



Акционерное общество  
«Конструкторское бюро химавтоматики»  
(АО КБХА)

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. Ворошилова, 20  
тел.: (473) 234-65-65, 263-36-80, факс: (473) 276-84-40  
e-mail: info\_kb@kbkha.ru, http://www.kbkha.ru/

ОКПО 29691226, ОГРН 1043600062725  
ИНН/КПП 3665046177/366501001

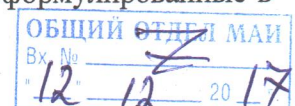
7.12.2017 № К-00/7463

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Ситникова Сергея Анатольевича  
«Разработка стойких к ионной эрозии материалов на основе нитрида кремния для  
разрядных камер электроракетных двигателей»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки  
летательных аппаратов»**

Диссертационная работа Ситникова С.А. посвящена разработке и исследованию керамических композиционных материалов на связке из нитрида кремния, технологических решений для получения деталей из этих материалов, применяемых в космических условиях. Воздействие механических нагрузок, температурных полей, глубокого вакуума, ионно-плазменных потоков зачастую приводят к преждевременному выходу из строя керамических деталей. Накопленный мировой опыт эксплуатации керамических материалов в указанных условиях не формирует законченную методологию в данной области исследования, а используемые в настоящее время керамические материалы и методы их получения оказываются малоэффективными с позиции больших временных затрат и финансовых вложений. Это особенно заметно при необходимости изменения геометрии разрабатываемых деталей, направленных на улучшение эксплуатационных характеристик двигателя. Таким образом, поставленная автором цель – разработка керамических материалов, а также технологических решений для оперативного получения деталей электроракетных двигателей (ЭРД), стойких к ионно-плазменной эрозии, является весьма **актуальной**. Судя по автореферату, сформулированные в



диссертационной работе задачи для достижения цели успешно решены.

**Научную значимость** имеют результаты исследований, посвященных, прежде всего:

- выявлению закономерностей процесса ионно-плазменного распыления композиционного керамического материала BN-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Установлено, что входящие в композиционный керамический материал BN-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> фазы BN гексагональной модификации и α-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> тригональной модификации устойчивы к распылению ионами Ag<sup>+</sup>, Xe<sup>+</sup>, а фаза β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> гексагональной модификации подвержена интенсивному распылению.
- разработке теоретических и прикладных основ подхода к изготовлению разрядных камер ЭРД и других деталей из керамических материалов, опирающегося на низкотемпературную технологию реакционного спекания в среде азота предварительно отформованных заготовок. Существенным является то, что получение заготовок осуществляется с применением метода трехмерного моделирования (FDM – послойное наплавление или Binder Jetting – послойный впрыск) и **используются аддитивные технологии.**

**Практическая значимость.** Особый интерес представляет разработанный автором комплекс технологических решений, позволяющий получать различные по сложности геометрии керамические изделия со связкой Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> с введением в них требуемого количества неорганических наполнителей (BN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC и др.).

При непосредственном участии автора спроектированы, изготовлены и апробированы опытная установка для получения заготовок методом послойного наплавления (FDM), установка для получения заготовок методом послойного впрыска связующего (Binder Jetting), технологический участок по получению заготовок методом шликерного литья. Отработан метод низкотемпературного реакционного спекания нитрида кремния для синтеза нитридных керамических материалов. Результаты проведенных исследований электрофизических, механических свойств и стойкости к ионно-плазменному распылению разработанных материалов, а затем и эксплуатационных свойств изделий из них, подтвердили высокую перспективность использования представленных технических решений для двигателей космических аппаратов и других теплонпряженных элементов высокотемпературной техники. Результаты по распыляемости керамик расширяют границы знаний в предметной области и могут быть использованы в дальнейшем для обеспечения работ по созданию различных типов ЭРД.

В качестве **замечаний** следует обратить внимание на следующее:

- 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).

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы.

По актуальности, научной новизне и практической ценности диссертационная работа заслуживает высокой оценки, соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК и заявленной специальности, а ее автор Ситников Сергей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА)

Ф.И.О. Дронов Павел Александрович  
Должность: Руководитель направления по ЭРД, кандидат технических наук  
Почтовый адрес: 394006, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ворошилова, д. 20  
Телефон: (473) 234-64-06  
Эл. почта: abel-cadb@yandex.ru

Подпись удостоверяю

12.12.2017г.

В.Д. Горохов  
Главный конструктор АО КБХА,  
доктор технических наук

