

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева

по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № 7/23

решение диссертационного совета

от «15» июня 2023 г. № 2

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Шаневой Анне Сергеевне, представившей диссертационную работу на тему «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, принятой к защите «29» марта 2023 г., протокол № 1 диссертационным советом РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 19 человек приказом и.о. ректора РХТУ № 353 А от «08» сентября 2022 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом и.о. ректора РХТУ № 437 А от «20» октября 2022 г.

Соискатель Шанева Анна Сергеевна 1994 года рождения, в 2017 году окончила магистратуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» диплом серия 107718 номер 0609012, в 2021 году окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» диплом серия 107718 номер 1137940.

Соискатель работает в РХТУ имени Д. И. Менделеева с 2017 года, в настоящее время – на должностях ассистента и заведующего лабораторией кафедры информационных компьютерных технологий.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий выполнена на кафедре информационных компьютерных технологий ФГБОУ ВО РХТУ им. Д. И. Менделеева».

Тема диссертационной работы «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» утверждена на заседании Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28 сентября 2022 г. (протокол № 2). Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Кольцова Элеонора Моисеевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук **Перевислов Сергей Николаевич**, НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», начальник лаборатории технической керамики;

кандидат технических наук, доцент **Таран Юлия Александровна**, ФГБОУ ВО МИРЭА – Российский технический университет, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических технологий имени Гельперина Н.И.».

Ведущая организация – ФГБОУ ВО "Ивановский государственный химико-технологический университет".

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 17 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 8 публикациях, индексируемых в международных базах данных, и в 12 публикациях рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объемом 78 страниц полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Результаты работы апробированы на 2 всероссийских и 4 международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 30-75% и заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, анализе данных, обсуждении полученных результатов и написании текста работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Koltsova E.M. To the question of determining the limiting particle size of corundum during grinding / E.M. Koltsova, M.A. Babkin, A.S.Shaneva, N.A. Popova, E.V. Zharikov //

International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2020. – Vol. 9. – №. 2. – P. 207-211. DOI 10.18178/ijmerr.9.2.207-211 (*Scopus*).

2. Shaneva A. Computer simulation of porosity reduction of a ceramic composite based on an oxygen-free matrix of silicon carbide modified with partially stabilized zirconia / A. Shaneva, S. Lyovina, E. Koltsova, N. Popova // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. – 2020. – Vol. 20. – №. 6.1. – P. 25-31. DOI 10.5593/sgem2020/6.1/s24.004 (*Scopus*).

3. Shaneva A. S. Mathematical modeling of spark plasma sintering of silicon carbide composite modified with carbon nanotubes / A.S. Shaneva, E.M. Koltsova, E.V. Zharikov, N.V. Mamonova, N.A. Popova // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 1807-1812. DOI 10.3303/CET1870302 (*Scopus*).

4. Mamonova N. V. Mathematical modelling of the process of spark plasma sintering of a ceramic material composite $Al_2O_3-ZrO_2-Y_2O_3$, modified by carbon nanotubes / N.V. Mamonova, E.M. Koltsova, E.A. Skichko, A.S. Shaneva, N.A. Popova // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 1759-1764. DOI 10.3303/CET1870294 (*Scopus*).

5. Fedosova N.A. Spark Plasma Sintering Simulation of Alumina Composite Modified with Carbon Nanotubes / N.A. Fedosova, E.M. Koltsova, E.V. Zharikov, I.I. Mitrichev, A.S. Shaneva // Chemical Engineering Transactions. – 2016. – Vol. 52. – P. 979-984. DOI 10.3303/CET1652164 (*Web of Science, Scopus*).

Аналитические исследования были выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования им. Д.И. Менделеева в рамках научного проекта РФФИ № 19-37-90149, основная часть экспериментальных исследований была выполнена на кафедре химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90149 Аспиранты, а также при частичной поддержке ФЦП № 14.254.21.0158, программы «Приоритет-2030».

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук по научной специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, начальника лаборатории технической керамики НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» **Перевислова Сергея Николаевича**. В отзыве отмечены актуальность работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также достоверность полученных результатов и анализ основных положений работы. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и рекомендации:

1. В работе не представлены результаты сопоставления свойств композитов на основе эвтектической композиции с наличием УНТ и без них.

