

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева

по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук  
аттестационное дело № 23/21  
решение диссертационного совета  
от 28 января 2022 г. № 6

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Худееву Иллариону Игоревичу, представившему диссертационную работу на тему «Энерго- и ресурсосбережение в процессе сверхкритической сушки» по научной специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий», принятой к защите «16» декабря 2021 г., протокол № 5 диссертационным советом РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом ректора РХТУ № 52-ОД от «14» июля 2020 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом Врио ректора РХТУ № 1496 СТ от «16» сентября 2021 г.

Соискатель Худеев Илларион Игоревич 1995 года рождения, в 2018 году с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» диплом серия 107731 номер 0177500.

В 2018 году поступил в аспирантуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», специальность 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

Соискатель с 2016 г. работает в РХТУ им. Д. И. Менделеева, в настоящий момент занимает должность младшего научного сотрудника и ассистента кафедры химического и фармацевтического инжиниринга.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» выполнена на кафедре химического и фармацевтического инжиниринга и кафедре кибернетики химико-технологических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы «Энерго- и ресурсосбережение в процессе сверхкритической сушки» утверждена на заседании Ученого совета факультета информационных технологий и управления 21.09.2018 г. (протокол № 10). Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Меньшутина Наталья Васильевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, **Абиев Руфат Шовкетович**, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», заведующий кафедрой оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры;

доктор технических наук, доцент **Хайрутдинов Венер Фаилевич**, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», профессор кафедры теоретических основ теплотехники.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук».

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 27 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 9 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных, и в 11 публикациях в рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объемом 123 страницы полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Результаты работы апробированы на 1 всероссийской и 9 международных научных конференциях.



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

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Intensification methods of supercritical drying for aerogels production / N. V. Menshutina, P. Y. Tsygankov, I. I. Khudeev, A. E. Lebedev // *Drying Technology*. – 2020. – P. 1–14. (Q1, Web of Science, Scopus).

2. Investigation of alumina aerogel structural characteristics at different «precursor-water-ethanol» ratio / A. E. Lebedev, N. V. Menshutina, I. I. Khudeev, R. A. Kamyshinsky // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2021. – Vol. 553. – 120475. (Q1, Web of Science, Scopus).

3. Menshutina N. V. The Effect of the Water–Precursor Ratio on the Structural Characteristics of Alumina Aerogels / N. V. Menshutina, A. E. Lebedev, I. I. Khudeev // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. – 2020. – Vol. 14. – P. 1229–1235. (Q4, Web of Science, Scopus).

4. Lab Scale High-Pressure Equipment for Supercritical Drying / P. Y. Tsygankov, I. I. Khudeev, A. E. Lebedev [et al.] // *Chemical Engineering Transactions*. – 2018. – Vol. 70. – P. 877–882. (Q3, Scopus).

5. Synthesis and characterization of composite materials «aerogel-MWCNT» / N. V. Menshutina, S. I. Ivanov, P. Y. Tsygankov, I. I. Khudeev // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. – 2017. – Vol. 84, № 3. – P. 382–390. (Q2, Web of Science, Scopus).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Отзыв официального оппонента** – доктора технических наук по специальности 05.17.18 – Процессы и аппараты химических технологий, профессора, заведующего кафедрой «Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» **Абиева Руфата Шовкетовича**. 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. В главе 1 следовало бы привести современные формулировки понятий «энерго- и ресурсосбережение» и «интенсификация процессов», приведенные в работах Станкевича и Мулейна, Станкевича и Ван Гервена, а также сформулировать количественные критерии (1) энерго- и ресурсосбережения и (2) интенсификации.

2. Сочетание терминов «интенсификация» и «оптимизация» в тексте автореферата и диссертации не вполне удачно выбрано, поскольку интенсификация (в формулировках Рамшоу, Харвей, Станкевича и Мулейна, Ван Гервена) предполагает способы воздействия на систему, а также оборудование для их реализации (похожая формулировка дана и автором на с. 46 диссертации), а оптимизация – поиск наилучших значений параметров. Так, название параграфа 3.3.1 «Интенсификация процесса сверхкритической сушки с применением метода оптимизации режимно-технологических параметров» звучало бы лучше, например, в формулировке «Оптимизация режимно-технологических параметров с целью улучшения характеристик энерго- и ресурсосбережения», что, к тому же, более точно соответствует названию диссертационной работы.

