

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Ситников Сергей Анатольевич

**Тема диссертации:** Разработка стойких к ионной эрозии материалов на основе нитрида кремния для разрядных камер электроракетных двигателей

**Специальность:** 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 18 декабря 2017 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Ситникову Сергею Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Абашев В. М., Агульник А. Б., Демидов А. С., Козлов А. А., Коротеев А. А., Кочетков Ю. М., Краев В. М., Лесневский Л. Н., Молчанов А. М., Мякочин А. С., Надирадзе А. Б., Назаренко И. П., Ненарокомов А. В., Никитин П. В., Попов Г. А., Силуянова М. В., Тазетдинов Р. Г., Тимушев С. Ф., Хартов С. А., Чванов В. К.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.08, д.т.н., профессор



Зуев Ю.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 18.12.2017г. № 38

О присуждении Ситникову Сергею Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка стойких к ионной эрозии материалов на основе нитрида кремния для разрядных камер электроракетных двигателей» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 16.10.2017г., (протокол заседания № 28) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - №2249-1460 от 02.11.2007г., об изменении состава диссертационного совета - №1986–540/1460 от 21.11.2008г., о продлении срока действия диссертационного совета - №1925-601 от 08.09.2009г., о соответствии диссертационного совета Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой

степени доктора наук - №105/нк от 11.04.2012г., об изменении состава диссертационного совета №508/нк от 22.08.2012г., об изменении состава диссертационного совета - №548/нк от 06.10.2014г., об изменении состава диссертационного совета - №1017/нк от 20.10.2017г.

Соискатель Ситников Сергей Анатольевич, 1975 года рождения, работает ведущим инженером в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 1999 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», в 2017 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук Рабинский Лев Наумович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», заведующий кафедрой .

**Официальные оппоненты:**

- Булычев Николай Алексеевич, доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Физический институт им.

П.Н.Лебедева Российской академии наук", Отдел люминесценции им. С.И.Вавилова, ведущий научный сотрудник;

- Ризаханов Ражудин Насрединович, кандидат физико-математических наук, Государственный научный центр Российской Федерации — федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», Центр по применению нанотехнологий в энергетике и электроснабжении космических систем, начальник Центра.

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** ОАО «Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанным Егоровым В.Н., доктором технических наук, заместителем Генерального директора по науке, Иванчуком С.Б., кандидатом технических наук, начальником НИЛ и утвержденным Генеральным директором ОАО Зиннуровым В. Х., указала, что диссертационную работу С.А. Ситникова характеризует актуальность тематики, практическая значимость и новизна. Диссертационная работа С.А. Ситникова представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты диссертационной работы С.А. Ситникова рекомендуется использовать в области создания тепловых электроракетных двигателей и энергоустановок летательных аппаратов. Работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Сергей Анатольевич Ситников заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 8 п.л., из них в рецензируемых изданиях опубликовано 9 работ. Из 20 работ 2 – статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 7 – в реферируемых журналах из перечня

ВАК, 11 – тезисы докладов на международных научных конференциях и симпозиумах.

Авторским вкладом в опубликованных работах является разработка и испытание керамических материалов для применения в электроракетных, тепловых двигателях и энергетических установках, исследование влияния материала разрядной камеры высокочастотного ионного двигателя на его характеристики, а также технология получения керамических материалов, в том числе композиционных, на основе нитрида кремния для применения в двигательных установках.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

#### **Наиболее значимые работы:**

1. Ripetsky A., **Sitnikov S.**, Rabinskiy L., et al. Fabrication of porous silicon nitride ceramics using binder jetting technology // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. p. 1-6.
2. Poliakov P.O., Soliayev Y.O., **Sitnikov S.A.**, et al. Numerical modeling of residual thermal stresses in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  based high-porous fibrous ceramics // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. V. 111. No 2. p. 319-330.
3. Петров Л. М., **Ситников С. А.** Керамика нитрид бора — нитрид кремния — материал стенок кольцевой камеры ускорителя плазмы при низкотемпературной активации поверхности // Технология металлов. 2008. №8. С. 30- 33.
4. **Ситников С.А.**, Фетисов Г.П., Ломазов Г.В. Использование композиционных керамических материалов на основе нитрида кремния в бытовых когенерационных установках // Технология металлов. 2011. №12. С. 49 – 53.

