

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ 2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
аттестационное дело № 26/25
решение диссертационного совета
от 23 октября 2025 г. № 10

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Скичко Евгении Абдулмуталиповне, представившей диссертационную работу на тему «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, принятую к защите «30» июня 2025 г., протокол № 7 диссертационным советом РХТУ 2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 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. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом и.о. ректора РХТУ № 309 А от «26» октября 2023 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом и.о. ректора РХТУ № 349 А от «22» ноября 2023 г. Полномочия диссертационного совета продлены приказом и.о. ректора 86 ОД от 05 мая 2025 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом ректора РХТУ № 204 ОД от «22» октября 2025 г.

Соискатель Скичко Евгения Абдулмуталиповна 1986 года рождения, в 2009 году с отличием окончила специалитет ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» диплом серия ВСА номер 0733214.

В 2012 году окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», научная специальность 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Соискатель работает старшим преподавателем кафедры информационных компьютерных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования (ФГБОУ ВО) «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

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 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы Скичко Е.А. «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» утверждена на заседании Ученого совета факультета ЦиТХИи РХТУ им. Д.И. Менделеева от 20.02.2025 г. (протокол № 3). Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Кольцова Элеонора Моисеевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, старший научный сотрудник **Бейлина Наталия Юрьевна**, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», ведущий научный сотрудник НУИЛ «Физико-химии углей»;

доктор технических наук, профессор **Рухов Артём Викторович**, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Химия и химические технологии».

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 17 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 3 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных, в 5 публикациях в журналах из перечня ВАК и в 9 публикациях в рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объёмом 85 страниц полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Результаты работы апробированы на 8 международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 60-90% 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. Skichko E.A. Physico-chemical properties of carbon nanotubes as supports for cathode catalysts of fuel cells. Surface structure and corrosion resistance / V.A. Bogdanovskaya, G.V. Zhutaeva, M.V. Radina, L.P. Kazanskii, M.R. Tarasevich, E.M. Koltsova, E.A. Skichko [et al.] // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2016. – Vol. 52, No. 1. – P. 45-54. – DOI 10.1134/S2070205116010068. (**Scopus, Web of Science**)

2. Скичко Е.А. Разработка программного комплекса для моделирования кинетики синтеза и структуры углеродных нанотрубок, нановолокон / Е.А. Скичко, К.В. Кручинин, Э.Г. Раков, Э.М. Кольцова // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. – 2012. – Т. 55, № 2. – С. 93-97. (**Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts**)

3. Skichko E.A. 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 [et al.] // *Chemical Engineering Transactions*. – 2018. – Vol. 70. – P. 1759-1764. – DOI 10.3303/CET1870294. (**Scopus**)

4. Скичко Е.А. Углеродные нанотрубки - перспективные носители для синтеза катодных катализаторов PtCoCr / В.А. Богдановская, М.В. Радина, О.В. Лозовая, М.Р. Тарасевич, А.В. Кузов, Э.М. Кольцова, Е.А. Скичко // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. – 2012. – № 2(106). – С. 91-106. (**Chemical Abstracts**)

5. Скичко Е.А. Экспериментальное исследование кинетических закономерностей синтеза углеродных нанотрубок каталитическим пиролизом газовых смесей переменного состава / Е.А. Скичко, Д.А. Ломакин, Ю.В. Гаврилов, Э.М. Кольцова // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 3-2. – С. 414-418. (**РИНЦ**)

6. Абубакарова Е.А. Разработка новой технологии получения углеродных нанотрубок и чистого водорода путем каталитического пиролиза углеводородного сырья в реакторе непрерывного действия / Э.М. Кольцова, Ю.В. Гаврилов, Н.Г. Дигуров, В.В. Скудин, Ю.П. Байчток, Е.А. Абубакарова [и др.] // *Современные наукоемкие технологии*. – 2010. – № 7. – С. 141-146. (**РИНЦ**).