3. Аналогичное замечание касается формулировки «Интенсификация в соответствии с фазовыми диаграммами» (п. 3.4.3). Предлагается вариант «Оптимизация процесса с учетом свойств системы «диоксид углерода – изопропанол».

4. На с. 29 диссертации приведены уравнения движения идеальной несжимаемой жидкости, при этом уравнение (1.2) записано для несжимаемой жидкости, а уравнение (1.3) – для сжимаемой (без учета дивергенции скорости). То же касается уравнений (1.8) и (1.9). Уравнения (1.3) и (1.9) фактически становятся тождествами. В уравнениях (1.7) и (1.10) для кинематической вязкости и для скорости используется одна и та же буква «и́псилон».

5. В диссертации не представлен список использованных обозначений.

6. П. 3.3.3. При применении ультразвуковых колебаний между аппаратом и излучателем



находился слой воды, а внутри аппарата – слой спирта. На рис. 3.12 следовало бы указать толщину слоя воды и оценить толщину слоя спирта, а также рассчитать акустический импеданс системы с целью определения затухания волн на пути к цилиндрам геля.

7. П. 4.1.1: «массоперенос от пограничного слоя геля в свободный объем аппарата учитывается с помощью коэффициента массопередачи». Видимо, имеется в виду коэффициент массоотдачи? Не приведены ссылки на источники уравнений (4.6)-(4.9).

8. С. 126. Для расчета числа Рейнольдса использована « $U_1$  – скорость потока на поверхности гелей». Для неподвижных цилиндров геля эта скорость равна нулю.

9. П. 4.1.3. Использование явной разностной схемы Эйлера для решения параболического уравнения массопереноса (4.1) не имеет серьезных оснований, поскольку данная схема дает существенную ошибку, связанную с различным видом характеристических уравнений для исходного дифференциального уравнения и аппроксимирующей системы уравнений.

10. В работе встречаются опечатки и стилистические неточности. Так, фразу «математическая модель описания кинетики...» следовало бы заменить на «математическая модель кинетики». На с. 15 и далее «акво-» следует заменить на «аква-», на с. 53 – «в следствие», с. 54 «разряжение». Неудачны формулировки «количество гелей», «радиус геля» и т.п., поскольку гель – это название структурированной системы, а не геометрического тела.

В заключении указано, что диссертационная работа Худеева Иллариона Игоревича на тему «Энерго- и ресурсосбережение в процессе сверхкритической сушки» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача интенсификации процесса сверхкритической сушки аэрогелей. Автором проведена большая работа, включающая экспериментальные и теоретические исследования. Худеев Илларион Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

**2. Отзыв официального оппонента** доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, доцента, профессора кафедры «Теоретических основ теплотехники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» **Хайрутдинова Венера Фаилевича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. **Отзыв положительный**. Основные положения работы достаточно аргументированы и вносят вклад как в теорию, так и в практику реализации новой технологии. В то же время при анализе представленного материала возникли следующие замечания:

1. В работе приведен подробный анализ фазового поведения бинарной системы «CO<sub>2</sub> – этанол» и определена гомогенная область для осуществления процесса сушки. Однако сам процесс сушки проведен с использованием иного растворителя – изопропанола. В работе не обоснован выбор именно этого растворителя.

2. СКФ технологии, к которым относится и сушка, основаны на знаниях типов фазового равновесия (I-VI), характеристиках фазового равновесия и растворимости. Фазовое равновесие бинарной системы «диоксид углерода – изопропанол» относится к I типу с непрерывной критической кривой. В диссертации отсутствует анализ достоинств или недостатков того или иного типа фазового равновесия.

3. «...Процесс сверхкритической сушки проводят в гомогенной области для смеси «диоксид углерода – изопропанол», и процесс считается законченным, когда достигается определенное значение концентрации изопропанола  $x_{2,r}^{\Phi}$  в смеси, находящейся внутри гелей...». Каково пороговое численное значение? И как остаточный растворитель влияет на свойство аэрогеля?

4. При исследовании влияния ультразвуковых колебаний на процесс СКФ сушки (п. 3.3.3 диссертационной работы) не представлены характеристики аэрогелей. Не ясно, влияют ли ультразвуковые колебания на структуру аэрогелей.



5. На пилотной установке осуществляется многократная рециркуляция диоксида углерода. В связи с этим возникает вопрос, нет ли эффекта накопления изопропанола в промежуточной емкости? Проводился ли анализ на остаточное содержание органического растворителя после адсорбционных колонн? Есть ли лимитирующее значение по его содержанию в  $\text{CO}_2$ ?

