



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»  
(НИТУ МИСИС)

Ленинский проспект, 4, стр. 1, Москва, 119041

Тел. (495) 955-00-32; Факс: (499) 236-21-05

<http://www.misis.ru>

E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)

ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749

ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,  
доктор технических наук, профессор

М.Р. Филонов

2026 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Уваровой Ирины Александровны

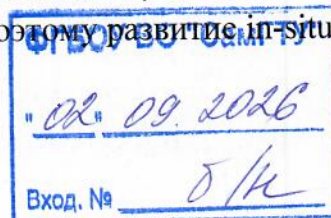
**«САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ  
СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ  
НИТРИДНО-КАРБИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC, AlN-SiC  
и TiN-SiC С ПРИМЕНЕНИЕМ АЗИДА НАТРИЯ И  
ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА»,**

**представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв,  
физика экстремальных состояний вещества**

### Актуальность темы

Диссертация И.А. Уваровой посвящена исследованию и разработке научных и технологических основ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза высокодисперсных керамических порошковых композиций на основе карбида кремния с нитридами кремния, алюминия и титана. Рассматриваемые композиции  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC, AlN-SiC и TiN-SiC представляют интерес как исходные композиционные порошки для получения конструкционной, функциональной и специальной керамики, поскольку сочетание карбидной и нитридной фаз позволяет целенаправленно изменять термостойкость, механические, электрические, теплофизические и эксплуатационные характеристики материалов. Для реализации преимуществ таких композитов принципиально важны высокая дисперсность исходных порошков, однородность распределения компонентов и возможность заранее задавать соотношение фаз. Традиционный ex-situ подход, основанный на механическом смешивании готовых однофазных порошков, особенно затруднен при переходе к высокодисперсным (субмикронным и наноразмерным) частицам вследствие их загрязнения при измельчении, сильной агломерации частиц, препятствующей их однородному распределению при смешивании, и высокой стоимости исходных очень мелких однофазных порошков. Поэтому развитие in-situ

Сотзвон с Уваровой, 14.09.2026



методов, обеспечивающих непосредственный одностадийный химический синтез нужной смеси высокодисперсных порошков из исходных относительно недорогих реагентов, является обоснованным и перспективным направлением. К *in-situ* методам относится и метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), и его разновидность - азидный СВС нитридов, использующий в составе исходных реагентов порошки азиды натрия  $\text{NaN}_3$  и газообразующих неорганических галоидных солей фторидов или хлоридов.

Азидный вариант СВС обладает рядом существенных преимуществ: процесс протекает за счет собственного тепловыделения, не требует длительного внешнего высокотемпературного нагрева, реализуется в сравнительно простом оборудовании и способен формировать высокодисперсные продукты благодаря сравнительно невысоким температурам горения и образованию значительного количества промежуточных и побочных газовых и конденсированных фаз. Вместе с тем ранее использовавшиеся в азидном СВС галоидные соли фторидов не обеспечивали требуемого соответствия фактического и расчетного фазового состава целевых композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ : наблюдались дефицит и даже полное отсутствие фазы  $\text{SiC}$ , образование нежелательных фаз  $\alpha$ - и  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  в композициях  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ , а также примеси соли криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  в композиции  $\text{AlN-SiC}$ .

Предложенная автором замена неорганических галоидных солей фторидов органическим фторполимером политетрафторэтиленом (ПТФЭ), выполняющим функции активирующей и карбидизирующей добавки, направлена непосредственно на устранение указанных недостатков. С учетом необходимости получения указанных керамических композиций заданного фазового состава с ценными свойствами и развития технологически реализуемых ресурсосберегающих методов синтеза композиций высокодисперсных порошков тема диссертационной работы является актуальной и соответствует современным задачам химической физики в части применения процессов горения для синтеза материалов.

### **Структура и объем диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 161 наименований. Диссертация изложена на 246 страницах, содержит 55 рисунков, 35 таблиц и приложения на 3 страницах. Структура работы соответствует логике исследования: от анализа состояния проблемы и обоснования составов шихт – к термодинамическому анализу, экспериментальной проверке, выбору рациональных режимов и разработке рекомендаций по организации технологического процесса.