7. Скичко Е.А. Моделирование и оптимизация шнекового реактора синтеза углеродных нанотрубок / Е.А. Скичко, Е.А. Миронова, Э.М. Кольцова // *Математические методы в технологиях и технике*. – 2024. – № 12-2. – С. 17-21. (**РИНЦ**)

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613353 Российская Федерация. Программное обеспечение для моделирования роста и образования углеродных нанотрубок, нановолокон в термохимических процессах («KA_Nano») : № 2010611749 : заявл. 06.04.2010 : опублик. 21.05.2010 / Э.М. Кольцова, Е.А. Абубакарова ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева).

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620487 Российская Федерация. База данных в области углеродных нанотрубок и композитов на их основе («I.S. Nanotube») : № 2010620355 : заявл. 08.07.2010 : опублик. 07.09.2010 / Ф.В. Бацелев, А.С. Егоркин, А.В. Женса, Э.М. Кольцова, Е.А. Порысева, Чан Хыу Кве, Е.А.

Абубакарова ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Отзыв официального оппонента** – доктора технических наук по научной специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника НУИЛ «Физико-химии углей» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» Бейлиной Наталии Юрьевны. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и рекомендации:

1. Методология эксперимента предполагала отдельное изучение влияния температуры (при пиролизе чистого метана) и концентрации водорода (при фиксированной температуре). Данный подход, однако, не позволяет в полной мере оценить кинетику процесса в условиях, когда оба фактора действуют совместно, что может быть предметом дальнейших исследований.

2. При обсуждении кинетической схемы пиролиза в диссертационной работе не рассмотрен вопрос о влиянии содержания водорода на количество формирующихся активных центров катализатора.

3. В Главе 4 при моделировании каталитического пиролиза в шнековом реакторе следовало бы учитывать продольный градиент температуры, так как при моделировании многотрубного реактора это значительно повлияло бы на результаты моделирования.

4. В Главе 4 при описании модели технологической схемы следовало бы подробнее описать, как задана реакция пиролиза в прикладном пакете, учитывались ли стадии кинетической схемы.

5. В разделе 4.7 четвертой главы диссертации представлены исследования по использованию полученных соискателем УНТ в качестве «армирующей» добавки керамических композитов на основе оксидов алюминия и циркония. Несмотря на положительный характер полученных результатов по упрочнению композита, эта часть диссертационной работы представляется избыточной по отношению к заявленной автором цели. Тем более нельзя объяснять достижение эффекта упрочнения армирующим действием УНТ в композите при его объемном содержании в матрице в пределах 1 %. Механизм действия добавки УНТ здесь другой.

Указанные замечания являются рекомендациями к улучшению работы и не снижают положительную оценку диссертационной работы.

В заключении указано, что диссертационная работа Скичко Евгении Абдулмуталиповны на тему «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» является законченной научно-квалификационной работой, объединяющей экспериментальные исследования, математическое моделирование и разработку комплекса программ. В диссертации исследован процесс пиролиза метана и метановодородных смесей с получением углеродных нанотрубок. Предложена кинетическая схема, позволившая описать полученные экспериментальные данные. Проведены исследования по применению синтезированных нанотрубок в области изготовления керамических композиционных материалов и водородовоздушных топливных элементов. Полученные результаты дают основу для дальнейших исследований, а также применения углеродных нанотрубок в промышленных масштабах. Евгения Абдулмуталиповна Скичко заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

2. **Отзыв официального оппонента** – доктора технических наук по научной специальности 05.17.08. Процессы и аппараты химических технологий, профессора, заведующего кафедрой «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «Тамбовский

государственный технический университет» **Рухова Артёма Викторовича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных, сделан общий обзор работы. Отзыв положительный. Замечания и вопросы по работе:

1. Не понятно, чем была продиктована необходимость использования лабораторного трубчатого кварцевого реактора, схема которого представлена на рис. 2.1 стр. 72 диссертации, для сравнительных экспериментов. Почему нельзя было провести данные исследования на кинетической установке (рис. 2.2 стр. 73 диссертации)?

2. Название работы предполагает исследование в области углеродных нанотрубок, однако подавляющее большинство полученных в ходе экспериментального исследования объектов являются углеродными нановолокнами (рис. 2.3, 2.5, Приложение 2)

3. Что нового автором привнесено в уравнение математической модели (3.1)?