6. Диссертант в лабораторном масштабе провел интенсификацию процесса СКФ сушки за счет использования ультразвуковых колебаний. Каковы перспективы использования этого технического решения в пилотном и промышленном масштабах?

7. Имеются незначительные недостатки при оформлении таблиц, рисунков и списка литературы.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Худеева Иллариона Игоревича «Энерго- и ресурсосбережение в процессе сверхкритической сушки» является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, научной новизне, практической значимости, объему, содержанию, количеству публикаций удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, соответствует пунктам «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с последующими изменениями и дополнениями), пунктам «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а автор диссертации – Худеев Илларион Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий.

**3. Отзыв ведущей организации** – федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук». В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие вопросы и замечания:

1. Диссертация содержит грамотный и достаточно проработанный литературный обзор, в котором особое внимание уделено аэрогелям на основе оксидов металлов. Вместе с этим, в литературном обзоре диссертации, которая посвящена энерго- и ресурсосбережению в процессе сверхкритической сушки, имело бы смысл не ограничиваться описанием только оксидных аэрогелей, а рассмотреть и другие типы аэрогелей: например, на основе углерода или металлов; структурированных аэрогелей, состоящих из кристаллических, в том числе анизотропных частиц и др., а также провести более детальное сравнение сушки в сверхкритической среде с другими способами удаления раствора из пор геля, которые сочетают низкую стоимость и достаточно высокую эффективность: сублимационной сушки (упоминается вскользь), «pinhole» сушка, «spring-back» процесс и др.

2. В диссертации отсутствует аргументация выбора эпихлоргидрина для синтеза аэрогелей на основе оксида алюминия и его предполагаемые преимущества по сравнению с другими веществами, например пропиленоксидом, хотя в литературном обзоре диссертации приведено много примеров применения именно последнего субстрата.

3. В диссертации отсутствуют данные о фазовом составе аэрогелей на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что особенно важно в случае оксида алюминия, так как тип фазы и температуры соответствующих фазовых переходов определяют многие свойства данного материала. Как изменяется фазовый состав аэрогелей из оксида алюминия при прокаливании?

4. В работе показано, что при растворении сверхкритического  $\text{CO}_2$  в фазе спирта объем жидкой фазы возрастает. Может ли это привести к растрескиванию геля из-за того, что жидкость не будет успевать выходить из пор геля.

5. На наш взгляд, в работе не хватает сопоставления режима сушки аэрогелей с



использованием сверхкритического CO<sub>2</sub>, предложенного в диссертации, с режимом сушки блоков аэрогеля, описанного в работах М. Tabata – одна из его работ была процитирована в тексте диссертации (ссылка [66]). В работах М. Tabata CO<sub>2</sub> смешивали с растворителем в автоклаве при комнатной температуре и долго выдерживали для полного проникновения CO<sub>2</sub> в объем геля.

6. В тексте диссертации при расчете себестоимости аэрогелей в затратах на сырье при получении геля указана цена на реактив тетраэтилортосиликат (ТЭОС) 170.4 руб./кг. Возможно, здесь закралась техническая ошибка или это устаревшие данные, так как в настоящее время рыночная цена на данный реактив используемой чистоты существенно выше и часто превышает 1000 руб./кг.

7. Следует отметить минимальное количество неточностей и опечаток, допущенных при оформлении диссертации. Вместе с этим в тексте все-таки встречаются некоторые опечатки, в частности: азотная порометрия используется для определения текстурных, а не структурных характеристик (стр.80), на странице 129 диссертации не отобразилась ссылка на литературный источник.

Указанные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа представляет собой самостоятельное завершённое исследование. Основные результаты отражены в публикациях соискателя, автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

В заключении отмечено, что работа Худеева И.И. на тему: «Энерго- и ресурсосбережение в процессе сверхкритической сушки» полностью соответствует пунктам «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на интенсификацию и оптимизация процесса сверхкритической сушки аэрогелей, имеющие существенное значение для развития страны. Автор работы Худеев Илларион Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий. Отзыв заслушан и обсужден на семинаре отдела физико-химических методов исследования (протокол № 9/21 от 17.12.2021 г.). Отзыв подписан: кандидатом химических наук, научным сотрудником отдела физико-химических методов исследования ФГБУН «ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» Шалыгиным Антоном Сергеевичем; кандидатом химических наук, секретарем семинара отдела, научным сотрудником отдела физико-химических методов исследования ФГБУН «ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» Нестеровым Николаем Сергеевичем; доктором химических наук, профессором РАН, заместителем директора ФГБУН «ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» Мартыяновым Олегом Николаевичем. Отзыв утвержден директором ФГБУН «ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», академиком Бухтияровым Валерием Ивановичем.

