

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(Минобрнауки России)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

ул. Чернышевского, 173, Нальчик, КБР, 360004. Тел./факс (8-8662) 42-52-54
E-mail: yka@kbsu.ru ОКПО 02069510, ОГРН 1020700739234, ИНН 0711037537, КПП 072501001

31.10.2025 № 0101-20/4826

На № _____ от _____

Председателю диссертационного совета
24.1.092.02

при ФГБУН «Институт органической химии
им. Н.Д. Зелинского» РАН
Чл.-корр. РАН, д.х.н. А.Л. Лапидусу
от ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский
государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

Уважаемый Альберт Львович!

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» дает согласие выступить в качестве ведущей организации по диссертации Алексеевой Виктории Андреевны на тему «Дизайн химических реакторов и каталитических систем для органического синтеза с применением 3D-печати», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Даем согласие на обработку и передачу своих персональных данных, предоставляемых в диссертационный совет 24.1.092.02.

Проректор по НИР, председатель НТС,
главный научный сотрудник Центра прогрессивных материалов
и аддитивных технологий Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный
университет имени Х.М. Бербекова»
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор
Хаширова Светлана Юрьевна





подпись, дата

Исполнитель:
Жанситов А.А.
Тел.: +79287189227

Сведения о ведущей организации
по диссертационной работе Алексеевой Виктории Андреевны на тему «Дизайн химических реакторов и каталитических систем для органического синтеза с применением 3D-печати», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

Полное название организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова»
Сокращенное название организации	КБГУ им. Х.М. Бербекова
ФИО лица, утвердившего отзыв, степень, звание, должность	Хаширова Светлана Юрьевна член-корреспондент РАН, доктор химических наук, профессор, проректор по НИР, председатель НТС, главный научный сотрудник Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий
Место нахождения	Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик
Почтовый адрес	360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173
Телефон	+7 (8662) 42-25-60
Адрес электронной почты	yka@kbsu.ru
Сайт в сети Интернет	https://kbsu.ru
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	1. Беев А.А., Хаширова С.Ю., Слонов А.Л., Мусов И.В., Беева Д.А., Шокумова М.У. Углеволокну́стый полимерный композиционный материал на основе полиэфирэфиркетона и способ его получения. Патент на изобретение RU 2757922 C2, 25.10.2021. Заявка № 2020111129 от 18.03.2020. 2. Kozlov G.V., Yazyev S.B., Dolbin I.V. Thermal Stability of Polymer/Organoclay Nanocomposites: Structural Analysis // High Temp. – 2021. – Т. 59. – С. 438-440. 3. Беев А.А., Хаширова С.Ю., Слонов А.Л., Мусов И.В., Беева Д.А. Композиционные материалы на основе полифениленсульфида, углеродных волокон и способ их получения. Патент на изобретение RU 2767549 C1, 17.03.2022. Заявка № 2021108837 от 01.04.2021. 4. Kozlov G.V., Dolbin I.V. Effect of the Nanofiller Structure on the Heat Resistance of Polyamide-6/Organoclay Nanocomposites // High Temp. – 2023. – Т. 60. – С. 126-128. 5. Виндижева А.С., Хаширова С.Ю., Хараева З.Ф., Гавашели Г.Ш., Долбин И.В., Хаширов А.А. Использование

полиэфирэфиркетона и композитов на его основе в медицинской практике // Известия Кабардино-Балкарского Государственного Университета. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 66-73.

6. Хаширова С.Ю., Жанситов А.А., Шахмурзова К.Т., Курданова Ж.И., Слонов А.Л., Байказиев А.Э., Мусов И.В. Синтез и свойства полиэфирэфиркетона для применения в аддитивных технологиях // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2023. – Т. 72. – №. 2. – С. 546-552.

7. Виндижева А.С., Слонов А.Л., Жанситов А.А., Ершов П.А., Сальников В.Д., Кожемова К.Р., Хаширова С.Ю. Структура и свойства композиционного материала на основе полиэфирэфиркетона и природного магнетита // Полимерные материалы и технологии. – 2024. – Т. 10. – № 4. – С. 89-95.

