

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.01.04,**  
созданного на базе Международного исследовательского института  
интеллектуальных материалов федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный  
университет», по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук

*аттестационное дело № \_\_\_\_\_,  
решение диссертационного  
совета от 09.09.2025 г. № 45*

О присуждении Чапека Сергея Валентиновича учёной степени кандидата  
физико-математических наук.

*Диссертация «Ускоренный синтез и in situ спектральная диагностика  
новых наноматериалов в микрофлюидных устройствах, полученных  
аддитивным методом производства» по специальности 2.6.6. «Нанотехнологии  
и наноматериалы» принята к защите 07.07.2025 г. (протокол заседания № 42)  
диссертационным советом ЮФУ801.01.04 на базе Международного  
исследовательского института интеллектуальных материалов федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Южный федеральный университет» в соответствии с приказами  
№ 229-ОД от 27.09.2022, № 252-ОД от 05.09.2023 г., № 284-ОД от 29.09.2023 г.,  
№ 87-ОД от 01.04.2024 г., № 239-ОД от 27.09.2024 г., № 34-ОД от 31.01.2025 г.*

*Соискателю Чапеку Сергею Валентиновичу, 1986 года рождения,  
присуждена квалификация «Юрист» по специальности «Юриспруденция»  
Федерального государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Южный федеральный университет» (ВСГ  
1213625, рег. номер 138/9, дата выдачи 30.06.2007 г.). В настоящее время  
Чапек С. В. работает в должности Инженера-исследователя Центра наукоемкого  
приборостроения Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный  
университет».*

*Диссертация выполнена в Международном исследовательском институте  
интеллектуальных материалов федерального государственного автономного*

образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

*Научный руководитель* – Гуда Александр Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

*Официальные оппоненты*

- **Томилин Феликс Николаевич**, доктор физико-математических наук (специальность: 1.3.8. Физика конденсированного состояния), старший научный сотрудник, лаборатория физики магнитных явлений Института физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН) – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН) (г. Красноярск),
- **Турищев Сергей Юрьевич**, доктор физико-математических наук (специальность: 01.04.10 - физика полупроводников), доцент, Заведующий Кафедрой общей физики, Физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж)

дали положительные отзывы на диссертацию.

По теме диссертации соискатель имеет 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, является автором главы в монографии и 4 тезисов в сборниках трудов конференций.

**Статьи в научных изданиях, входящих в перечень**

**ВАК, Scopus, Web of Science, RSCI**

A1. Study of the Surface Morphology of Microfluidic-Chip Channels via X-Ray Tomography

and Scanning Electron Microscopy / S. V. Chapek, I. A. Pankin, D. V. Khodakova, A. A. Guda, A. S. Goncharova, A. V. Soldatov // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. – 2023. – Vol. 17, №. 2. – P. 392-396. – DOI 10.1134/s1027451023020039. K2

A2. Aging behavior of fully 3D printed microfluidic devices / P. Shvets, V. Shapovalov, D. Azarov, A. Kolesnikov, P. Prokopovich, A. Popov, S. Chapek, A. Guda, M. Leshchinsky, A. Soldatov, A. Goikhman // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2024. – Vol. 134, №. 1-2. – P. 569-578. – DOI 10.1007/s00170-024-14149-8. K1.

A3. 3D-printed microfluidic system for the in-situ diagnostics and screening of nanoparticles synthesis parameters / V. V. Shapovalov, S. V. Chapek, A. A. Tereshchenko, A. N. Bulgakov, A. P. Bagliy, V. V. Volkov, P. V. Konarev, M. A. Soldatov, S. A. Soldatov, A. A. Guda, A. V. Soldatov // *Micro and Nano Engineering*. – 2023. – Vol. 20. – Art. No 100224. – DOI 10.1016/j.mne.2023.100224. K1

A4. High-Quality In Situ X-ray Absorption Spectroscopy Monitoring of the Palladium Nucleation inside the 3D Printed Microfluidic Chip / A. V. Dobrovolskaya, S. V. Chapek, O. A. Usoltsev, E. Naranov, D. N. Gorbunov, A. L. Trigub, A. L. Maximov, A. V. Soldatov, A. L. Bugaev // *Journal of Physical Chemistry C*. – 2023. – Vol. 127, №. 42. – P. 20727-20733. – DOI 10.1021/acs.jpcc.3c03266. K1