### **Содержание диссертационной работы**

Во введении обоснована актуальность темы, рассмотрена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, приведены положения научной новизны и практической значимости, положения, выносимые на защиту, сведения о соответствии паспорту специальности, достоверности, апробации, личном вкладе автора и публикациях.

**В первой главе** выполнен развернутый обзор свойств карбида кремния и композиционных материалов  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ . Рассмотрены области применения данных материалов, влияние нитридных фаз на спекаемость, механические, электрические и теплофизические свойства керамики на основе  $\text{SiC}$ , а также современные методы получения высокодисперсных порошков. Сопоставлены механическое измельчение, плазмохимический, газофазный, золь-гель и другие методы синтеза. Показаны преимущества *in-situ* подхода и СВС как сравнительно быстрого и энергоэффективного процесса. Особое внимание уделено использованию ПТФЭ в процессе СВС карбида кремния и его композиции с нитридом кремния, а также предыдущим результатам применения азидного СВС с галоидными солями для получения композиций высокодисперсных порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ . Обзор логически подводит к постановке задачи увеличения содержания  $\text{SiC}$  и устранения побочных фаз при получении указанных композиций высокодисперсных порошков методом азидного СВС за счет использования ПТФЭ вместо галоидных солей.

**Во второй главе** обоснованы составы исходных смесей и условия проведения экспериментов. Для всех трех видов композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ , пяти мольных соотношений нитридной и карбидной фаз в них (4:1, 2:1, 1:1, 1:2 и 1:4) и четырех вариантов замены технического углерода на ПТФЭ автором составлены 60 исходных стехиометрических уравнений реакций азидного СВС для получения этих композиций порошков. Предусмотрены полная замена углерода на ПТФЭ в исходных шихтах и частичная замена с использованием карбидизирующих смесей: (А)  $0,9\text{C}+0,05\text{C}_2\text{F}_4$ , (В)  $0,8\text{C}+0,1\text{C}_2\text{F}_4$  и (С)  $0,7\text{C}+0,15\text{C}_2\text{F}_4$ . Количество азид натрия выбиралось, исходя из предполагаемого связывания токсичного фтора, выделяющегося при разложении ПТФЭ в волне горения, в менее вредную соль  $\text{NaF}$ . Приведены характеристики исходных порошков, методика приготовления шихт, параметры прессования и условия сжигания в лабораторном реакторе СВС-Аз объемом 4,5 л в атмосфере азота при давлении 3 МПа.

Методический комплекс включает измерение максимальной температуры горения и давления газа в реакторе, определение массы исходной шихты, теоретического выхода и массы промытого продукта, рентгенофазовый анализ и исследование микроструктуры. Количественный фазовый анализ проводился методом Ритвельда в программе HighScore Plus с использованием базы COD-2024; морфология исследовалась на сканирующих электронных микроскопах JSM-6390A и TESCAN VEGA 3. Принятое сочетание методов соответствует поставленным задачам.

**В третьей главе** выполнен термодинамический анализ реакций образования всех трех видов композиций нитридно-карбидных порошков с использованием программного комплекса THERMO при постоянном давлении азота 3 МПа. Рассчитаны адиабатические температуры и равновесный состав продуктов для 60 исходных уравнений. Показано, что расчетные адиабатические температуры для шихт с ПТФЭ находятся в интервале 2348-3348 К и достаточны для протекания

реакций в режиме горения. Установлена существенная роль образования газообразных фторидов, атомарного натрия и других газовых фаз, а также возможной диссоциации нитридов при высоких температурах. Для композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$  и  $\text{AlN-SiC}$  расчетным путем показана возможность полного превращения с образованием фазы  $\text{SiC}$ , тогда как для композиции  $\text{TiN-SiC}$  возможно полное или частичное образование вместо фазы  $\text{SiC}$  конкурирующих фаз  $\text{TiC}$  и  $\text{Si}_3\text{Ti}_5$ . Целевые нитридные фазы образуются неполностью из-за их диссоциации при высоких значениях адиабатических температур. Полученные результаты использованы для интерпретации последующих экспериментов и выбора рациональных составов.