**4. Отзыв на автореферат** доктора технических наук, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых производств» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» **Дворецкого Дмитрия Станиславовича. Отзыв положительный.**

При анализе автореферата возник следующий вопрос: не совсем понятно насколько организация процесса интенсификации сушки, реализованная в аппарате, помещенного в ультразвуковую ванну, может рассматриваться как перспективный вариант масштабирования процесса?

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



1. На странице 11 предложен метод интенсификации процесса сверхкритической сушки в соответствии с фазовыми диаграммами. Однако, не приведены сами диаграммы фазового равновесия. Из чего трудно понять каким способом они были использованы.

2. Подписи к рисункам 4, 17 представлены мелким, почти нечитаемым шрифтом.

**6. Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, старшего научного сотрудника, и. о. заведующего лабораторией «Сверхкритических флюидных технологий» ИОНХ РАН **Паренаго Ольги Олеговны**. Отзыв положительный. По работе имеются вопросы и замечания:

1. Вызывает вопрос тот факт, что подробное описание гелеобразования, химии и физики процесса описано для алюмогелей (и гидроксидов металлов), а подробное исследование влияния параметров сушки для интенсификации процесса сделано для силикагелей. Есть ли какие-то отличия с точки зрения принципиальной схемы процесса для сушки различных материалов: алюмогелей, силикагелей, гелей природных полимеров, полисахаридов и пр.?

2. В тексте автореферата отсутствует описание того, что происходит с параметрами процесса сверхкритической сушки при масштабировании (кроме естественного увеличения времени процесса), при переходе от реактора объемом 22 мл до 250 мл. Если тенденции и общие закономерности не меняются, почему нельзя было все эксперименты провести в реакторе одного объема, например, 250 мл?

**7. Отзыв на автореферат** доктора технических наук, профессора кафедры «Технологических машин и оборудования» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» **Блиничева Валерьяна Николаевича**. Отзыв положительный. По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1. В автореферате (стр.6) приведены структурные характеристики аэрогелей на основе оксида алюминия, однако не описан вид зависимости этих характеристик от значения параметров синтеза.

2. Вторая глава диссертации посвящена исследованиям процессов получения аэрогелей на основе оксида алюминия, а в третьей главе решаются вопросы интенсификации процесса сверхкритической сушки аэрогелей на основе диоксида кремния. Почему принято такое решение?

3. Отсутствуют условные обозначения ряда величин в уравнениях (1) – (4) (стр.12).

Указанные замечания не ставят под сомнение обоснованность и достоверность результатов работы, которые достаточно полно опубликованы в российских и зарубежных научных журналах и апробированы на международных и российских конференциях.

**8. Отзыв на автореферат** кандидата технических наук, научного сотрудника АУС, НИЦ «Курчатовский институт» - **ИРЕА Никулиной Елены Аркадьевны**. Отзыв положительный. По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1. На стр.8 автореферата на рис.7 приведена схема методов интенсификации процесса сверхкритической сушки. Схема представлена в достаточно обобщенном виде, тогда как стоило конкретизировать информацию в отдельных блоках и указать параметры и показатели характерные именно для исследуемого процесса.

2. Во второй главе автореферата приведены результаты исследования фазового равновесия в системе в трехкомпонентной системе «эпихлоргидрин – этанол – вода» при получении аэрогелей на основе оксида алюминия. В дальнейшем все исследования по интенсификации процесса критической сушки приводятся с использованием аэрогелей на основе диоксида кремния. Из материалов автореферата не ясно каким образом были использованы результаты по изучению фазового равновесия, полученные во второй главе на этапах оптимизации и изучения интенсификации процесса критической сушки.

3. По данным автора диссертационной работы наложение ультразвукового поля является одним из эффективных приемов повышения интенсивности сверхкритической сушки. Однако в материалах автореферата не приведены сведения по техническим характеристикам воздействия, о каком диапазоне частот идет речь и в какие промежутки времени.