2. В диссертационной работе нет обоснования выбора содержания каждого из компонентов, представленных составов композитов.

3. Не достаточно полно описан процесс механической активации порошков SiC и В.

4. В тексте работы присутствуют грамматические ошибки (стр. 45, 118, 121, 163), которые следует отнести к опечаткам и опечаткам.

5. В главе 2 не приведены описание определения и значения коэффициентов теплопроводности для всех режимов спекания композита SiC-MgAl₂O₄-УНТ. Указано только среднеарифметическое значение.

6. В разделе 4.4.2 идет речь о проведении двух серий экспериментальных исследований, но в разделе 2.3 об этом не упоминается.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Шаневой Анны Сергеевны «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технологические решения исследования и получения керамических композиционных материалов на основе бескислородных и кислородных матриц. Диссертационная

работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с последующими изменениями и дополнениями), пунктам «Положения о присуждении ученых степеней в ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор Шанева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

2. Отзыв официального оппонента - кандидата технических наук по научной специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, доцента, доцента «Кафедры процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.» «МИРЭА – Российского технического университета» **Таран Юлии Александровны**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна работы, достоверность и обоснованность полученных результатов, рекомендации по практическому использованию результатов исследований и краткий обзор содержания работы. Отзыв положительный. Замечания по работе:

1. В работе имеется ряд опечаток, что затрудняет её чтение. Например, стр. 145 скорость роста зерна dl/dt обозначается буквой ρ , а ниже формула (3.60) буквой β .

2. Отсутствует четкая постановка задач оптимизации. Не четко описаны математически критерии оптимизации, условия ограничения на параметры оптимизации.

3. Нет объяснений почему адекватность математических моделей проверялась по относительной ошибке, а не по, например критерию Фишера.

4. Не совсем понятно какая практическая значимость от моделирования процесса получения композита в пакете Unisim Design?

5. В диссертационной работе говорится о вторых порядках аппроксимации по времени и размеру в разностных схемах, и абсолютной устойчивости разностных схем, но отсутствует материал по доказательству этих утверждений, а есть только ссылки на публикации. Желательно было бы привести вывод этих утверждений.

Указанные замечания не снижают положительную оценку работы.

Диссертационная работа Шаневой Анны Сергеевны «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» является законченной научно-квалификационной работой, которая включает в себя объемный экспериментальный материал, описывающий этапы подготовки и спекания композитов: $Al_2O_3-ZrO_2(Y_2O_3)$ -УНТ, $SiC-MgAl_2O_4$ -УНТ, $SiC-B$ и методов исследования их свойств. Проведенное математическое моделирование стадий спекания композитов и стадии измельчения SiC соответствует поставленным в работе задачам определения оптимальных условий спекания керамоматричных композитов. Найденные оптимальные условия получения композитов могут быть использованы для стадий их промышленного производства в оборонной, авиационной и космической отраслях промышленности. Шанева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

3. Отзыв ведущей организации - ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химический технологический университет». В отзыве отмечены актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также обоснованность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и рекомендации:

1. В литературном обзоре, при выборе объектов исследования, следовало бы более подробно остановиться на практическом применении каждого из предложенных составов композитов.

2. В диссертационной работе отсутствует обоснование содержания каждого из компонентов в составе композитов $Al_2O_3-ZrO_2(Y_2O_3)$ -УНТ и $SiC-MgAl_2O_4$ -УНТ без содержания УНТ.

3. В диссертации (стр. 122-125 и стр. 150-151) формально, без изложения математической сущности, приведено описание гравитационного метода поиска параметров зависимости диаметра частиц при измельчении карбида кремния от поверхностной энергии материала и мощности на перемешивание.

Не приведено обоснование критерия оптимальности оценок параметров (4.9) и показателя адекватности (4.10); не указаны погрешности значений параметров $b_0 \div P_{33}$ (Таблица 4.1).

4. При решении задачи оценки кинетических параметров процессов спекания так же не обоснован вид критерия оптимальности оценок, который, вообще говоря, определяет свойства оценок (состоятельность, несмещенность, эффективность); в таблицах 4.14, 4.19, 4.26 не приведены погрешности значений параметров.