8. Виндижева А.С., Слонов А.Л., Ершов П.А., Сальников В.Д., Хаширова С.Ю., Кожемова К.Р., Симонов-Емельянов И.Д. Природный магнитный функциональный наполнитель для полимеров // Пластические массы. – 2025. – № 6. – С. 46-49.

9. Шакова Ф.М., Хаширов А.А., Виндижева А.С., Гуляев М.В., Хаширова С.Ю., Кишев М.А., Семенова Ж.Б. Суперконструкционные полимеры (РЕЕК) – перспективные материалы для восстановления дефектов костей черепа. Лабораторная диагностика // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. – 2025. – Т. 14. – № 2. – С. 324-334.

10. Бляшев А.В., Бегиева М.Б. Композитные материалы на основе полипропилена, модифицированные молочной кислотой и ее производными // Пластические массы. - 2025. - № 2. - С. 32-35.

Проректор по НИР, председатель НТС,
главный научный сотрудник Центра прогрессивных материалов
и аддитивных технологий Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный
университет имени Х.М. Бербекова»
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор
Хаширова Светлана Юрьевна



подпись, дата

31.10.2025 года

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский
государственный университет
им. Х.М. Бербекова»,
член-корреспондент РАН,
директор химических наук,
профессор



С.Ю. Хаширова
2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» на диссертационную работу Алексеевой Виктории Андреевны «Дизайн химических реакторов и каталитических систем для органического синтеза с применением 3D-печати», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

Актуальность темы выполненной работы

Одним из актуальных направлений развития тонкого органического синтеза является внедрение в практику химических лабораторий аддитивных технологий (3D-печати) для быстрого производства и оптимизации химических реакторов, адаптированных для условий изучаемого химического процесса. Наиболее эффективными технологиями для производства химических реакторов являются технология экструзионного наплавления термопластичных материалов (FFF -Fused Filament Fabrication) и технология селективного лазерного сплавления металлического порошка (SLM – Selective Laser Melting). Отличительными особенностями технологии FFF является широкий выбор конструкционных пластиков, охватывающий как пластики общего назначения, так и суперконструкционные материалы, простота использования, невысокая стоимость оборудования и материалов, компактный размер принтеров. SLM технология намного более дорогостоящая, однако позволяет выполнять аддитивное производство реакторов из металлов, позволяющих проводить химический синтез в жестких условиях. Эти две технологии хорошо дополняют друг друга, и совместное применение этих методов в химии является наиболее эффективным.

Использование 3D-печати в химической лаборатории открывает уникальные возможности для быстрого производства реакторов сложной

конструкции, устройство которых может быть аналогичным промышленным аналогам. То есть открывается возможность кардинального ускорения оптимизации конструкции реакторов для достижения максимальной эффективности химического процесса и ускорения внедрения лабораторных разработок в промышленность. Кроме этого, благодаря 3D-печати, значительно расширяются возможности по изучению масштабирования химического синтеза, что особенно актуально для ускорения разработки химических технологий производства новых химических продуктов.

Несмотря на широкое применение 3D-печати в различных областях науки и техники, её потенциал в создании полнофункциональных каталитических реакторов с контролируемой геометрией, химической устойчивостью и возможностью интеграции каталитически-активных компонентов остаётся недостаточно изученным. Особенно это касается изучения работы готовых химических реакторов в условиях реального химического синтеза – задача, решение которой требует междисциплинарного подхода, объединяющего химию, материаловедение и инженерное проектирование.

В представленной диссертационной работе систематически изучаются возможности применения FFF и SLM технологий для создания химических реакторов, пригодных для работы в агрессивных средах, включая реакторы со структурированными подложками в качестве носителя каталитически активных материалов.