**Четвертая глава** содержит результаты экспериментального исследования параметров горения, фазового состава и микроструктуры продуктов. Для каждого параметра приведены средние значения трех опытов. Автор сопоставляет насыпные и прессованные образцы, полную и частичную замену углерода ПТФЭ, а также три карбидизирующие смеси. Измеренные максимальные температуры горения составили 1960-3270 К, давления – 3,00-7,05 МПа. Диапазоны потерь массы целевого продукта и шихты оказались широкими – соответственно 2,2-99,2 и 0,11-99,0 %, что позволило выявить не только эффективные, но и заведомо неприемлемые варианты процесса.

Для системы  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$  установлено, что полная замена технического углерода на ПТФЭ нецелесообразна: при горении насыпных шихт в продуктах преобладает свободный углерод, а для прессованных шихт сохраняется значительная доля непрореагировавшего кремния; одновременно наблюдаются высокие потери вследствие интенсивного газовыделения. При частичной замене наиболее близкий к теоретическому состав получен для прессованных шихт с карбидизирующей смесью (С). Для состава  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{:SiC}=1\text{:}4$  показана возможность существенного снижения потерь повышением начального давления азота с 3 до 4 МПа.

Для системы  $\text{AlN-SiC}$  также доказана нецелесообразность полной замены углерода на ПТФЭ. Наиболее эффективной оказалась минимальная частичная замена углерода с применением карбидизирующей смеси (А). Для прессованных шихт четырех соотношений фаз  $\text{AlN:SiC} = 4\text{:}1, 2\text{:}1, 1\text{:}1$  и  $1\text{:}2$  получены продукты, содержащие преимущественно целевые  $\text{AlN}$  и  $\text{SiC}$  и не содержащие криолит; для соотношения  $1\text{:}4$  сохраняется до 15 % побочной фазы  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . В сравнении с традиционными шихтами с галоидными солями содержание  $\text{SiC}$  существенно приближено к заданному, а расход азидов натрия снижен.

Для системы  $\text{TiN-SiC}$  лучшие совокупные результаты по соответствию фазового состава и потерям получены при сжигании прессованных шихт с карбидизирующей смесью (С). Установлено значительное увеличение содержания  $\text{SiC}$  по сравнению с ранее применявшимися галоидными солями и уменьшение количества побочного  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Для четырех соотношений фаз  $\text{TiN:SiC} = 4\text{:}1, 2\text{:}1, 1\text{:}1$  и  $1\text{:}2$  рекомендовано начальное давление азота 3 МПа, для соотношения  $1\text{:}4$  – повышенное начальное давление 4 МПа.

Морфологические микроструктурные исследования показывают, что основная часть синтезированных порошкообразных продуктов представлена частицами и

агломератами с характерными размерами менее 1-2 мкм, то есть синтезированные порошки являются высокодисперсными.

Систематическое сопоставление большого числа синтезированных нитридно-карбидных композиций порошков по нескольким критериям: воспламеняемости, температуре, давлению, потерям массы, содержанию целевых и побочных фаз позволило автору не ограничиться констатацией возможности синтеза, а сформулировать дифференцированные рекомендации для получения каждой композиции методом азидного СВС с использованием ПТФЭ с наибольшим приближением к расчетному составу композиции.

**В пятой главе** рассмотрены особенности организации технологического процесса при использовании ПТФЭ. Обоснован отказ от шаровых барабанных смесителей в пользу смесителя типа «пьяная бочка» из-за пластичности ПТФЭ и склонности смеси к налипанию. Введена стадия прессования брикетов. Проанализирована проблема интенсивного газовыделения и разброса твердых продуктов, предложены направления уменьшения этого разброса: повышение давления азота, применение фильтрационной сборки, увеличение массы загрузки и сбор продуктов со стенок реактора. На основе ранее разработанной технологии традиционного азидного СВС с использованием галоидных солей предложена схема технологического процесса с использованием ПТФЭ для реактора объемом 19,4 л, включающая подготовку компонентов, смешивание, прессование, загрузку, синтез, выгрузку, измельчение, промывку и сушку. Приведена оценка продолжительности цикла и возможного выхода продукции.