A5. Optimal synthesis conditions for NBF-modified 8,13-dihydroberberine derivatives / A. D. Zagrebaev, V. V. Butova, A. A. Guda, S. V. Chapek, O. N. Burov, S. V. Kurbatov, E. Yu. Vinyukova, M. E. Neganova, Yu. R. Aleksandrova, N. S. Nikolaeva, O. P. Demidov, A. V. Soldatov // *New Journal of Chemistry*. – 2024. – Vol. 48, №. 1. – P. 268-280. – DOI 10.1039/d3nj04562e. K1.

A6. Microfluidic-Assisted Synthesis of Hybrid Carbonate Calcium Microparticles Modified by Silver Nanoparticles / A. V. Ermakov, S. V. Chapek, E. V. Lengert, P. V. Konarev, V. V. Volkov, M. A. Soldatov, D. B. Trushina // *Crystallography Reports*. – 2024. – Vol. 69, №. 4. – P. 569-576. – DOI 10.1134/S1063774524600546. K2

A7. Microfluidically assisted synthesis of calcium carbonate submicron particles with improved loading properties / A. V. Ermakov, S. V. Chapek, E. V. Lengert, P. V. Konarev, V. V. Volkov, V. V. Artemov, M. A. Soldatov, D. B. Trushina // *Micromachines*. – 2024. – Vol. 15, №. 1. – Art. No 16. – DOI 10.3390/mi15010016. K1

### **Монографии**

A8. Manufacturing Quality Evaluation of Photopolymer Resin 3D-Printed Scaffolds Using Microtomography / E. V. Sadyrin, A. L. Nikolaev, S. V. Chapek, D. V. Nazarenko, S. M. Aizikovich, Yun-Che Wang // *Sixty Shades of Generalized Continua : Dedicated to the 60th Birthday of Prof. Victor A. Eremeyev* / Altenbach, H., Berezovski, A., dell'Isola, F., Porubov, A. (eds). – Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2023. – Ch. 38. – P. 619-630. – (Advanced Structured Materials, Vol. 170). – ISBN 978-3-031-26185-5. – DOI 10.1007/978-3-031-26186-2\_38

### **Публикации в сборниках трудов конференций**

A9. Microfluidic systems for the In Situ X-ray spectral diagnostics and screening of synthesis

parameters / Guda A., Shapovalov V., Chapek S., Bulgakov A., Soldatov A. V. // Synchrotron Radiation Techniques for Catalysts and Functional Materials : II International Conference, October 23-27, 2023 Novosibirsk, Russia : [Book of Abstracts]. – Novosibirsk : Boreskov institute of Catalysis SB RAS, 2023. – С. 56-57.

A10. Разработка системы ультразвуковой модуляции для микрофлюидной технологии ускоренного синтеза новых функциональных наноматериалов / А. Н. Рыбьянец, Н. А. Швецова, И. А. Швецов, С. В. Чапек, Е. И. Муханова // IV семинар "Современные нанотехнологии" (IWMN-2022), 24-27 августа 2022, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия : сборник тезисов. – Екатеринбург : ФГАОУ ВО "УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина", 2022. – С. 111. – Режим доступа: [https://nanocenter.urfu.ru/sites/default/files/Abstract\\_book\\_IWMN-2022.pdf](https://nanocenter.urfu.ru/sites/default/files/Abstract_book_IWMN-2022.pdf) (дата обращения 02.06.2025)

A11. In situ рост наночастиц палладия внутри микрофлюидного чипа под контролем рентгеновской абсорбционной спектроскопии / Добровольская А. В., Чапек С. В., Усольцев О. А., Наранов Е. Р., Горбунов Д. Н., Тригуб А. Л., Солдатов А. В., Бугаев А. Л. // Высокоточная диагностика функциональных материалов: лабораторные и синхротронные исследования : сборник тезисов II Всероссийской молодежной конференции (г. Воронеж, 12-17 сентября 2022 г.) / Воронежский государственный университет ; под общей редакцией доктора физико-математических наук, доцента С. Ю. Турищева. – Воронеж : Научная книга, 2022. – С. 117-119.