5. В тексте диссертации присутствуют грамматические ошибки (стр. 45, 118, 121, 163, 199), которые, очевидно, следует отнести к опечаткам.

В заключении отмечено, что в диссертационной работе представлены научно-обоснованные технические и технологические разработки по моделированию и оптимизации аппаратурно-технологического оформления процессов получения керамоматричных композитов со значениями характеристик механических свойств на уровне мировых аналогов. Диссертационная работа Шаневой А.С. на тему «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора № 1523 от 17 сентября 2021 г., а ее автор Шанева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки). Материалы диссертационной работы и отзыв рассмотрены, обсуждены и одобрены на расширенном совместном заседании кафедры процессов и аппаратов химической технологии и кафедры технической кибернетики и автоматизации ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (протокол № 8 от 22.05.2023 г.).

Указанные замечания носят частный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы, выполненной диссертантом самостоятельно на хорошем научно-техническом уровне.

Отзыв подписан: кандидат химических наук, доцент, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВО "Ивановский государственный химико-технологический университет" Гушиным Андреем Андреевичем; доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой процессов и аппаратов химической технологии Липиным Александром Геннадьевичем; доктором технических наук, профессором, профессором кафедры технической кибернетики и автоматизации Лабутиним Александром Николаевичем.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» **Рухова Артема Викторовича**. Отзыв положительный. Принципиальных замечаний по содержанию автореферата нет. Шанева Анны Сергеевна заслуживает присвоения ей искомой ученой степени кандидата технических наук.

5. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией механики многофазных систем Института механики имени Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук **Урманчеева Саида Федоровича**. Отзыв положительный. На автореферат имеются следующие замечания:

1. Из автореферата не понятно, почему при получении композита $Al_2O_3-ZrO_2(Y_2O_3)$ -УНТ в экспериментальных исследованиях не менялось время выдержки?

2. В автореферате не приведены численные значения коэффициентов математической модели: это обстоятельство не позволяет увидеть преимущественное влияние размера поры, температуры спекания, концентрации (углеродных нанотрубок, компонента - бора) на скорость изменения размера поры и на скорость роста зерен.

Несмотря на приведенные замечания в целом автореферат дает достаточно полное представление о диссертационной работе. Работа сделана на хорошем научном уровне, автореферат отвечает требованиям, предъявляемым к выполнению и оформлению диссертационной работы, а диссертант Шанева Анны Сергеевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

6. Отзыв на автореферат кандидата физико-математических наук, доцента кафедры «Системы автоматизированного проектирования» МГТУ им. Н.Э. Баумана **Соколова Александра Павловича**. Отзыв положительный.

При анализе автореферата возникли следующие замечания:

1. В автореферате фактически не представлено ссылок на фамилии исследователей в области численных методов микромеханики композиционных материалов.

2. Материал автореферата подготовлен с существенными неточностями. В разделе, описывающем актуальность темы, не представлен явно конкретный объект исследований, что существенно усложняет восприятие последующего материала. Цель работы содержит информацию о конкретных композитах, оптимальные условия получения которых предполагается найти. Указанная детализация при формулировке цели является скорее нестандартной. Положения, выносимые на защиту, не согласованы с пунктами научной новизны.

3. Указано, что на рисунке 2 «отчетливо проявляется мелкозернистая внутренняя структура, окруженная волокнами из нанотрубок», однако, на этом рисунке этого не видно.

4. Практически все формулы в автореферате содержат многочисленные неточности, а также обозначения, которые не описаны, что не позволяет оценить корректность представленного материала. Например, для формулы (1) неясно от какой функции во втором слагаемом в левой части берётся производная (аналогично для (2)), не описана функция $k(\dots)$; на основе левой части (1) можно предположить, что f – функция от двух аргументов, $f=f(t,l)$, однако, в правой части (1) использованы обозначения $f(\mu)$ и $f(l)$. Многие используемые обозначения не согласованы друг с другом, например в (1) используется обозначение η , тогда как уже в (3) и (4) автор без пояснений использует обозначения с индексами η_1 и η_2 .

