

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

Соискатель: Сукманов Игорь Владимирович

Тема диссертации: «Разработка углерод-керамических композиционных материалов, содержащих карбиды и бориды гафния, титана и ниобия, для эксплуатации в скоростных потоках окислительных газов» выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Специальность: 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 18 декабря 2025 года, протокол № 297/25, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Сукманову Игорю Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали:

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

д.т.н. Абраимов Н.В., д.т.н. Андрианова Н.Н., д.т.н. Бецофен С.Я., д.т.н. Бабаевский П.Г., д.т.н. Бухаров С.В., д.т.н. Гусев Д.Е., д.т.н. Жуков А.А., д.т.н. Иванов Д.А., д.т.н. Коллеров М.Ю., д.т.н. Крит Б.Л., д.т.н. Лозован А.А., д.т.н. Никитина Е.В., д.т.н. Серов М.М., д.т.н. Терентьева В.С., д.т.н. Чекалова Е.А., д.т.н. Шляпин С.Д.

Ученый секретарь
диссертационного совета

С.В. Скворцова

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04 (Д 212.125.15),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18 декабря 2025 года № 297/25

О присуждении Сукманову Игорю Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка углерод-керамических композиционных материалов, содержащих карбиды и бориды гафния, титана и ниобия, для эксплуатации в скоростных потоках окислительных газов» по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки) принята к защите 09 октября 2025 года, протокол № 292/25 диссертационным советом 24.2.327.04 (Д 212.125.15), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, приказ о создании совета № 129/нк от 22.02.2017 г. и приказ о внесении изменений в состав совета № 692/нк от 18.11.2020 г.

Соискатель Сукманов Игорь Владимирович, 07 октября 1996 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», в 2024 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», работает ассистентом в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

кандидат технических наук Астапов Алексей Николаевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», доцент.

Официальные оппоненты:

Гордеев Сергей Константинович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт материалов имени Д.И. Менделеева» Лаборатория «Наноматериалы и карбидные композиты», начальник лаборатории;

Корнев Юрий Витальевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики Российской академии наук, отдел механики структурированной и гетерогенной среды, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Мироновым В.В., доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по средствам выведения, указало, что диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Соискатель имеет 29 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК – 3, из них в Белом списке – 3, RSCI – 3, Scopus – 4.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Астапов А.Н., Погодин В.А., Сукманов И.В. Реакционное взаимодействие в системах Hf-Nb-B₄C и Hf-Nb-B₄C-C // Электрометаллургия. – 2024. – No. 11. – С. 30–40. DOI: 10.31044/1684-5781-2024-0-11-30-40. (Белый список, K3).

Astapov A.N., Pogodin V.A., Sukmanov I.V. Reactive interaction in Hf-Nb-B₄C and Hf-Nb-B₄C-C systems // Russian Metallurgy (Metally). – 2024. – Vol. 2024, No. 6. – P. 1391–1399. DOI: 10.1134/S0036029524702501. (Scopus, Q4).

2. Astapov A.N., Pogodin V.A., Sukmanov I.V., Zhestkov B.E., Prokofiev M.V. Development of Cf/C-UHTC composite and study of its resistance to oxidation and ablation in high-speed high-enthalpy air plasma flow // International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. – 2024. – Vol. 7, No. 3. – P. 362–377. DOI: 10.1016/j.ijlmm.2024.02.003. (Scopus, Q1).

3. Астапов А.Н., Жестков Б.Е., Погодин В.А., Сукманов И.В. Окислительная стойкость покрытия ZrSi₂-MoSi₂-ZrB₂-ZrC на C/C-SiC композите в скоростном высокоэнтальпийном потоке воздушной плазмы // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2023. – Т. 29, No. 1. – С. 98–114. DOI: 10.33113/mkmm.ras.2023.29.01.07. (Белый список, K3).

Astapov A.N., Zhestkov B.E., Pogodin V.A., Sukmanov I.V. Oxidation resistance of the ZrSi₂-MoSi₂-ZrB₂-ZrC coating on the C/C-SiC composite in high-speed high-enthalpy air plasma flow // Russian Metallurgy (Metally). – 2023. – Vol. 2023, No. 12. – P. 1921–1930. DOI: 10.1134/S0036029523120066. (Scopus, Q4).