Разработанный автором подход позволяет не только ускорить цикл «дизайн–тестирование–внедрение», но и обеспечить преемственность между этапами прототипирования и промышленного масштабирования. Это открывает новые перспективы для персонализации лабораторного оборудования, оптимизации каталитических процессов и повышения их экологической и технологической устойчивости. Таким образом, работа Алексеевой В.А. отвечает приоритетным направлениям развития химической технологии и вносит существенный вклад в формирование основ цифрового, ресурсосберегающего и безопасного химического производства.

Новизна исследования и полученных результатов

Диссертационная работа Алексеевой В.А. отличается научной новизной и успешно сочетает фундаментальные исследования с решением прикладной задачи – разработки функционально адаптивных каталитических систем на основе аддитивных технологий. В отличие от традиционных подходов, ориентированных на отдельные этапы проектирования реакторов или выбор катализаторов, автор предложил рассматривать каталитический процесс как единый технологический объект, в котором геометрия реактора, свойства материалов и распределение активных компонентов взаимосвязаны и совместно определяют эффективность и надёжность синтеза.

Новизна работы заключается, прежде всего, в создании оригинального методологического подхода к интеграции аддитивного производства в

химические процессы. Разработан комплексный принцип проектирования и изготовления реакторов, объединяющий возможности FFF- и SLM-печати для создания модульных, термически и химически устойчивых каталитических устройств. Установлены закономерности влияния типа полимерных и металлических материалов, а также параметров 3D-печати на эксплуатационные характеристики реакторов, что позволило сформировать научные основы выбора конструкционных решений под конкретные условия синтеза.

Автором реализованы каталитические системы на основе нано-/микроструктурированных 3D-подложек с иммобилизованными палладиевыми наночастицами, обеспечивающие активность и стабильность в реакциях трансферного гидрирования. Особое значение имеет экспериментальное подтверждение возможности применения реакторов из РEEK и металлических сплавов (полученных методом селективного лазерного плавления) для проведения органических реакций при повышенных температурах и давлениях – что ранее считалось маловероятным из-за ограничений химической совместимости и термической устойчивости.

Отдельно следует отметить разработку принципов проектирования каталитических картриджей с адаптируемой геометрией, что создаёт предпосылки для цифровой персонализации реакторных систем и их интеграции в автоматизированные платформы «умной лаборатории». Полученные результаты не только расширяют представления о возможностях аддитивных технологий в химии, но и формируют методологический фундамент для рационального проектирования безопасных, эффективных и устойчивых каталитических процессов.

Предложенные подходы имеют значительный потенциал и могут быть адаптированы к широкому спектру реакций тонкого органического и фармацевтического синтеза, что подтверждает высокую научную и практическую ценность выполненной работы.

Значимость для науки и практики, полученных автором результатов

Результаты, представленные в диссертационной работе Алексеевой В.А., обладают теоретической и прикладной ценностью для развития современной химической технологии, материаловедения и устойчивого органического синтеза. Проведённое исследование позволяет заложить методологическую основу для интеграции аддитивных технологий в проектирование каталитических реакторов, что представляет собой важный шаг в направлении цифровизации и функциональной персонализации химического оборудования.

С научной точки зрения работа вносит существенный вклад в понимание взаимосвязи между параметрами аддитивного производства, свойствами конструкционных материалов и эксплуатационной надёжностью реакторных систем. Автором систематизированы данные по термостойкости, химической

устойчивости, герметичности и механической прочности изделий, полученных методами FFF и SLM, на основе которых сформулированы принципы рационального выбора полимерных и металлических материалов для конкретных условий синтеза. Ценным теоретическим результатом является разработка подходов к созданию структурированных 3D-подложек с контролируемой геометрией и пористостью для эффективной иммобилизации каталитически активных частиц, что расширяет представления о взаимодействии катализаторов с аддитивно созданными носителями.

