубок. Пороговое значение давления структурной устойчивости двустенных углеродных нанотрубок находится в промежутке между 26 и 30 ГПа, одностенных — между 19 и 26 ГПа, ближе к уровню 19 ГПа, что существенно ниже, чем при статическом сжатии;
- изучена структура и механические свойства керамических композитов на основе SiC, упрочненных углеродными наноструктурами, при статическом и ударно-волновом нагружении. Показано, что введение нанотрубок увеличивает прочность керамики при квазистатическом нагружении в 1.6–1.8 раз;
- найдены условия взрывного нагружения ампул сохранения, при которых реакция Ni-Al протекает практически полностью с образованием

интерметаллида NiAl с примесью  $Al_3Ni_5$  (менее 5%) при давлении ударного сжатия свыше 10 ГПа;

– определены оптимальные условия повышения реакционной способности термитных смесей Al с Ni, Al с CuO в механохимических активаторах.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

– получена фундаментальная информация о закономерностях и характере разрушений разных типов углеродных нанотрубок при динамическом нагружении;

– установлена возможность протекания реакции в смеси наноразмерных компонентов Ni и Al в микросекундном диапазоне непосредственно за фронтом ударной волны;

– изучена динамика ударно-волнового и электроискрового инициирования реакции в различных механоактивированных термитных смесях Al с оксидами металлов;

– результаты воздействий ударных волн на вещества, рассмотренные в ходе работы, имеют фундаментальный характер и вносят вклад в развитие химии ударного сжатия.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– углеродные нанотрубки возможно использовать в качестве армирующего материала при изготовлении композиционных материалов. Легирование керамики на основе карбида кремния углеродными нанотрубками приводит к повышению пределов упругости и прочности на изгиб при статических воздействиях более чем вдвое по сравнению с чистой керамикой. Подобная упрочненная керамика может быть использована при изготовлении компонентов для двигателей особо тяжелых баллистических ракет;

– при взрывном синтезе интерметаллидов NiAl с использованием ампул сохранения цилиндрической геометрии образуется малопористый (<5%) интерметаллид NiAl, который имеет практическую ценность как потенциальный конструкционный материал для работы при температурах, превышающих температуры плавления никелевых сплавов.

– высокоэнергоемкие составы на основе смесей Al(Mg)+оксид металла привлекательны как прототипы высокоплотных реакционных материалов различного назначения. Предварительная механическая активация таких составов позволяет регулировать скорость выделения энергии при протекании в них реакции. В зависимости от состава, плотности и других физико-химических свойств реакционные материалы, при использовании в вооружении, могут создавать дополнительные эффекты, такие как повышение температуры, образование вторичных очагов возгорания, увеличение фугасного действия и прочие. Кроме того, такие материалы могут использоваться в исполнительных устройствах различного назначения.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Объединенном институте высоких температур РАН, Институте проблем химической физики РАН, Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» и во многих других научных учреждениях.

**Оценка достоверности результатов** исследования выявила:

– применявшиеся в работе экспериментальные методики и приборы отличаются высоким уровнем разработки и позволили получить надежные количественные и качественные данные

- направленность работы выбрана в результате анализа научно-технической литературы по предметной области исследования и передовом опыте работы других научных групп, лабораторий;
- результаты неоднократно обсуждались на различных российских и международных конференциях.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Личный вклад автора являлся определяющим в работе и состоял в обсуждении поставленных задач, планировании, подготовке и проведении взрывных экспериментов, обработке полученных данных, анализе и интерпретации результатов, формулировке научных выводов и написании статей. Апробация результатов исследования проводилась на более чем 15 российских и международных конференциях и симпозиумах, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

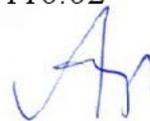
На заседании от 26.12.2018 диссертационный совет принял решение присудить Ананьеву С.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человека, из них 12 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека,

входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор



Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н.



Васильев М.М.



26.12.2018г.