5. В разделе о научной новизне указано, что «получена математическая модель процесса спекания», а «для решения уравнения изменения плотности распределения пор и зерен по размерам (интегро-дифференциальных уравнений в частных производных 1-го порядка) разработаны «Z»-схема и зеркальная «Z»-схема». Исходя из описания можно предположить, что речь идёт об уравнениях (1) и (2). Вместе с тем указано, что «разностная Z-схема для моделирования ИПС $Al_2O_3-ZrO_2(Y_2O_3)$ -УНТ(1%) имеет вид» (8), но не указано какому уравнению этот разностный аналог соответствует. В том числе, нет указания как используя «Z»-схему можно решить интегро-дифференциальное уравнение в частных производных.

6. Исходя из представленных шаблонов разностных схем (рис. 5) можно сделать вывод, что по времени этот шаблон должен иметь первый порядок аппроксимации первой производной, однако, автором указано, что схема имеет второй порядок аппроксимации по времени. Более того, исходя из (8), первое слагаемое как раз и есть аппроксимация первой производной по времени, которая имеет первый порядок аппроксимации.

7. Нет обоснования почему для поиска коэффициентов регрессионной зависимости (7) не применялся метод наименьших квадратов, тогда как вместо него «поиск кинетических констант происходил в 2 этапа: аналитическая оценка, поиск констант с помощью генетического алгоритма», а «критерием поиска служила сумма относительных ошибок расчёта конечной пористости» (сумма модулей), что является нестандартным для рассматриваемых задач. О какой аналитической оценке идёт речь в автореферате нет информации.

8. Указано, что «создано программное обеспечение, состоящее из программных модулей, позволяющее моделировать стадию измельчения исходных порошков, процесс искрового спекания», однако, не указано какой язык программирования и программные технологии при этом использовались.

9. Из материала автореферата можно сделать предположение, что представленные оптимальные режимы спекания (таблицы 2 и 7) композитов рассматриваемых трёх типов есть результат проведённых автором многочисленных испытаний. Подтверждений постановки и численного решения задач оптимизации в рамках работы в автореферате не представлено.

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что диссертационную работу Шаневой А.С. можно классифицировать как целостное завершённое исследование, результаты которого имеют большую значимость для науки и практически значимых задач рассматриваемой области.

Диссертация соответствует требованиям, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора № 1523 от 17 сентября 2021 г., а ее автор Шанева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

7. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры химии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» **Багнавец Натальи Леонидовны**. Отзыв положительный. По автореферату имеется следующее замечание – нечеткая расшифровка физических и математических величин, входящих в состав приведенных в работе формул.

По актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов работа является завершенным на данном этапе научным исследованием, соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Шанева Анна Сергеевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

8. Отзыв на автореферат начальника группы перспективных проектов АО «Гиредмет» им. Н.П. Сажина **Кушнирука Давида Ильича**. Отзыв положительный.

При анализе автореферата имеется следующие замечание:

1. Отсутствуют показатели свойств мировых аналогов композитов для того, чтобы было наглядно видно практические результаты работы. Есть ли такие мировые аналоги, на сколько свойства полученных диссертантом композитов превосходят мировые аналоги.

Несмотря на приведенные замечания автореферат отражает в полной мере все поставленные цели и задачи работы, диссертационная работа является практически значимой, обладает новизной, сделана на актуальную тему, достаточно апробирована. Шанева Анна Сергеевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

9. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента, заместителя начальника отдела Курчатовского комплекса химических исследований (ИРЕА) НИЦ «Курчатовской институт» **Назарова Вячеслава Ивановича**. Отзыв положительный.

На автореферат имеются следующие замечания:

1. Одна из задач диссертационной работы включает пункт «получение алюмомагнезиальной шпинели», но в автореферате описание процесса получения отсутствует.

2. Имеется неточность в названиях таблиц 3-5, в которых представлены только уравнения для стадий процесса спекания композитов, но нет значений кинетических параметров.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки, представленной для рецензии работ. Содержание автореферата свидетельствует о том, что диссертация Шаневой А.С. является целостной научно-квалификационной работой, имеющей актуальность, научную новизну и практическую значимость. Работа отвечает требованиям, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор Шанева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки).

10. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» **Жарикова Евгения Васильевича**. Отзыв положительный.