4. Чем объясняется падение производительности при увеличении расхода катализатора рис. 4.8 стр. 123 диссертации?

5. Представленные в Приложении 3 экспериментальные данные получены с использованием экспериментальной установки, представленной рис. 2.2 стр. 73 диссертации? Если да, то каким образом были получены значения массы образцов с разрешением до десятых долей мг, если цена деления весов ВТ-500 1 мг?

6. Почему при решении оптимизационной задачи значения варьируемых параметров определялись последовательно в результате координатного сканирования, а не решалась классическая задача поиска экстремума функции многих переменных?

Диссертационная работа Скичко Е.А. «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» является законченной научно-квалификационной работой, которая полностью соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

3. **Отзыв ведущей организации - ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».** В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных, сделан общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие вопросы и замечания:

1. Стр. 75. Указано, что выход УНТ варьировался в диапазоне 22,4 – 31 г/кат. Хотелось бы узнать, с чем связаны такие высокие значения выходов, которые совершенно не коррелируют с данными, представленными в литературе. Для синтеза многостенных углеродных нанотрубок считается

успешным получить, например, хотя бы 10 г/кат (сырье: метан), а представленные выходы существенно выше данного значения.

2. Стр. 81. «На катализаторе с 45% активной фазы образование активных центров происходит медленнее, о чем свидетельствует более длинный индукционный период, и скорость роста УНТ меньше по сравнению с катализатором с 60 % активной фазы». Здесь целесообразно говорить о блокировании активных центров, поскольку центры на наночастицах блокируются образующимся углеродом. Скорость образования углерода и его количество у системы с 60% активной фазы выше по сравнению с 45%, что приводит к падающей активности (~50 мин процесса) у первого и продолжающего работать катализатора второй системы, соответственно.

3. На рисунке 3.1 показаны расчетные и экспериментальные кривые, однако, не указан важный параметр для сравнения результатов – коэффициент детерминации R². Особенно хотелось бы узнать его для температуры 700°C и причину его отклонения от значений для 725-800°C.

4. Стр. 114. Не ясна корреляция между выходом углерода 1,7 г/гкат., полученным на установке со шнековым реактором, и данными, указанными в главе 2, где выходы достигали до 31 г/гкат. В чем причина такой весомой разницы?

5. Стр. 124. Указано, что «...настройка скорости вращения шнека может быть ограничена конструктивными особенностями реактора». В принципе, данная проблема технически решается. Возникает вопрос, насколько экономически будет обосновано использование частотного преобразователя и редуктора, обеспечивающих достаточно низкую частоту вращения (низкое время пребывания) и момент, необходимый для вращения шнека с учетом объема обрабатываемого материала?

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают высокой оценки диссертационной работы. В заключении отмечено, что диссертационная работа Скичко Евгений Абдулмуталиповны на тему: «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» полностью соответствует пунктам Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г. Диссертационная работа Е.А. Скичко является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании экспериментальных и теоретических исследований решена актуальная проблема разработки нового углерод-углеродного материала с повышенными физико-механическими характеристиками. Теоретические положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в исследовании, отличаются научной обоснованностью и достоверностью. Полученные результаты, принадлежащие Е.А. Скичко, обладают научной новизной и имеют существенное практическое значение для развития технологий синтеза многослойных углеродных нанотрубок, перспективных для создания новых конструкционных материалов, а также в области водородной энергетики. Автор работы, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий. Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры химии и химической технологии «29» августа 2025 г. (протокол № 6 от «29» августа 2025 г.).

Отзыв подписан: доктором технических наук, профессором, ректором ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» Батаевым Анатолием Андреевичем; доктором химических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» Банновым Александром Георгиевичем.

4. **Отзыв на автореферат** доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией механики многофазных систем Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения ФГБОУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук **Урманчесова Саида Федоровича**. Отзыв положительный. По автореферату имеется ряд вопросов и замечаний:

1. Проводился ли контроль состава газовой смеси на выходе из реактора?

2. В таблице 2 на стр. 10 приведены выражения для скоростей стадий кинетической схемы. В тексте автореферата не указано, в чем отличие концентраций с чертой.