На все замечания Худеевым Илларионом Игоревичем 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:

**получены** новые закономерности в области энерго- и ресурсосбережения, интенсификации процесса сверхкритической сушки с применением различных режимно-технологических и аппаратурно-конструктивных методов;

**решена** научно-техническая задача интенсификации и оптимизации процесса сверхкритической сушки аэрогелей.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**предложены** общая схема интенсификации процесса сверхкритической сушки аэрогелей; методы интенсификации процесса сверхкритической сушки: оптимизация режимно-технологических параметров (расход диоксида углерода, температура, давление), импульсное изменение параметров процесса (давление), наложение полей (ультразвуковые колебания), интенсификация в соответствии с фазовыми диаграммами; метод расчета экономической эффективности процесса сверхкритической сушки, который включает математическую модель описания кинетики процесса сверхкритической сушки;

**разработана** математическая модель описания кинетики процесса сверхкритической сушки. В модели рассматривается массоперенос внутри геля, в пограничном слое геля и свободном объеме аппарата. Математическое описание применимо для гелей различных типов в форме цилиндров, сфер и плоскопараллельных тел. Математическая модель для описания гидродинамики, процессов тепло- и массопереноса в среде сверхкритических флюидов при ультразвуковом воздействии. Модель позволяет получить эпюры скоростей, распределения концентраций в каждой точке аппарата;

**доказана** адекватность математической модели описания кинетики процесса сверхкритической сушки;

**показана** возможность оптимизации процесса сверхкритической сушки с помощью разработанных математических моделей.

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

**показана** эффективность применения различных режимно-технологических и аппаратурно-конструктивных методов для интенсификации процесса сверхкритической сушки;

**разработана** компьютерная программа для описания кинетики процесса сверхкритической сушки. Данная программа может быть использована для исследования влияния как характеристик высушиваемого материала, так и параметров процесса на процесс сверхкритической сушки. Разработана компьютерная программа для оценки экономической эффективности процесса. Компьютерная программа была использована для оптимизации процесса сверхкритической сушки на пилотной установке объемом 70 л. Результаты могут быть применены непосредственно на производстве теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей компанией ООО «Ниагара»;

**создана** установка для проведения процесса сверхкритической сушки при ультразвуковом воздействии, что было осуществлено впервые для сушки аэрогелей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном аналитическом оборудовании с использованием современных научно-исследовательских методов и стандартизированных методик;

**теория** базируется на известных закономерностях механики сплошных сред;

**установлена** адекватность математической модели кинетики процесса сверхкритической



сушки с использованием программы, написанной на языке программирования Python.

**Личный вклад соискателя состоит во** включенном участии на всех этапах процесса, непосредственном участии в разработке установки для проведения процесса сверхкритической сушки при ультразвуковом воздействии; проведении экспериментальных исследований и их планировании; разработке математической модели и компьютерной программы расчета кинетики процесса сверхкритической сушки, компьютерной программы для оценки экономической эффективности процесса сверхкритической сушки; разработке математической модели описания гидродинамики, процессов тепло- и массопереноса в среде сверхкритических флюидов при ультразвуковом воздействии; в личном участии в апробации результатов исследования, обработке и интерпретации полученных результатов исследований, выполненных лично автором или при участии автора, а также в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий в части **формулы специальности:** «совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения», «создание эффективных технологических схем и производств на основе использования современных машин и аппаратов; изучение свойств и режимов функционирования вновь создаваемых химико-технологических систем»; **области исследования:** «фундаментальные разработки в изучении явлений переноса энергии и массы в технологических аппаратах», «способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах, исследования массообменных процессов и аппаратов», «методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод», «принципы и методы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем с оптимальными удельными расходами сырья, топливно-энергетических ресурсов и конструкционных материалов».

На заседании диссертационного совета РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева 28 января 2022 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Худееву Иллариону Игоревичу.

Присутствовало на заседании – 12 членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции – 6, в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – 5.

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

Результаты тайного голосования:

«за» – 6,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.

Проголосовали 6 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» – 6,

«против» – нет,

«воздержались» – нет.



**Итоги голосования:**

«за» – 12,  
«против» – нес,  
«воздержались» – нес.

Председатель диссертационного совета



д.т.н., профессор Глебов М.Б.

Ученый секретарь диссертационного совета



д.т.н., доцент Женса А.В.

Дата «28» января 2022 г.