A12. Возможность микроволновой экстракции биологически активных веществ из исландского мха и ламинарии / Кузнецова П. Д., Булгаков А. Н., Волик К. К., Чапек С. В., Муханова Е. А. // Новые материалы и технологии в условиях Арктики : материалы V Международной конференции с элементами научной школы, 14-18 июня 2022 г. / Министерство образования и науки Российской Федерации Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова ; [редакционная коллегия: А. А. Охлопкова и др.]. – Якутск : СВФУ, 2022. – С. 231-232.

Основные публикации по теме диссертации подготовлены соискателем совместно с соавторами.

На диссертацию поступили 2 отзыва от официальных оппонентов и 3 отзыва на автореферат.

#### **Отзывы на диссертацию официальных оппонентов:**

1) **Томилин Феликс Николаевич**, доктор физико-математических наук (специальность: 1.3.8. Физика конденсированного состояния), старший научный сотрудник, лаборатория физики магнитных явлений Института физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО

РАН) – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), г. Красноярск, 08.08.2025 г.:

«1) В диссертации использована спектроскопия рентгеновского поглощения (XAS) для контроля восстановления палладия. При этом в ходе эксперимента происходит значительное осаждение палладия на стенках микрофлюидного устройства. Каким образом это осаждение может повлиять на интерпретацию данных XAS и точность оценки доли восстановленного палладия в растворе?

2) При синтезе наночастиц серебра в режиме сегментированного потока наблюдается бимодальное распределение по размерам по данным малоуглового рентгеновского рассеяния. Почему это бимодальное распределение размеров не очевидно на изображениях просвечивающей электронной микроскопии?

3) При изучении кинетики реакции образования дизамещённых производных берберина с помощью *in situ* УФ-спектроскопии наблюдается рост сигнала продукта реакции. Чем может быть обусловлен медленный выход на плато (около 10 минут), несмотря на, казалось бы, быструю скорость перемешивания реагентов в микрофлюидном устройстве?

4) В работе утверждается, что микрофлюидный синтез гибридных частиц  $\text{CaCO}_3@Ag$  приводит к повышению их загрузочной способности по сравнению с объемным синтезом. Каким образом наличие наночастиц серебра, образующихся на поверхности ватерита, влияет на пористость и, соответственно, на загрузочную способность получаемых гибридных частиц?»

2) **Турищев Сергей Юрьевич**, доктор физико-математических наук (специальность: 01.04.10 - физика полупроводников), доцент, Заведующий Кафедрой общей физики, Физический факультет · Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж), г. Воронеж, 08.08.2025 г.:

«1) Диссертация в целом имеет чёткую структуру, однако можно отметить пересечения, встречающиеся в содержании отдельных глав и разделов. Например, методические подробности, приведённые в обзоре литературы или методической части (главы 1 и 2), в ряде случаев частично дублируют друг друга. Автор подробно описывает методы изготовления микрофлюидных устройств и тестирования их механических свойств, однако в дальнейшем в тексте работы упоминания механических свойств изделий не приводится, как и связь этих свойств с научными результатами работы.

2) В «результативных» главах диссертации (3-5) приводятся отсылки к деталям методов и методик, со ссылкой на содержание главы 2, однако не все эти детали приведены в главе 2. Методические аспекты иногда приводятся слишком обобщенно, а в главах с экспериментальными результатами описываются повторно. С другой стороны, работа содержит многочисленные перечисления полученных данных, их описание без достаточного обсуждения (например, стр. 58, первый абзац «... производительность старого или использованного...» или стр. 89, первый абзац «Было обнаружено...»). Отсутствует ряд упомянутых в тексте результатов (например, стр. 109 или 115, рентгенограммы, данные по идентификации кристаллических структур не приведены, а упомянуты).

3) При одновременном использовании оптических и рентгеновских методов *in situ* мониторинга следовало бы пояснить, как осуществлялась синхронизация и калибровка измерений (например, соотнесение временных шкал спектральных данных и SAXS при слежении за ростом наночастиц). Известно, что положение пика плазмонного резонанса и его амплитуда зависят от размера наночастиц. Неясно, как согласуются данные оптического поглощения, измеренные для реакции синтеза наночастиц серебра в сегментированном потоке, и результаты анализа данных малоуглового рентгеновского рассеяния?