5. Хартов С.А., Балашов В.В., Ситников С.А. и др. Выбор конструкционных материалов для высокочастотных ионных двигателей // Труды МАИ. 2013. № 63. [Электронный ресурс]. URL: <http://trudymai.ru>.

6. Погодин В.А., (...), Ситников С.А., Соляев Ю.О. Исследование пористой керамики на основе нитрида кремния, полученной с использованием технологии трехмерной печати // Новые огнеупоры. 2016. №11. С.33-37.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**Отзыв на диссертацию ведущей организации** ОАО «Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)». В качестве замечаний отмечается:

1. Глава 2.2. посвящена исследованиям распыляемости, сформированных керамик при воздействии ионов Ag и Xe, однако результаты исследований приведены только для Xe. Эффект воздействия ионов Ag на керамику, с научной точки зрения, интересен тем, что в потоке Ag, как правило содержится остаточный кислород, разрушающий керамику в ускорителях типа УЗДП, применяемых в установках для ВИП обработки(нанесение покрытий).

2. В тексте диссертации нет четкости в изложении вопроса применения конкретного типа керамики для различных типов ЭРД и требуется пояснение отличий в использовании этого материала для различных типов ЭРД.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** доктора химических наук Булычева Николая Алексеевича. Замечания по диссертационной работе:

1. Данные о распределении частиц по размерам в полученных дисперсных системах керамических порошков свидетельствуют о том, что распределение достаточно широкое. Однако в работе нет сведений о попытках фракционирования полученных частиц по размерам или варьировании параметров механоактивации с целью получения более узких размерных фракций.

2. Желательно было бы прояснить вопрос о том, насколько равномерным является распределение полимерного связующего в композиционном материале.

3. Автором проведены измерения дзета-потенциала поверхности частиц дисперсной фазы. Эти крайне интересные данные могли бы дать ценную информацию о требуемом количестве полимерного связующего для формирования композиционного материала, однако это исследование не получило развития.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** кандидата физико-математических наук Ризаханова Ражудина Насрединовича. Замечания по диссертационной работе:

1. Отсутствуют конкретные значения продолжительности изготовления конечных изделий средних размеров и сложности по разработанным технологиям, например, от момента получения конструкторской документации.

2. Не указано, коррелируют ли полученные данные по стойкости к ионно-плазменной эрозии материала  $S_3N_4 + BN$  с результатами аналогичных исследований в других научных организациях.

3. Известно, что небольшие (до 0,5 %) добавки наночастиц способны заметно изменить свойства керамик. Автор, к сожалению, ограничился исследованием влияния процентного содержания керамики на ее характеристики, не уделив должного внимания добавкам.

4. Формулу Бёте (2.3) автор комментирует следующим образом: «...тормозная способность увеличивается с уменьшением атомного номера элемента...» и связывает рассеяние энергии с упругими столкновениями электронов. На самом деле, тормозная способность растет с ростом атомного номера, а снижение энергии электрона связано с ионизационными потерями.

**Отзыв на автореферат диссертации ФГУП ОКБ "Факел"**, составленный кандидатом технических наук, заместителем начальника отдела 301 Приданниковым С.Ю., главным специалистом комплекса 500 Панфиловым В.А. и утвержденный и.о. Генерального конструктора Корякиным А. И., содержит следующие замечания:

1. Не указаны физические свойства новой керамики в продольном и поперечном направлениях.
2. Автор не отметил, что ОКБ «Факел» успешно использует разрядные камеры СПД из керамики чистого VN, что как отмечено в работе, является одним из перспективных материалов, и двигатели СПД ОКБ «Факел» с чистым VN имеют летную историю.

**Отзыв на автореферат диссертации Дронова П.А.**, кандидата технических наук, руководителя направления по ЭРД Акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА), содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В тексте автореферата нет четкости в изложении вопроса о применении конкретного типа композита для различных типов ЭРД. Требуется пояснение по отличию в использовании этого материала для различных типов двигателей (стационарный плазменный двигатель, ионный двигатель).

2. Из текста автореферата следует, что основным применением разработанного керамического материала являются детали, входящие в состав ЭРД. Однако не раскрыта возможность применения данных керамических материалов в двигательных установках других типов (например, воздушно-реактивные и жидкостные ракетные двигатели, широкодиапазонные прямоточные воздушно-реактивные двигатели).