Практическая значимость работы заключается в создании воспроизводимых и масштабируемых методик проектирования и изготовления реакторов и каталитических картриджей, пригодных для широкого спектра органических реакций. Предложенные конструкции из РЕЕК и металлических сплавов продемонстрировали стабильность при работе в агрессивных средах, при повышенных температурах и давлениях, что открывает реальные перспективы их внедрения в проточные синтетические установки, модули автоматизированного синтеза и учебные лабораторные комплексы. Использование разработанных подходов позволяет значительно сократить время и стоимость разработки реакционного оборудования, одновременно повышая его функциональность и безопасность.

Важно подчеркнуть, что проведённые исследования выходят за рамки узкого применения аддитивных технологий в лабораторной практике. Предложенные методологические принципы формируют основу для перехода к новому поколению «умных» реакторных систем и могут быть адаптированы к другим классам химических процессов в том числе в фармацевтическом синтезе, каталитическом материаловедении и разработке устойчивых химических технологий. Таким образом, работа Алексеевой В.А. не только закладывает фундамент для дальнейших исследований в области цифровой химической технологии, но и создаёт практические инструменты, способные трансформировать подходы к проектированию, эксплуатации и масштабированию современных каталитических систем.

Личный вклад автора

Автор работы, Алексеева В.А., внесла всесторонний вклад в выполнение диссертационного исследования, проявив высокую степень самостоятельности на всех этапах, от формулировки научной проблемы и разработки концепции исследования до реализации экспериментальной программы, и обобщения полученных результатов. Ею лично были определены ключевые направления работы, включая построение методологической основы для оценки функциональных и эксплуатационных характеристик аддитивно производимых реакторов и каталитических систем.

Алексеева В.А. самостоятельно разработала и реализовала экспериментальные протоколы, связанные с аддитивным изготовлением

реакторных конструкций из термопластов (включая PEEK) и металлических сплавов методами FFF и SLM. Автор лично провела комплекс физико-химических испытаний полученных материалов, оценку механической прочности, термостабильности, химической устойчивости и герметичности, что позволило обосновать выбор конструкционных решений для конкретных условий проведения синтеза.

В рамках каталитических исследований автор самостоятельно осуществил серию модельных реакций трансферного гидрирования в периодическом и проточном режимах, включая подбор условий, воспроизведение процессов и структурную идентификацию продукта реакции с использованием ЯМР-спектроскопии. Это обеспечило достоверность полученных данных.

Особое значение имеет разработка автором оригинальных подходов к иммобилизации палладиевых частиц на 3D-подложках с контролируемой микроструктурой, а также создание каталитических картриджей с адаптируемой геометрией. В этой части работы Алексеева В.А. продемонстрировала глубокие знания в области материаловедения, гетерогенного катализа и цифрового проектирования, успешно интегрируя их в единую исследовательскую стратегию.

Таким образом, личный вклад автора носит определяющий характер: все ключевые результаты диссертации получены самостоятельно и отражают высокий уровень научной и практической компетентности.

Рекомендации по использованию результатов работы и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты могут найти широкое применение в различных областях химической науки и технологии, включая разработку новых подходов к проектированию реакторного оборудования, создание эффективных каталитических систем и цифровизацию лабораторного синтеза. Предложенные методы аддитивного изготовления реакторов и каталитических картриджей из термостойких полимеров (в частности PEEK) и металлических сплавов открывают новые возможности для проведения органических реакций при повышенных температурах, давлениях и в агрессивных средах.

Результаты исследования могут быть рекомендованы для использования при разработке модульных, функционально адаптивных реакторных систем для проточного и периодического синтеза, особенно в фармацевтической химии, тонком органическом синтезе и материаловедении. Подходы к созданию структурированных 3D-подложек с иммобилизованными каталитическими частицами могут быть применены для рационального конструирования гетерогенных катализаторов с заданной геометрией, пористостью и каталитической активностью.