4. Астапов А.Н., Жестков Б.Е., Сукманов И.В., Терентьева В.С. Увеличение стойкости покрытия ZrSi₂-MoSi₂-ZrB₂-ZrC к окислению и абляции в скоростном высокоэнтальпийном потоке воздушной плазмы // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2023. – Т. 29, No. 4. – С. 459–469. DOI: 10.33113/mkmm.ras.2023.29.04.03. (Белый список, K3).

Astapov A.N., Zhestkov B.E., Sukmanov I.V., Terentieva V.S. Improvement of the resistance of the ZrSi₂-MoSi₂-ZrB₂-ZrC coating to oxidation and ablation in a high-

speed high-enthalpy air plasma flow // Russian Metallurgy (Metally). – 2024. – Vol. 2024, No. 3. – P. 727–733. DOI: 10.1134/S0036029524701180. (Scopus, Q4).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных Сукмановым И.В. работах.

На автореферат поступило 5 отзывов: от ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» за подписью начальника сектора, к.т.н., доцента Ртищевой А.С.; от ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» за подписью заведующего кафедрой «Материаловедение», д.т.н., профессора Овчинникова В.В.; от ПАО «Яковлев» за подписью ведущего инженера-конструктора отделения прочности, к.т.н., доцента Ереминой А.И.; от ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» за подписью ученого секретаря института, к.т.н. Бобковой Т.И.; от АО «Московский машиностроительный завод «Авангард» за подписью заместителя генерального директора по качеству, к.т.н. Фурашова А.С.

Все отзывы положительные, в них отражена научная новизна, актуальность и практическая значимость работы, некоторые отзывы содержат замечания, например:

– Такие ключевые для теплозащитных материалов параметры, как константа скорости гетерогенной рекомбинации K_w и теплопроводность, определены не прямыми методами, а путем обработки результатов огневых испытаний с использованием модельных представлений. Проводились ли количественные оценки погрешности её измерения?

– Отсутствует обоснование выбора параметров высокотемпературной термообработки. В таблице 1 утверждается, что увеличение времени изотермической выдержки оказывает положительное влияние на степень конверсии реагентов, переводя систему в более термодинамически стабильное состояние. Однако неясно, исходя из каких соображений и расчетов шел подбор конкретного значений температур и времени выдержки?

– В работе в качестве армирующего компонента используется ткань саржевого плетения УРАЛ Т-22Р на основе вязкого прекурсора. Однако не

представлено обоснование выбора ткани и сравнение с современными углеродными тканями на основе полиакрилонитрила (ПАН), которые обладают более высокими механическими характеристиками и стабильностью свойств.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области данной диссертационной работы, подтвержденной наличием у них соответствующих публикаций, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый подход к созданию углерод-керамических композиционных материалов с компонентами матриц на основе ультравысокотемпературных керамик системы $C_f/C-HfC-HfB_2-TiC-TiB_2-NbC-NbB_2-B_4C-(SiC)$;

доказано, что формирование многослойных гетерогенных оксидных пленок при температурах 2100-2300 °С, представленных главным образом смешанными растворами $Ti_{1-x}Hf_xO_2$ и $(Ti_{1-z}Hf_z)_{1-y}Nb_yO_{2+0,5y}$ с широкими областями гомогенности ($0,3 \leq x \leq 0,7$; $0,2 \leq y \leq 0,4$; $0,1 \leq z \leq 0,4$) и комплексным оксидом $(Ti_{1-z}Hf_z)_6Nb_2O_{17}$ ($0,7 \leq z \leq 0,9$), а также закапсулированными частицами боридов и карбидов, обеспечивают абляционную стойкость углерод-керамических композиционных материалов системы $C_f/C-HfC-HfB_2-TiC-TiB_2-NbC-NbB_2-B_4C-(SiC)$ при взаимодействии со скоростными высокоэнтальпийными потоками кислородсодержащих газов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что интегрирование между слоями углеродного наполнителя полидисперсных прекурсоров ультравысокотемпературных керамик обеспечивает регулируемый синтез *in situ* и спекание керамических составляющих матриц на стадиях карбонизации/пиролиза связующего и высокотемпературной обработки.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования состава, структуры и свойств материалов, в том числе: методики растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного, рентгеноструктурного и термического анализов, статических испытаний на изгиб, газодинамических стендовых испытаний;