**Отзыв на автореферат диссертации сотрудников ПАО «РКК «Энергия»** - кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника Сухова Ю.И., руководителя научно-технического Центра Стриженко П.П., инженера-конструктора 1 кат. Щербины П.А. Отзыв содержит следующее замечание по содержанию работы:

1. В основном детальные исследования проведены по композиции VN-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (что актуально для ЭРД типа СПД) и в значительно меньшей степени отражены актуальные вопросы применения керамики Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в ионных двигателях.



**Отзыв на автореферат диссертации Акимова И.И.**, кандидата технических наук, заместителя руководителя отделения космической ядерной энергетики НИЦ «Курчатовский институт» содержит следующее замечание по содержанию работы:

1. В автореферате приведено недостаточно полное описание экспериментальных работ по применению разработанных керамических материалов в различных конструкциях газоразрядных камер ЭРД, что можно объяснить регламентированностью объёма текста реферата.

**Отзыв на автореферат диссертации Чернявского А.С.**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника лаборатории № 4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. По структуре диссертации - актуальность работы в автореферате не отражена в полном объеме и составляет всего 0,5 страницы.

2. В п. 1 научной новизны трудно найти научную составляющую и новизну. Скорее, изложенное относится к практической значимости работы; фундаментальная составляющая в работе практически отсутствует, работа в большей степени носит прикладной характер.

3. В тексте автореферата не везде соблюдается единая метрическая система. Например, на странице 10 используются и весовые, и массовые проценты.

4. Имеются погрешности оформления. На микрофотографиях подрисуночные подписи с датами измерений и данными прибора желательно не показывать.

**Отзыв на автореферат диссертации Жаворонка Сергея Игоревича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника ФГБУН «Институт прикладной механики Российской академии наук - ИПРИМ РАН».

Отзыв содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. Возможности применения различных аддитивных технологий для решения поставленных в диссертационной работе задач, за исключением использованных автором послойного направления и послойного впрыска связующего, анализируются весьма скупо, по крайней мере, судя по автореферату диссертации.

2. Автор указывает, что максимальные габаритные размеры полученных предложенным методом деталей не превышают 340 мм, что достаточно для малоразмерных моделей, однако возможность формования деталей больших размеров на базе разработанного им технологического процесса не оценивается.

**Отзыв на автореферат диссертации Санниковой С.Н.**, кандидата технических наук, начальника лаборатории разработки и внедрения конструкционной керамики ОАО «Композит». Отзыв содержит следующее замечание по содержанию работы:

К сожалению, не приведены такие важные свойства конструкционной керамики в системе  $\text{Si}_3\text{N}_4$  - BN как прочность, пористость, прочность при изгибе.

**Отзыв на автореферат диссертации Бурханова Г. С.**, профессора, доктора технических наук, члена-корреспондента РАН, заведующего лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук. Отзыв содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. Детали из предлагаемого материала на основе нитрида кремния обладают высокой пористостью (до 18%), что при использовании их в опытных прототипах ЭРД потребует дополнительного времени предварительного нагрева при вакуумировании для дегазации перед проведением экспериментов.

2. Отсутствует четкий алгоритм обоснования выбора метода формовки заготовок из поликристаллического кремния перед реакционным спеканием в зависимости от размеров и назначения керамических деталей ЭРД.

**Отзыв на автореферат диссертации Орешко А.П.,** доктора физико-математических наук, доцента кафедры физики твердого тела Физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова». Отзыв содержит следующее замечание по содержанию работы:

1. Из текста автореферата не ясно, какой из разработанных технологических процессов формования заготовок деталей из поликристаллического кремния автор считает наиболее перспективным для практического внедрения.

**Отзыв на автореферат диссертации Ситникова А.И.,** кандидата технических наук, начальника цеха керамики АО «НПП «Горий».

Отзыв содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. Несмотря на высокую пористость полученных реакционным спеканием заготовок, автор не исследовал возможность использования спекающих добавок для ее повышения.

2. Автор сосредоточился на исследовании возможности применения разработанных материалов в ЭРД и не исследовал возможность их применения в двигательных установках других типов - например, ВРД, ЖРД, широкодиапазонных ПВРД.

**Отзыв на автореферат диссертации Должанского Ю.М.,** доктора технических наук, главного научного сотрудника отделения научно-технического сопровождения создания изделий РКТ ФГУП «НПО «Техномаш».