**В заключении** обобщены результаты теоретического и экспериментального исследования, сформулированы восемь основных выводов. Показано, что поставленная научная задача в лабораторном масштабе решена: определены закономерности влияния состава и состояния шихты на параметры горения и фазовый состав, установлена неэффективность полной замены углерода ПТФЭ, выбраны рациональные варианты частичной замены для каждой системы, предложены способы уменьшения потерь и технологическая схема дальнейшего масштабирования.

#### **Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы**

Достоверность основных результатов обеспечивается значительным объемом взаимосвязанных расчетных и экспериментальных данных, применением современных методов анализа, сопоставлением трех композиционных систем и нескольких уровней содержания ПТФЭ, а также сравнением с ранее опубликованными данными по азидному СВС с галоидными солями. Экспериментальные параметры получены на одном типе реактора при фиксированных и описанных условиях, что делает сравнение вариантов корректным. Для каждой шихты приведены средние значения величин в трех опытах.

Основные результаты прошли апробацию на российских и международных научных конференциях. По материалам исследования опубликовано 10 работ, в том числе три статьи в рецензируемом журнале из Перечня ВАК, индексируемом в Scopus и Russian Science Citation Index.

**Научная новизна работы** заключается в применении порошкового политетрафторэтилена в качестве замены неорганических газообразующих галоидных солей фторидов в азидном СВС высокодисперсных нитридно-карбидных композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$ ; совместном использовании ПТФЭ и азида натрия, при котором азид натрия выполняет не только функцию источника активного азота, но и должен обеспечивать связывание фтора в водорастворимый  $\text{NaF}$ , удаляемый промывкой; термодинамическом исследовании 60 реакционных систем с различными соотношениями нитридной и карбидной фаз и различной степенью замены в исходных реагентах (шихтах) углерода политетрафторэтиленом; в экспериментальном установлении того, что полная замена технического углерода на ПТФЭ для рассматриваемых систем неэффективна, тогда как частичная замена позволяет увеличить содержание  $\text{SiC}$  и уменьшить количество побочных фаз по сравнению с традиционным азидным СВС с галоидными солями; нахождении для каждой композиционной системы рациональных составов шихт и условий сжигания; установлении взаимосвязи между содержанием ПТФЭ, интенсивностью газовыделения, параметрами горения, разбросом твердого продукта и отклонением фазового состава от заданного, что имеет значение для управления азидным СВС и дальнейшего масштабирования процесса.

#### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость определяется тем, что из большого числа исследованных вариантов выделены конкретные составы шихт и условия синтеза, обеспечивающие наиболее близкое соответствие фактического фазового состава заданному при приемлемых для лабораторного этапа потерях. Для синтеза композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$  рекомендована замена в шихтах 30 % технического углерода на ПТФЭ, для  $\text{AlN-SiC}$  – 10 % такой замены. При этом применение ПТФЭ позволяет в несколько раз уменьшить расход азиды натрия по сравнению с традиционной азидной технологией с галоидными солями. Практически значимым является и отрицательный результат: показано, что полная замена углерода ПТФЭ ведет к чрезмерному газовыделению, высоким потерям и неудовлетворительному фазовому составу, поэтому такой вариант не должен использоваться при дальнейшей разработке процесса.

Получены высокодисперсные порошковые композиции с различными соотношениями нитридной и карбидной фаз, потенциально пригодные как исходные материалы для изготовления композиционной керамики.

Разработаны рекомендации по приготовлению исходных смесей порошков с ПТФЭ, прессованию брикетов этих смесей, выбору давления азота в реакторе, мерам по ограничению разброса продукта и построению технологической цепочки. Предложенная схема для реактора объемом 19,4 л может служить основой

программы опытно-промышленной отработки, хотя ее количественные показатели пока следует рассматривать как проектные оценки, поскольку непосредственные испытания шихт азидного СВС с ПТФЭ в таком реакторе в рамках диссертации не выполнялись.