По автореферату имеется следующие замечание:

1. Не указано какие эксперименты использовались для поиска кинетических параметров, а какие эксперименты применялись для проверки адекватности.

2. Хотя одной из задач работы являлось получение алюмомагнезиальной шпинели, однако описание экспериментов, связанных с этим, в автореферате отсутствует. Лишь в Заключение упоминается, что был получен монофазный порошок.

3. Не указана чистота реактивов, использовавшихся в работе. Известно, что недостаточно чистые реактивы могут оказывать влияние на конечные результаты, в том числе, и на характеристики полученных композитов.

4. В автореферате не представлена информация по каким алгоритмам определялось такое большое число кинетических параметров для процесса спекания каждого композита.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от проделанной диссертантом работы, выполненной на хорошем научно-техническом уровне. Шанева Анна Сергеевна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

На все замечания Шаневой Анной Сергеевной даны полные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью, достижениями в научных исследованиях с близкой тематикой, наличием у оппонентов и ведущей организации публикаций в рецензируемых журналах и их высоким профессиональным уровнем.

Актуальность темы исследования. Современные технологии требуют конструкционных материалов, способных работать при высоких температурах, обладающих высокими прочностью, износостойкостью, твердостью, жаростойкостью, трещиностойкостью. Такие материалы находят свое применение в авиационной, космической, оборонной и химической отраслях промышленности. Термическая и химическая стойкость керамики позволяет использовать её для изготовления деталей и частей механизмов, подвергающихся воздействию высоких температур и вступающих в контакт с агрессивными химическими средами. Однако одним из недостатков таких материалов являются низкие показатели прочности, трещиностойкости. Поэтому создание функциональных керамоматричных композитов Al_2O_3 - ZrO_2 (Y_2O_3)-УНТ на основе эвтектической системы оксида алюминия и диоксида циркония стабилизированного иттрием и армированной углеродными нанотрубками (УНТ), обладающих уникальными и эксплуатационными характеристиками, является актуальной задачей. А совместное использование порошков алюмомагнезиальной шпинели $MgAl_2O_4$ и карбида кремния создадут условия для получения композиционного керамического материала SiC - $MgAl_2O_4$ -УНТ с высокой температурой эксплуатации в условиях теплоэрозионного износа. Так как $MgAl_2O_4$ обеспечит защиту от окисления SiC по всему объему материала при повышенных температурах, а карбид кремния, армированный УНТ, обеспечит материал необходимыми прочностью, твердостью, высокими теплоэрозионными показателями. Керамический материал на основе карбида кремния с добавкой $MgAl_2O_4$, армированный УНТ может быть использован для изготовления деталей и узлов авиационно-космической техники. Механоактивация и спекание порошков карбида кремния и бора создадут условия получения керамоматричного композита (на основе бескислородной матрицы SiC -В) с уникальными жаростойкими свойствами для использования в космической технике (для деталей жидкостного реактивного двигателя).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

представлены результаты экспериментальных исследований: по получению порошка эвтектической композиции в системе $0,5Al_2O_3$ - $0,42ZrO_2$ - $0,08Y_2O_3$ и порошка алюмомагнезиальной шпинели; по получению композитов Al_2O_3 - ZrO_2 (Y_2O_3)-УНТ, SiC - $MgAl_2O_4$ -УНТ, SiC -В. Показано влияние температуры спекания, времени выдержки и концентрации добавок на конечную пористость и механические свойства получаемых композитов;

определены условия получения порошка эвтектической композиции в системе $0,5Al_2O_3$ - $0,42ZrO_2$ - $0,08Y_2O_3$ и порошка алюмомагнезиальной шпинели $MgAl_2O_4$;

предложены оптимальные условия спекания трех композитов на базе кислородных и бескислородных матриц, позволившие улучшить свойства этих композитов: композит Al_2O_3 - ZrO_2 (Y_2O_3)-УНТ имеет прочность на изгиб 998 МПа, коэффициент трещиностойкости 7,3 МПа·м^{1/2}, пористость 0,12 %; композит SiC - $MgAl_2O_4$ -УНТ имеет прочность на изгиб 515 МПа, коэффициент трещиностойкости 7,2 МПа·м^{1/2}, убыль массы 2,1 %, коэффициент теплопроводности 54 Вт/(мК); композит SiC -В имеет убыль массы (жаростойкость) ~ 0,19 %, микротвердость 26,4 ГПа, коэффициент трещиностойкости 5,1 МПа·м^{1/2};