3. Текст автореферата содержит незначительные ошибки.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку рассмотренной диссертационной работы. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее

автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

5. **Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, ведущего научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» **Кузнецова Владимира Львовича**. Отзыв положительный. По работе сделан ряд замечаний:

1. Методики синтеза катализатора носят несколько эмпирический описательный характер, не приводится сопоставительный анализ с многочисленными работами по формированию, активации и дезактивации железо-кобальтовых катализаторов выполненными в других научных организациях (например, групп L.Forro, A. Magrez (EPFL, Swiss), J.B. Nagy, K. Hernadi (Hungary), ИК СО РАН).

2. Использование в качестве сырья метано-водородных смесей, при кажущейся дешевизне не позволяет получать высокие выходы УНТ на единицу веса катализатора (не более 20 гУНТ/гКт), что требует дополнительных стадий очистки нанотрубок от примесей катализатора, приводящих к удорожанию их производства и образованию сточных вод. Большинство действующих производств в развитых странах по этой причине используют в качестве сырья этилен, обеспечивающий выходы УНТ на уровне 40-50 гУНТ/гКт и выше, что позволяет использовать УНТ без дополнительных очисток. Уровень производства и потребления многослойных УНТ в настоящее время превышает при этом 23000 тонн в год.

3. В работе не приводятся данные исследования УНТ, полученных в различных режимах, с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния, стандартного на настоящий момент метода охарактеризования качества УНТ (как однослойных так и многослойных).

4. В работе отсутствует сравнительный анализ производства УНТ с использованием различных типов реакторов (с псевдооживленным слоем (реализованных, например, фирмами Archema, LG Chem, CNano), вращающихся реакторов (Nanocyl, Chasm) и др., что представляет большой практический интерес.

Однако указанные недостатки не снижают общей высокой оценки диссертационной работы Скичко Е.А. «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение», её научной новизны и практической значимости, что позволяет сделать вывод о ее соответствии требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертационная работа Скичко Е.А. «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» соответствует требованиям присуждения ученых степеней ВАК, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

6. **Отзыв на автореферат** доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой Процессов и аппаратов химической технологии ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» **Липина Андрея Александровича**. Отзыв положительный. По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. По тексту автореферата непонятно, почему для исследований синтезирован катализатор с 60% активной фазы, и не рассмотрены другие варианты.

2. Каким образом рассчитан коэффициент диффузии в уравнении изменения концентрации компонентов сплошной фазы (уравнение 1 на стр. 8)?

3. Из графиков рис. 7 не следует, что при температуре 770 °С и расходе катализатора 140 мг/мин достигается производительность реактора по УНТ 106 г/ч. Кривая, соответствующая температуре 770 °С, в максимуме не доходит даже до значения 100 г/ч. При какой скорости вращения шнека получены кривые рис.7?

4. По рисунку 4 стр. 11 сложно рассмотреть начальный этап роста нанотрубок.

5. В тексте автореферата и выводах по работе утверждается, что механические характеристики композита на основе оксида алюминия, армированного УНТ автора работы, соответствуют мировому уровню либо превышают его. Однако эталонные значения этих характеристик для сравнения не приводятся.

Высказанные вопросы и замечания не снижают научно-практического значения полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку рассмотренной диссертационной работы. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

7. **Отзыв на автореферат** доктора технических наук, профессора, профессора кафедры Информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» **Тихомирова Сергея Германовича. Отзыв положительный.** По работе имеются следующие замечания:

1. В автореферате отсутствует описание исследования влияния каждого из перечисленных управляющих параметров на динамику процесса синтеза УНТ при определении оптимального режима работы реактора.

2. В работе отсутствует описание программного комплекса, разработанного для моделирования кинетики процесса синтеза УНТ.

Отмеченные недостатки и вопросы не снижают общего положительного впечатления от проделанной диссертантом работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

8. **Отзыв на автореферат** доктора технических наук, старшего научного сотрудника, директора по развитию бизнеса ООО «Центр цифровых технологий» **Дозорцева Виктора Михайловича.** Отзыв положительный. По автореферату высказаны следующие замечания:

1. Экспериментальные исследования по изучению влияния состава исходной метановодородной смеси являлись двухфакторными. Более корректным было бы изменение концентрации последовательно метана, затем водорода с добавлением инертного газа.