Автором внедрены результаты диссертационного исследования в научно-производственную деятельность Центра литейных технологий, в разработку новых абразивных инструментов и в образовательный процесс Самарского государственного технического университета при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты диссертационного исследования Уваровой И.А. в виде конкретных составов шихт, условий и продуктов азидного СВС высокодисперсных порошковых керамических нитридно-карбидных композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$ ,  $\text{AlN-SiC}$  и  $\text{TiN-SiC}$  могут найти практическое применение и рекомендуются к использованию на следующих предприятиях Российской Федерации.

АО «Обнинское научно-производственное предприятие „Технология“ им. А.Г.Ромашина» (г. Обнинск Калужской обл.). Для создания наукоемкой, высокотехнологичной продукции из неметаллических материалов для авиационной, ракетно-космической техники, судостроения, транспорта и производства изделий из технической керамики: химически-, абразиво- и износостойких, электроизоляционных, теплозащитных изделий, продукции из огнеупорной керамики с повышенным ресурсом.

АО «Композит» (г. Королев Московской обл.). Для разработки и производства легких композиционных высокотемпературных материалов с керамическими компонентами для ракетно-космической техники.

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) (г. Москва). Для разработки неметаллических материалов и покрытий нового поколения и создания высокотехнологичных наукоемких производств по их выпуску для решения задач в авиа- и машиностроении, космической отрасли, энергетике, строительстве, медицине и других сферах.

Филиал АО «ОДК» «НИИД» (Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей) (г. Москва). Для формирования научно-технологического задела по разработке перспективных газотурбинных двигателей, в том числе с применением новых материалов.

АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина» (г. Фрязино Московской обл.). Для новых разработок и серийного производства современных и перспективных изделий СВЧ-электроники из керамики на основе  $\text{SiC}$  для всех видов связи и радиолокации.

АО «Научно-производственное предприятие «САЛЮТ» (г. Нижний Новгород). Для разработки и производства электровакуумных СВЧ-приборов с применением теплопроводной керамики на основе  $\text{AlN}$ .

ПАО «Светлана» (Санкт-Петербург) и АО «Группа Кремний ЭЛ» (Брянск). Для применения композиций SiC-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> с регулируемым электрическим сопротивлением при разработке и производстве силовых полупроводниковых приборов.

ОАО «Волжский абразивный завод» (г. Волжск Волгоградской обл.). Для разработки и производства новых тонких абразивных материалов из высокодисперсных композиционных керамических порошков и абразивных инструментов на их основе для доводочных операций и суперфинишной обработки.

### **Публикации и апробации основных положений работы**

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 10 работах, среди которых 3 статьи в журнале из перечня ВАК и Scopus, 2 статьи и 5 тезисов в сборниках конференций.

### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам**

Выполнены все требования, предъявляемые к диссертационным работам. Проведен подробный литературный анализ, правильно определены цели и задачи исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, как в виде графиков и фотографий структур, так и текста, их описывающего. Работа написана ясным языком, хорошо иллюстрирована. Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу. Материалы диссертации опубликованы в достаточной степени. Самостоятельный вклад автора в работу весом и очевиден.

### **Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности**

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (технические науки) по пунктам 4 и 5.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Один из ключевых элементов научной новизны связан с утверждением о нейтрализации токсичных газов фтора и фторидов кремния азидом натрия с образованием водорастворимой соли NaF. В работе приведены стехиометрические предпосылки, термодинамические расчеты и промывка твердых продуктов до нейтрального *pH*. Однако не представлены результаты прямого количественного анализа газовой фазы и полного баланса фтора. Для строгого подтверждения механизма и оценки экологической безопасности следовало определить состав отходящих газов, содержание фторид-иона в промывных водах и отложениях.

2. Результаты измерения параметров горения представлены как средние трех экспериментов, но в таблицах и на графиках не указаны стандартные отклонения, доверительные интервалы или иные характеристики разброса. Это особенно важно для температур, максимального давления и потерь массы, которые чувствительны к неоднородности шихты и характеру разрушения брикета. Следовало привести показатели воспроизводимости и использовать их при сравнении близких вариантов.