Отзыв содержит следующее замечание по содержанию работы:

Судя по автореферату, результаты её были опробованы в основном в рамках учебных кафедр МАИ (НИУ) и НИИПМЭ МАИ, не внедрялись в конкретных образцах КА, а ссылка на отдельные результаты ОКР в интересах ОКБ «Факел» в контексте диссертационной работы, на наш взгляд, недостаточно убедительна.

Выбор в качестве официального оппонента Булычева Николая Алексеевича, доктора химических наук, обосновывается его компетентностью в области

физики наночастиц, межфазных поверхностей в дисперсных системах, а также в области химической технологии керамики, к которым относится диссертационная работа, что подтверждается публикациями по тематике исследования в рецензируемых изданиях.

Выбор в качестве официального оппонента Ризаханова Ражудина Насрединовича, кандидата физико-математических наук, обосновывается его компетентностью в области физики взаимодействия ионов с поверхностями, применения нанотехнологий в ракетно-космической технике, а также в области технологии композиционных керамик, к которой относится диссертационная работа, что подтверждается публикациями по тематике исследования в рецензируемых изданиях.

Ведущая организация ОАО «Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)» выбрана в соответствии с ее широко известными научной общественности достижениями в области материалов и технологий аэрокосмического назначения, большим опытом разработки процессов ионно-плазменной обработки поверхностей и технологических установок для ее осуществления и способна определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

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

**разработаны** новые керамические материалы на основе нитрида кремния, стойкие в условиях ионно-плазменного распыления, технологические процессы формовки и синтеза изделий из них, в том числе диэлектрических деталей для электроракетных двигателей;

**предложены** технологические процессы быстрого получения функциональных прототипов керамических деталей для различных типов электроракетных двигателей, использующие методы аддитивного производства заготовок и последующего реакционного синтеза деталей из них в среде азота.

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

**доказано**, что в процессе взаимодействия созданных керамических материалов с ионами  $Ar^+$ ,  $He^+$  фазы BN гексагональной модификации и  $\alpha-Si_3N_4$  тригональной модификации сохраняют устойчивость к распылению, а фаза  $\beta-Si_3N_4$  гексагональной модификации подвержена интенсивному распылению. Общая деградация структуры материалов происходит в результате распыления матрицы на основе  $\beta-Si_3N_4$  и последующего выкрашивания одиночных частиц BN и  $\alpha-Si_3N_4$ , утративших связь с основной массой керамики;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** разработанный способ повышения плотности заготовок, формирующихся методом впрыска связующего. Уплотнение обеспечивается продольными ультразвуковыми колебаниями, возбуждаемыми в пуансоне установки трехмерного моделирования. Применение ультразвукового уплотнения повышает прочность на изгиб моделируемых изделий более чем в 2 раза;

**изучены** закономерности влияния параметров технологического процесса реакционного спекания в среде азота отформованных заготовок на механические свойства изделий;

**раскрыта** связь между составом разработанных керамических материалов и характеристиками их электрофизических, механических и эксплуатационных свойств.

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

**разработаны** технологические процессы, спроектировано, изготовлено и апробировано оборудование для получения керамических изделий различной геометрической формы, в том числе деталей электроракетных двигателей различных типов;

**созданы** детали кольцевой разрядной камеры опытного стационарного плазменного двигателя мощностью 300-500 Вт, газоразрядные камеры для ряда

опытных высокочастотных ионных двигателей мощностью до 1000 Вт, работоспособность которых подтверждена в результате выполненных огневых и вибропрочностных испытаний.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** – результаты, отраженные в диссертационной работе, получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методик сбора и обработки данных и обеспечиваются необходимым и достаточным количеством исследовательского материала, воспроизводимостью результатов опытов;

**теория**, использованная при разработке структурно-фазового состава керамических материалов и способов их получения, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**установлена** высокая степень согласования авторских результатов с данными, представленными в независимых источниках по тематике.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- в проведении экспериментальных исследований по получению семейства керамических материалов на основе нитрида кремния и проведении испытаний их электрофизических, механических и эксплуатационных свойств, обработке и интерпретации полученных результатов;

- разработке, изготовлении и апробировании опытных установок для формовки заготовок керамических деталей методами горячего литья керамики и трехмерного моделирования (процессы послойного наплавления и впрыска связующего), а также разработке установки для осуществления реакционного спекания заготовок в среде азота;

- разработке технологических режимов получения керамических изделий для электроракетных двигателей различных типов.

На заседании 18 декабря 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Ситникову С.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета



Равикович

Юрий Александрович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зуев

Юрий Владимирович

18 декабря 2017 года