2. На рисунке 8 стр. 15 приведена технологическая схема процесса в прикладном моделирующем пакете. Не указано, какой термодинамический пакет использован для моделирования, а также по каким соображениям он был выбран.

Отмеченные выше замечания не снижают научную ценность и практическую значимость работы. Диссертационная работа Скичко Е.А. является законченным исследованием, проведенным автором на высоком научном уровне. В ней выполнена объемная практическая и аналитическая работа, результаты которой обладают научной новизной и практической значимостью. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в

федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

9. **Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, начальник управления функциональных материалов АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИграфит» **Данилова Егора Андреевича. Отзыв положительный.** По материалам автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Исследования влияния температуры на выход УНТ проведены узким температурным интервале. Чем объясняется выбор данного интервала (700-800°C) и не привело бы его расширение к получению дополнительной информации?

2. На стр. 14 поставлена задача оптимизации режима работы шнекового реактора (9), среди управляющих параметров следовало бы также рассмотреть диаметр реакционного канала.

3. В части, посвященной катализатору для топливных элементов (стр. 15-16) без дополнительных обоснований сравниваются характеристики систем с различными активными фазами (классический Pt-катализатор и триметаллический PtCOCr), а выводы делаются относительно носителя. Насколько, по мнению автора, корректно такое сравнение?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку рассмотренной диссертационной работы. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

10. **Отзыв на автореферат** доктора технических наук, доцента, заведующего Кафедрой процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина М.И. ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» **Таран Юлии Александровны. Отзыв положительный.** По работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. Насколько разработанный программный комплекс применим для моделирования пиролиза в других условиях и на других катализаторах?

2. Проводилось ли моделирование синтеза одно- или двуслойных нанотрубок с помощью разработанной математической модели?

3. В таблице 4 на стр. 16 упоминается «мягкое» и «жесткое» окисление. В чем суть и назначение данных процессов?

Высказанные вопросы не снижают научно-практического значения полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку рассмотренной диссертационной работы. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

11. **Отзыв на автореферат** доктора технических наук, профессора кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» **Архангельского Вадима Юрьевича. Отзыв положительный.** По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Выбор массовой доли активной фазы катализатора, равной 60%, требует дополнительного обоснования. В тексте отсутствует информация о том, изучалась ли зависимость эффективности синтеза УНТ от этого параметра, и почему предпочтение отдано именно этому значению.

2. Из текста автореферата неясно, как анализировалась значимость корреляционной связи между моделью и экспериментальными данными.

Высказанные вопросы и замечания не снижают научно-практического значения полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку рассмотренной диссертационной работы. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

12. **Отзыв на автореферат** кандидата физико-математических наук, руководителя проектов НИОКР АО «Научно-исследовательский и проектный институт карбамида» **Эльмановича Игоря Владимировича. Отзыв положительный.** По автореферату имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата при описании результатов, полученных во второй главе диссертации, следовало бы больше внимания уделить методам синтеза и структурного анализа каталитических материалов с обоснованием указанных в таблице 1 автореферата составов катализатора.

2. В тексте автореферата при описании результатов, полученных в четвертой главе диссертации, следовало бы подробнее описать процедуру определения коррозионной устойчивости материалов-носителей катализатора.

Отмеченные недостатки не снижают значимости представленной диссертационной работы, выполненной на высоком научно-методическом уровне. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

На все замечания Скичко Евгенией Абдулмуталиповной 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.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

выявлены зависимости скорости роста, выхода УНТ, времени дезактивации катализатора в процессе каталитического пиролиза от концентрации водорода в исходной метановодородной смеси и температуры процесса;

определен механизм синтеза УНТ, учитывающий выявленное влияние концентрации водорода в исходной газовой смеси;

разработана математическая модель полупромышленного шнекового реактора непрерывного действия;

разработана технологическая схема каталитического пиролиза метановодородных смесей с получением УНТ и водорода, включающая блок пиролиза, блок выделения продукционного водорода, блок утилизации тепла пиролиза в программной среде Unisim Design.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлено соотношение металлов активной фазы катализатора $\text{Fe}:\text{Co} = 3:1$ для обеспечения наибольшего выхода УНТ;

получены результаты, подтверждающие влияние концентрации водорода в исходной газовой смеси на скорость роста, выход УНТ, время дезактивации катализатора;

установлен механизм синтеза УНТ каталитическим пиролизом метановодородной смеси;

предложена кинетическая схема пиролиза метановодородной смеси;

разработана математическая модель шнекового реактора непрерывного действия.