3. Высокая дисперсность продуктов, вынесенная в название работы и основные выводы, подтверждается преимущественно отдельными СЭМ-изображениями и

визуальной оценкой размеров частиц. Не приведены статистические распределения по размерам или данные по удельной поверхности. Количественная гранулометрия и БЭТ-анализ существенно усилили бы доказательность вывода о получении порошков менее 1-2 мкм и позволили бы корректно сравнить режимы.

4. Используемые показатели потерь массы одновременно включают неполноту химического превращения, образование удаляемых газовых и растворимых продуктов и физический разброс твердых частиц. При этом продукт, осевший на стенках реактора, не собирался и не анализировался. Поэтому по приведенным значениям нельзя однозначно разделить химическую и аппаратную составляющие потерь. Для технологической оценки необходим полный материальный баланс реактора и фазовый анализ продукта, собранного со стенок и из фильтрующих элементов.

5. С учетом температур до 3270 К, давления до 7,05 МПа, применения азидов натрия и образования фторсодержащих газов раздел по безопасности нуждается в количественном развитии. Для практической реализации требуются расчет максимального газовыделения и скорости нарастания давления, выбор предохранительных устройств, схема локализации и очистки газов, а также анализ опасностей технологического процесса.

6. В тексте имеются редакционно-технические неточности, которые необходимо устранить: ошибочная запись продукта на стр. 75 в уравнении (2.47) «Al<sub>74</sub>SiC»; ссылка на стр. 101 на реакции (2.13)-(2.77) вместо (2.13)-(2.17); на стр. 97 заголовок таблицы 3.13 с диапазоном (2.53)-(2.7) вместо (2.53)-(2.57); на стр. 158 размер частиц «200-500 мм» вместо нанометров.

Указанные замечания относятся главным образом к полноте метрологического и технологического обоснования, границам интерпретации и редакционному оформлению. Они не ставят под сомнение установленные автором сравнительные закономерности влияния ПТФЭ на горение и фазообразование и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Уваровой Ирины Александровны представляет собой завершенное самостоятельное научное исследование, в котором решена имеющая значение для развития химической физики горения и технологии СВС научная задача установления закономерностей получения высокодисперсных нитридно-карбидных композиций Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiC, AlN-SiC и TiN-SiC заданного фазового состава при совместном использовании политетрафторэтилена и азидов натрия.

Работа характеризуется актуальностью, научной новизной, значительным объемом теоретических и экспериментальных исследований и практической направленностью. Автором получены новые данные о влиянии содержания ПТФЭ и состояния шихты на адиабатическую и экспериментальную температуру, давление, газовыделение, потери массы, фазовый состав и морфологию продуктов, определены рациональные варианты частичной замены углерода и сформулированы рекомендации для последующей опытно-промышленной обработки.

По содержанию, уровню выполненных исследований, достоверности основных выводов, научной новизне и практической значимости диссертация соответствует

требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Уварова Ирина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

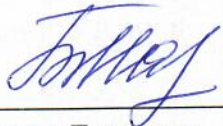
Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Уваровой И.А. на заседании кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (протокол № 13 от «26» августа 2026 г.).

Авторы отзыва дают согласие на обработку персональных данных.

Заведующий кафедрой ПМиФП,  
член-корреспондент РАН,  
доктор технических наук  
(01.04.17 – Химическая физика, в том числе  
физика горения и взрыва),  
профессор

  
Евгений Александрович Левашов

Доцент, ученый секретарь кафедры ПМиФП,  
кандидат технических наук  
(05.16.06 – Порошковая металлургия  
и композиционные материалы)

  
Марина Яковлевна Бычкова

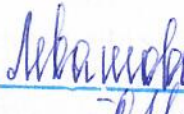
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, стр.1

Тел. +7 (495) 955-00-32. Факс: 7 (499) 236-21-05. E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)

Подпись  
заверяю

Зам. начальника  
отдела кадров

Кузнецова А.Е.

« 26 » 08 2026 г.