4) По мере изложения экспериментальных результатов не всегда явно указаны погрешности измерений, иные детали, которые важны для оценки данных, в том числе достоверности. В частности, на рисунке 3.26 невозможно установить

размер частиц серебра, размерная шкала не видна. Или отсутствует информация о том, как можно провести оценку погрешности определения размеров пор для композитного материала  $\text{CaCO}_3/\text{Ag}$  методом малоуглового рентгеновского рассеяния.

5) Некоторые результаты, представленные в диссертации, требуют более детального обсуждения с точки зрения механизмов реакции. Например, для описания бимодального распределения размеров серебряных наночастиц следует указать возможные причины появления двух областей размеров частиц (например, нуклеация, особенности перемешивания в сегментированном потоке и др). Аналогично, в разделе по синтезу наночастиц палладия стоило бы подробнее рассмотреть, почему значительная часть металла осаждается на стенках микроканала – возможно, дело в диффузионных ограничениях или поверхностных эффектах, влияющих на формирование частиц. Более детальное объяснение таких нюансов придало бы работе дополнительную глубину и прояснило бы физико-химические механизмы, лежащие в основе полученных экспериментальных данных.»

#### **Отзывы на автореферат:**

1) *Гольдберг Маргарита Александровна*, кандидат технических наук,  
28.08.2025 г.:

«1) Автор называет применяемый метод аддитивного производства цифровой обработкой света, что является прямым переводом английского названия Digital light processing. В то же время, согласно ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения» используемый тип процесса относится к фотополимеризации в ванне. Рекомендуется придерживаться такой терминологии.

2) В автореферате не указано на каком оборудовании были произведены микрофлюидные чипы и скаффолды, а также какая фотополимерная смола

применялась, что затрудняет оценку разрешения при трехмерной печати.

3) Каковы ограничения по оптическим и рентгеновским свойствам фотополимерных материалов, используемых при 3D-печати микрофлюидных чипов, в контексте *in situ* диагностики?»

**2) Григорьев Тимофей Евгеньевич**, кандидат физико-математических наук, 08.08.2025 г.:

«1) Были ли предприняты попытки калибровки или стандартизации *in situ* измерений между различными микрофлюидными реакторами, особенно при использовании на синхротронных станциях?

2) Каковы ограничения текущих микрофлюидных конструкций по температурному и химическому диапазону? Возможна ли работа с агрессивными или высокотемпературными средами?»

**3) Кичкайло Анна Сергеевна**, доктор биологических наук, 28.08.2025 г.:

«1) Рассматривалась ли возможность масштабирования представленного микрофлюидного подхода для параллельного синтеза различных классов наноматериалов?

2) В автореферате следовало бы отдельно выделить влияние характеристик фотополимерного материала на результаты *in situ* диагностики.»

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой квалификацией в области физики наноматериалов, современных методов их исследования и анализа свойств конденсированных систем. Томилин Ф. Н. специализируется на исследованиях, связанных с физикой конденсированных систем, структурой и свойствами наноматериалов, а также применением рентгеновских и спектроскопических методов для их диагностики. Его научная деятельность направлена на изучение процессов, определяющих формирование и функциональные характеристики наноструктурированных материалов. Турицев С. Ю. обладает высокой квалификацией в области физики полупроводников, наноструктурированных материалов, их электронных и

оптических свойств. Он имеет значительный опыт исследований, связанных с применением спектроскопических и структурных методов для анализа наноматериалов. Их научные работы охватывают темы, связанные с наноматериалами и методами их исследования, что соответствует тематике представленной диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **Впервые реализован *in situ* контроль синтеза наночастиц серебра в 3D-печатных микрофлюидных устройствах с использованием УФ-видимой спектроскопии и малоуглового рентгеновского рассеяния.**
- **Впервые показана взаимосвязь условий проточного синтеза с параметрами плазмонного резонанса и размерами образующихся наночастиц по данным УФ-видимой спектроскопии и SAXS.**
- **Впервые количественно охарактеризована кинетика восстановления Pd(II) в микрофлюидном режиме и определены доли восстановленных и осаждённых атомов металла.**
- **Разработаны модульные микрофлюидные реакторы, полученные методом DLP-печати, адаптированные для проведения *in situ* УФ-видимой спектроскопии в УФ, видимом и рентгеновском диапазонах. Разработаны методики спектрального контроля реакций органического и неорганического синтеза в проточном режиме, а также методика капельного микрофлюидного синтеза наночастиц карбоната кальция и композитов CaCO<sub>3</sub>/Ag.**
- **Предложены подходы к количественному анализу параметров печати и их влияния на геометрию и свойства микрофлюидных устройств.**
- **Обоснован новый подход к интеграции микрофлюидики, аддитивных технологий и методов *in situ* диагностики для ускоренного прототипирования наноматериалов. Показана возможность использования микрофлюидных чипов как платформы для исследования кинетики**