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

определен состав катализатора пиролиза, обеспечивающий наибольший выход УНТ и наименьший внешний диаметр УНТ;

определен состав исходной метановодородной смеси для достижения наибольшего выхода УНТ;

определена температура каталитического пиролиза метановодородной смеси, обеспечивающая наибольший выход УНТ

определен оптимальный режим работы шнекового реактора непрерывного действия;

создана модель технологической схемы синтеза УНТ, включающая блок пиролиза, блок утилизации тепла, блок выделения водорода из газообразных продуктов пиролиза;

разработан комплекс программ для решения уравнений математических моделей;

получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных;

применены полученные УНТ в качестве носителя платинового катализатора водородовоздушного топливного элемента, позволившее снизить содержание платины в катализаторе в 2 раза;

применены полученные УНТ в качестве армирующей добавки керамоматричного композита на основе оксидов алюминия, циркония, что привело к значительному улучшению свойств композита.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

обоснованность и достоверность полученных результатов работы обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, использованием современных методик обработки данных;

использование современных методов исследования: рентгенофазный анализ, просвечивающая электронная микроскопия, сканирующая электронная микроскопия;

воспроизводимость и внутреннюю непротиворечивость полученных результатов;

проведение сравнительного анализа между расчетными и экспериментальными данными.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах научного исследования: проведении экспериментов по синтезу и исследованию оксидных катализаторов вида $(\text{Fe}_x\text{Co}_{0,60-x}\text{Al}_{0,40})_2\text{O}_3$, экспериментальном исследовании кинетических закономерностей синтеза УНТ при варьировании температуры процесса, количества активной фазы катализатора, состава исходной газовой смеси. Автор проводил статистическую обработку микрофотографий УНТ. Автор разрабатывал математическую модель и кинетическую схему процесса пиролиза метановодородных смесей, проводил моделирование и оптимизацию режима работы шнекового реактора непрерывного действия. Автор разрабатывал модель технологической схемы синтеза УНТ в прикладном пакете, участвовал в исследованиях по применению УНТ. Автор подготовил публикации по теме работы. Автор разработал собственное программное обеспечение, зарегистрированное в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий по своей теме, содержанию и методам исследования в части: п. 1. «Фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах»; п. 2. «Способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах»; п. 4. «Способы, приемы, методология исследования химических, тепловых, массообменных и совмещенных процессов, совершенствование их аппаратного оформления»; п. 13. «Развитие теории и практики создания процессов, аппаратов, технологий, обеспечивающих создание автоматизированных цифровых производств».

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертационная работа Скичко Е.А. на тему «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, представляющей собой совокупность научно-обоснованных решений по моделированию технологии синтеза углеродных нанотрубок, которые имеют существенное значение для экономики РФ в области водородной энергетики и других высокотехнологичных отраслях промышленности.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа Скичко Е.А. на тему «Синтез углеродных нанотрубок: исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение» полностью соответствует пунктам Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева 23 октября 2025 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Скичко Евгении Абдулмуталиповне.

Присутствовало на заседании **13** членов совета,
в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации **6**,
в том числе в режиме видеоконференции **2**.

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

Результаты тайного голосования:

«за» **11**,
«против» **нет**,
«воздержались» **нет**.

Проголосовали **2** члена диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» **2**,
«против» **нет**,
«воздержались» **нет**.

Итоги голосования:

«за» **13**,
«против» **нет**,
«воздержались» **нет**.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор, Глебов М.Б.

Ученый секретарь диссертационного совета

к.т.н., доцент, Василенко В.А.

Дата «23» октября 2025 г.