Разработанные принципы проектирования реакторов с адаптируемой внутренней геометрией и возможностью интеграции датчиков и электронных

компонентов целесообразно внедрять в платформы «умной лаборатории», что будет способствовать автоматизации и ускорению циклов «дизайн – синтез – анализ». Кроме того, использование аддитивных технологий позволяет значительно сократить сроки и стоимость изготовления специализированного оборудования, что делает предложенные решения особенно значимыми для научных лабораторий и различных компаний в химических областях.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к внедрению в следующих организациях и ВУЗах: Кабардино-Балкарском государственном университете им. Х.М. Бербекова, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, Новосибирском государственном университете, Казанском (Приволжском) федеральном университете, Томском государственном университете, Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева, Российском технологическом университете МИРЭА и др. по химическим и технологическим специальностям.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выносимые на защиту, являются логически выстроенными, теоретически обоснованными и подтверждены обширным массивом экспериментальных данных. Автором реализован системный и междисциплинарный подход, объединяющий методы аддитивного производства, материаловедения, органического синтеза и инженерного проектирования, что обеспечивает высокую научную строгость и практическую значимость полученных результатов.

Особое внимание заслуживает разработанный автором подход к проектированию и изготовлению химических реакторов с применением технологий FFF и SLM. Экспериментально подтверждена возможность создания герметичных, химически устойчивых и термически устойчивых реакторов из инженерных полимеров (включая РЕЕК) и металлических сплавов (нержавеющая сталь 316L), пригодных для проведения синтезов в агрессивных средах при повышенных температурах и давлениях. Установленные закономерности влияния материала на эксплуатационные характеристики реакторов позволяют обоснованно выбирать конструкционные решения под конкретные задачи органического синтеза.

Кроме того, автором реализованы методики аддитивного производства каталитических картриджей с иммобилизованными частицами палладия, обеспечивающие эффективность и стабильность в реакциях трансферного гидрирования. Эти результаты подтверждены серией воспроизводимых экспериментов.

Достоверность выводов обеспечена применением широкого спектра современных физико-химических и аналитических методов: растровой

электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом, механических испытаний на прочность и герметичность, масс-спектрометрии с электрораспылительной ионизацией, а также ЯМР-анализа. Все эксперименты проведены с использованием аккредитованного оборудования, чистых реагентов и верифицированных стандартов, что гарантирует высокую воспроизводимость и надёжность полученных данных. Анализ литературных источников выполнен с привлечением авторитетных баз данных – Reaxys, SciFinder, Web of Science и Scopus.

Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными, достоверными и применимыми на практике.

Полнота освещения результатов диссертации в печати

Диссертационное исследование Алексеевой В.А. получило освещение в независимой научной литературе. По материалам диссертации опубликовано три статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и РИНЦ, включая одну статью в журнале первого квартиля. Кроме того, результаты работы были представлены в виде докладов на профильных научных конференциях, в том числе: 6-м Северо-Кавказском симпозиуме по органической химии (Ставрополь, 2022), XXV Международной конференции по химическим реакторам «ХимРеактор-25» (Тюмень, 2023), X Молодежной конференции ИОХ РАН (Москва, 2023), Международном симпозиуме «2nd Sino-Russian Symposium on Chemistry and Materials» (Москва, 2024), а также VI Всероссийской конференции по органической химии (Москва, 2024). Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, отличается логичной структурой, ясностью изложения и убедительно демонстрирует личный вклад автора в развитие междисциплинарных направлений на стыке аддитивных технологий, химической технологии и устойчивого органического синтеза.

Оценка содержания работы

Диссертационная работа Алексеевой В.А. состоит из введения, литературного обзора, обсуждения результатов, экспериментальной части, выводов, благодарностей, списка литературы, списка публикаций по теме диссертационного исследования и приложений. Весь материал изложен на 174 страницах и включает 43 рисунка, 20 таблиц, 6 схем и 186 библиографических ссылок и приложение в 3-х частях.

Во **введении** сформулированы актуальность и значимость исследуемой темы, цель и задачи работы, а также научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов. Представлено четкое обоснование выбора темы исследования, обусловленное стремительным развитием

аддитивных технологий и их возрастающей ролью в модернизации химического оборудования и процессов тонкого органического синтеза.