реакций и создания функциональных нанокompозитов с регулируемыми свойствами. Сформирована концепция ресурсоэффективного синтеза наноматериалов с контролем их структуры и свойств в реальном времени.

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

- разработанные микрофлюидные системы позволяют существенно ускорить переход от лабораторного синтеза наночастиц к прикладным технологиям, обеспечивая стабильные и контролируемые условия реакции. Применение аддитивного производства на основе DLP-печати удешевляет и упрощает изготовление микрореакторов, делая их доступными для быстрого прототипирования и адаптации под различные задачи;
- разработанные методики *in situ* диагностики с использованием УФ-видимой спектроскопии и малоуглового рентгеновского рассеяния обеспечивают контроль реакции в реальном времени, что повышает воспроизводимость и надёжность получаемых материалов. Синтезированные наноматериалы — серебро, палладий, композиты  $\text{CaCO}_3/\text{Ag}$  — обладают значительным потенциалом для применения в катализе, биомедицинских технологиях и создании функциональных материалов с заданными свойствами;
- полученные подходы могут быть использованы в образовательной и исследовательской практике, обеспечивая подготовку специалистов в области нанотехнологий и ускоряя внедрение инновационных методов синтеза в промышленность.

**Оценка достоверности результатов** исследования выявила:

- Теоретическая основа работы опирается на общепринятые фундаментальные подходы и перспективные методы анализа данных, а также согласуется с экспериментальными данными диссертации.

- Установлено качественное и количественное соответствие результатов, полученных в диссертации, с независимыми результатами, представленными в научных статьях, опубликованных в международных изданиях, для схожих материалов.
- Достоверность полученных результатов подтверждается использованием в исследовании современного высокоточного оборудования. Сделанные в работе выводы удовлетворяют общепринятым методам физико-химического анализа, использованным при выполнении работы. Противоречия сформулированных положений с современными концепциями физики и смежных с ней направлений отсутствуют. Подготовка, анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки данных. В работе применялись паспортизованные химические вещества, материалы и оборудование с лицензионным программным обеспечением. Результаты опубликованы в международных рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus.
- **Выводы диссертации** обоснованы и не вызывают сомнений.

**Личный вклад соискателя** состоит в получении и анализе основных научных результатов диссертации. Автором самостоятельно была разработана технологическая цепочка для создания МФУ методом 3D-печати и проведены все экспериментальные работы по изготовлению, тестированию и усовершенствованию МФУ, внесён определяющий вклад в эксперименты по созданию МФУ из фотополимерной смолы для *in situ* диагностики процесса синтеза наноматериалов, спланированы эксперименты и принято участие в проведении и обработке данных экспериментов получения наноматериалов, разработано устройство с интеграцией оптического волокна и проведены эксперименты по диагностике реакций органического синтеза с одновременным

контролем конверсии методом УФ спектроскопии, реализованы функциональные прототипы МФУ как для лабораторных исследований, так и для применения на источниках синхротронного излучения.

На заседании 09.09.2025 г. диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», и принял решение присудить Чапеку Сергею Валентиновичу учёную степень **кандидата** физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 9 докторов наук, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета (дополнительных членов в состав совета не вводилось), проголосовали: за – 10, против – 0, воздержался – 0.

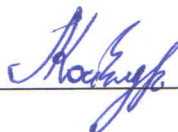
Председатель заседания  
диссертационного совета  
ЮФУ801.01.04



Солдатов А. В.



Ученый секретарь  
диссертационного совета  
ЮФУ801.01.04  
09.09.2025 г.



Гуда Л. В.