разработана математическая модель описания процесса спекания композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ -УНТ, $\text{SiC-MgAl}_2\text{O}_4$ -УНТ, SiC-B , содержащая уравнение баланса числа пор по размерам с учетом явлений: уменьшения («залечивания») поры, коалесценции пор в ходе процессов спекания и уравнение баланса числа зерен в композите, учитывающее явление рекристаллизации зерен в ходе процесса спекания;

разработаны разностные «Z»-схема и зеркальная «Z»-схема, обеспечивающие второй порядок аппроксимации и по времени, и по размеру и являющиеся абсолютно устойчивыми.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработаны математические модели процесса искрового плазменного спекания керамоматричных композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ -УНТ, $\text{SiC-MgAl}_2\text{O}_4$ -УНТ, SiC-B ;

разработаны разностные схемы для решения дифференциальных уравнений в частных производных 1го порядка и интегро-дифференциальных уравнений для уравнений баланса числа включений с учетом эффектов изменения размера включений и их коалесценции, которые могут быть использованы для моделирования явлений коалесценции, агрегации других процессов, а за счет высокого порядка аппроксимации улучшать существенно точность и уменьшать время расчета;

получены на основе математического моделирования и проведения экспериментальных исследований оптимальные режимы получения композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ -УНТ, $\text{SiC-MgAl}_2\text{O}_4$ -УНТ, SiC-B .

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

разработано программное обеспечение, состоящее из программных модулей, позволяющее моделировать стадию измельчения исходных порошков, процесс искрового спекания (состоящий из 2-3 стадий, в зависимости от типа композита);

получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021663707;

получены оптимальные условия получения композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ -УНТ, $\text{SiC-MgAl}_2\text{O}_4$ -УНТ, SiC-B , используемых в авиационной, космической и оборонной отраслях промышленности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

обоснованность результатов, которые подтверждаются значительным объемом экспериментальных исследований;

использование методов математического моделирования;

проведение проверки адекватности математических моделей измельчения и спекания композиционных материалов.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных исследований по получению порошков: эвтектической композиции в системе $0,5\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}0,42\text{ZrO}_2\text{-}0,08\text{Y}_2\text{O}_3$ и алюмомагнезиальной шпинели; по получению композитов: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ -УНТ, $\text{SiC-MgAl}_2\text{O}_4$ -УНТ; в разработке математической модели спекания, содержащей уравнения баланса числа пор и зерен по размерам; в разработке программного комплекса (состоящего из программных модулей: расчета процесса измельчения, двух и трехстадийных процессов искрового плазменного спекания в зависимости от типа композитов); в проведении систематизации, интерпретации и оценке полученных результатов, формулировании выводов, подготовке и представлении результатов исследований на российских и международных мероприятиях.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий по своей теме, содержанию и методам исследования в части направления исследований: «фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах»; «способы, приемы, методология исследования химических, тепловых, массообменных и совмещенных процессов, совершенствование их аппаратного оформления»; «способы, приемы, методология изучения нестационарных режимов протекания процессов в химической аппаратуре, в том числе с целью формирования предпосылок эффективного управления и автоматизации»; «развитие теории и практики создания процессов, аппаратов, технологий, обеспечивающих создание автоматизированных цифровых производств».

Диссертационная работа Шаневой А.С. на тему «Исследование, моделирование и оптимизация процессов получения нанокompозитов на основе бескислородных и кислородных матриц» полностью соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача по получению керамоматричных композитов, проведены обширные экспериментальные исследования, проведено моделирование и оптимизация процессов получения керамоматричных композитов.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева 15 июня 2023 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Шаневой Анне Сергеевне.

Присутствовало на заседании – 16 членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции – 3, в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – 9.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за» – 13,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.

Проголосовали 3 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» – 3,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.

Итоги голосования:

«за» – 16,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор М.Б. Глебов

Ученый секретарь диссертационного совета

к.т.н., доцент В.А. Василенко

Дата «15» июня 2023 г.