Литературный обзор (**глава 2**) диссертации посвящён анализу современных достижений в области проектирования и изготовления 3D-печатных химических реакторов и каталитических устройств. Рассматриваются ключевые материалы, применяемые в аддитивном производстве, методы функционализации поверхностей, подходы к оптимизации геометрии реакторов, а также методики оценки их эффективности на примере модельных химических реакций. Особое внимание уделено переходу современной химической технологии от традиционных макромасштабных систем к миниатюризированным, высокоэффективным и управляемым решениям в первую очередь микрореакторам и компактным каталитическим устройствам. Подчеркивается, что аддитивные технологии открывают принципиально новые возможности для создания сложных трёхмерных структур, недоступных при использовании классических методов обработки. Отдельно освещается интеграция 3D-печати с методами нанесения активных катализаторов – иммобилизацией наночастиц и формированием структурированных носителей с заданной пористостью и геометрией, что позволяет проектировать катализатор как неотъемлемую, оптимизированную часть реакционной среды.

В **главе 3** диссертации представлены результаты систематических исследований по применению технологий аддитивного производства FFF и SLM для создания лабораторных химических реакторов и каталитических систем. Рассмотрены ключевые эксплуатационные характеристики инженерных и суперконструкционных полимеров (PA6-CF, PEEK, PP-GF и др.), включая их химическую и термическую устойчивость, механическую прочность, герметичность и пригодность для работы в агрессивных средах при повышенных температурах и давлениях. Особое внимание уделено разработке 3D-печатных каталитических картриджей с иммобилизованным палладием, эффективность которых зависит как от полимерной матрицы, так и от метода нанесения катализатора. Показано, что SLM-реакторы из нержавеющей стали 316L не только совместимы с разнообразными условиями органического синтеза, но и способны выступать в роли функциональных носителей гетерогенных катализаторов, демонстрируя каталитическую активность в реакциях кросс-сочетания и трансферного гидрирования.

Экспериментальная часть диссертации (**глава 4**) Алексеевой В.А. включает описание методик изготовления лабораторных химических реакторов и каталитических систем с использованием аддитивных технологий FFF-печати и SLM-печати. Представлены параметры 3D-печати для широкого спектра термопластов (включая инженерные и суперконструкционные полимеры, такие как PA6-CF, PEEK, PPS-GF), а также условия постобработки и сушки материалов. Описаны методы оценки химической и термической устойчивости, механической прочности и

герметичности напечатанных изделий, в том числе в условиях повышенного давления и вакуума. Детально изложены процедуры проведения модельных органических реакций: трансферного гидрирования, винилирования, азид-алкинового циклоприсоединения и реакций кросс-сочетания (Бухвальда–Хартвига, Сузуки) как в полимерных, так и в металлических реакторах. Отдельное внимание уделено методам осаждения палладиевого катализатора на полимерных и металлических носителях, а также аналитическим подходам: ЯМР-спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии, масс-спектрометрии высокого разрешения (ESI-MS) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) для оценки каталитической активности, морфологии и состава полученных систем.

В **выводах** подведены основные результаты исследования, сделаны заключения о применении полученных данных для создания безопасных, функциональных и адаптивных реакторных систем. Рекомендуются использовать предложенные методики аддитивного производства для рационального подбора конструкционных материалов и проектирования реакторов под конкретные условия химического синтеза, включая каталитические и газожидкостные процессы.

Работа отличается логичной структурой и последовательным изложением материала; сделанные в ней выводы полностью соответствуют поставленным целям и задачам. Представленное исследование носит завершённый и целостный характер, а автор продемонстрировал высокий профессиональный уровень, проявив компетентность в таких областях, как аддитивные технологии, органический синтез и проектирование лабораторного оборудования.

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации не обсуждается сравнение предложенных автором проточных реакторов с коммерческими проточными системами, широко используемыми в лабораторной практике.