изложены результаты влияния химического состава прекурсоров ультравысокотемпературных керамик, типа связующего и параметров техпроцесса на структуру, механические свойства, теплопроводность, излучательную способность, каталитическую активность и стойкость к абляции в скоростных потоках кислородсодержащих газов получаемых углерод-керамических композиционных материалов;

изучены стадийность и закономерности реакционного взаимодействия в системах Hf-Nb-B₄C, Hf-Nb-B₄C-C и Hf-Nb-B₄C-C-TiC-TiB₂ при 1750-1800°C, а также механизмы абляционной стойкости созданных углерод-керамических композиционных материалов в системе C_#/C-HfC-HfB₂-TiC-TiB₂-NbC-NbB₂-B₄C-(SiC) в скоростных высокоскоростных потоках газов при температурах на поверхности 2100°-2300°C и выше.

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

разработаны и использованы в АО «ЦНИИСМ» состав углерод-керамического композиционного материала и технология его получения, обеспечивающие предел прочности при изгибе 66,9 МПа и модуль упругости 10 ГПа при 20°C, теплопроводность 3,3-3,5 Вт/(м·К) и скорость гетерогенной рекомбинации атомов 34 м/с при 2727°C, скорости линейного и массового уноса 2,45-2,61 мкм/с и 3,08-3,28 мг/с, соответственно, при температуре поверхности 2527°-2827°C в скоростном потоке воздушной плазмы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методов исследования, показана воспроизводимость результатов измерений физико-механических свойств и характеристик абляционной стойкости;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта создания углерод-керамических композиционных материалов с компонентами матриц на основе ультравысокотемпературных керамик;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном и активном участии

в формировании цели и задач исследования, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, анализе и обработке полученных результатов, их обобщении, формулировке рекомендаций и выводов, в подготовке основных публикаций по теме, личном участии в апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

– В работе приведены графики изменения значений температуры, достигнутой на лицевой поверхности образцов, а также величины среднего массового уноса и среднего линейного уноса. Каким образом шло определение характеристик уноса? Какую роль играет динамика изменения температуры?

– Не ясны причины движения оксидов из глубины плёнки к наружной поверхности. Что является движущими силами процесса?

– В процессе доклада указан ряд химических реакций. Есть ли подтверждение протекания данных реакций в описываемых Вами условиях и чем доказывается формирование отмеченных соединений в структуре?

Соискатель Сукманов И.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

– Газодинамические испытания проводили по ряду режимов. Для каждого режима испытывали по несколько образцов. Средний массовый унос в пределах каждого огневого эксперимента рассчитывали путем деления разницы массы образца до и после испытания к общему времени эксперимента. Массы определяли прямым взвешиванием. Результаты, полученные на нескольких образцах, формировали диапазон изменения величины среднего массового уноса для данного режима. Аналогичным образом рассчитывали средний линейный унос, измеряя микрометром толщины образцов до и после испытаний. При этом измерения после огневых воздействий проводили в самых «повреждённых» местах образцов. Динамика изменения температуры на поверхности образцов показывает уровень реализованных рабочих температур. По её изменению можно судить о величине каталитичности поверхности полученных композитов.

– Основной движущей силой подъема вязких продуктов реакций в наружную часть пленки является объемное расширение в результате окисления боридных и карбидных фаз. Увеличение толщины оксидной пленки и частичное

залечивание дефектов фазами, пребывающими в вязко-текучем состоянии, приводят к градиентному снижению концентрации кислорода по мере удаления от поверхности.

– Протекание указанных в работе реакций подтверждается данными термодинамических расчетов. Формирование отмеченных соединений в пленках подтверждается результатами структурных исследований методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии, а также данными рентгенофазового анализа. При идентификации многокомпонентных фаз использовали полученные молярные доли катионов в металлических подрешетках. Их относительное соотношение хорошо устанавливается методом энергодисперсионной спектроскопии.

На заседании 18 декабря 2025 года диссертационный совет принял решение: за новые научно-обоснованные технические и технологические решения по разработке углерод-керамических композиционных материалов и технологий их получения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Сукманову И.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

M. Q. M.

Мамонов Андрей Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Only ✓

Скворцова Светлана Владимировна

18 декабря 2025 года

Проректор по научной работе



Иванов Андрей Владимирович