2. В работе автор приводит результаты тестирования многочисленных материалов, однако предлагаемые в работе проточные реакторы были изготовлены только из полиамида. В работе отсутствует обсуждение перспективности применения других материалов, в том числе суперконструкционных для производства таких реакторов.

3. Автором выполнены испытания проточных систем, изготовленных методом экструзионного наплавления, в реальном органическом синтезе. Однако, испытания прочных реакторов, изготовленных методом селективного лазерного сплавления металлического порошка, весьма ограничены. Следовало в большей степени расширить этот раздел работы.

4. На стр. 62: корректнее использовать термин «теплостойкость» вместо «термостойкости». Обычно теплостойкость определяет максимальную температуру, при которой полимер способен выдерживать механические нагрузки без изменения формы. Потеря теплостойкости обусловлена физическими процессами – переходом аморфных полимеров в

высокоэластическое состояние или плавлением кристаллических полимеров. Термостойкость же характеризует верхний предел рабочих температур, определяемый устойчивостью материала к химическим превращениям (обычно к термической деструкции в инертных или окислительных средах).

5. На стр. 64 говорится, что использовались углы заполнения 0° и 45° , тогда как на стр. 141 в экспериментальной части говорится, что углы были 45° и 90° . Так было бы уместно привести 3D модели образцов с нарезанными слоями.

6. На стр. 70 корректнее обозначить углеродные и стеклянные волокна как «волоконистые наполнители», а не как «дисперсные».

7. На стр. 73 говорится, что PP-CF содержит 1 % углеродного материала, однако тип углеродного компонента не уточнён. Только на стр. 77 становится понятно, что речь идет об углеродных нанотрубках. Тем не менее, выбранное обозначение некорректно, так как CF обозначают углеродные волокна (carbon fibers). Углеродные нанотрубки обозначаются CNT (carbon nanotubes), соответственно правильнее было бы назвать материал PP-CNT. Далее, на стр. 80 встречается выражение, где PP-CF расшифровывается как полипропилен, армированный углеродным волокном, что противоречит информации на стр. 77. Судя по механическим свойствам материал содержит все-таки CNT, а не CF.

8. Стр. 82, табл. 5: чем обусловлена более низкая прочность полиэфирэфиркетона с углеволокном (PEЕК-CF) по сравнению с чистым материалом (PEЕК)?

Указанные замечания не влияют на высокую общую оценку работы и не затрагивают её научную новизну и достоверность полученных результатов.

Заключение

Соискателем проведено актуальное исследование, выполненное на высоком экспериментальном и теоретическом уровне. Автореферат и публикации соответствуют основному содержанию диссертации. Диссертационная работа соответствует п. 3 «Определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях» и п. 12 «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов» паспорта специальности 1.4.4. Физическая химия (химические науки).

Таким образом, диссертационная работа Алексеевой В.А. «Дизайн химических реакторов и каталитических систем для органического синтеза с применением 3D-печати» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития физической химии, и по актуальности, новизне, практической и теоретической значимости, публикациям, личному вкладу, достоверности результатов и обоснованности выводов полностью соответствует

требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. N 842 в действующей редакции, а её автор, Алексеева Виктория Андреевна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Диссертация рассмотрена, отзыв обсужден и одобрен на семинаре кафедры неорганической и физической химии ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова» «10» ноября 2025 г. Протокол № 3.

Заведующий кафедрой неорганической
и физической химии института математики
и естественных наук ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский
государственный университет имени
Х.М. Бербекова», д.х.н., профессор

 Кушхов Хасби Билялович

« 17 » ноября 2025 года

Подпись Кушхова Хасби Биляловича заверяю:

Ученый секретарь КБГУ
д.филол. н., доцент



Ашинова Ирина Викторовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173. Тел. +7 (8662) 40-48-06. Адрес электронной почты: yka@kbsu.ru. Сайт: <https://kbsu.ru>.