

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук  
аттестационное дело № 4/24  
решение диссертационного совета  
от 25 апреля 2024 г. № 3

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Моховой Елизавете Константиновне, представившей диссертационную работу на тему «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, принятой к защите «07» марта 2024 г., протокол №1 диссертационным советом РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом и.о. ректора РХТУ № 353 А от «08» сентября 2022 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом и.о. ректора РХТУ №437 А от «20» октября 2022 г. 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.

Соискатель Мохова Елизавета Константиновна 1998 года рождения, в 2022 году с отличием окончила магистратуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» диплом серия 107731 номер 0505234.

В 2022 году поступила в аспирантуру ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», научная специальность 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Соискатель с 2020 г. работает в РХТУ им. Д. И. Менделеева, в настоящий момент занимает должности ассистента кафедры химического и фармацевтического инжиниринга и по совместительству младшего научного сотрудника структурного подразделения кафедры химического и фармацевтического инжиниринга «Лаборатория разработки инновационных назальных и ингаляторных препаратов для лечения социальнозначимых заболеваний».

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий выполнена на кафедре химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» утверждена на заседании Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.09.2022 г. (протокол № 2). Тема диссертационной работы изменена на заседании Ученого совета факультета от 27.10.2023 г. (протокол № 12). Научный руководитель – доцент, доктор технических наук Гордиенко Мария Геннадьевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Рудобашта Станислав Павлович**, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», профессор кафедры «Теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий»;

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

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет».

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 22 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 5 публикациях в



изданиях, индексируемых в международных базах данных, в 1 публикации из перечня ВАК и в 16 публикациях в рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объёмом 163 страницы полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Результаты работы апробированы на 1 всероссийской и 8 международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 60-75% 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. Mokhova E., Gordienko M., Menshutina N. Mathematical model of freeze drying taking into account uneven heat and mass transfer over the volume of the working chamber // *Drying Technology*. – 2022. – Vol. 40, № 12. – P. 2470–2493. (**Web of Science, Scopus**).

2. Mokhova E., Gordienko M., Menshutina N., et al. Ultrasonic freezing of polymers of various compositions before freeze drying: Effect of ultrasound on freezing kinetics and ice crystal size // *Drying Technology*. – 2023. – Vol. 41, № 10. – P. 1663–1685. (**Web of Science, Scopus**).

3. Menshutina N., Abramov A., Mokhova E. Mathematical and computer modeling as a novel approach for the accelerated development of new inhalation and intranasal drug delivery systems // *Computation*. – 2023. – Vol. 11, № 7. – P. 136. (**Web of Science, Scopus**).

4. Mokhova E., Gordienko M., Menshutina N., et al. Influence of ultrasound on the properties of polysaccharide complexes and materials based on them // *Polysaccharides*. – 2023. – Vol. 4, № 3. – P. 189–207. (**Web of Science, Scopus**).

5. Mokhova E., Gordienko M., Menshutina N. Investigation of the effect of infrared and ultrasonic exposure on the kinetics of vacuum freeze-drying of polymeric materials. Part 1: Development of device and process control system // *Drying Technology*. – 2024. – P. 1–14. (**Web of Science, Scopus**). (Preprint).

6. Мохова Е.К., Гордиенко М.Г. Математическая модель вакуумной сублимационной сушки с неравномерным распределением паров по объему камеры // Программные продукты и системы. – 2021. – Т. 34, № 3. – С. 10. (**ВАК**).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Отзыв официального оппонента** – доктора технических наук по научной специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, профессора, профессора кафедры «Теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» **Рудобашты Станислава Павловича**. 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 диссертации дан обстоятельный обзор зарубежных работ по сублимационной сушке (в основном, химико-фармацевтических препаратов). Однако, количество отечественных работ по сублимационной сушке в списке литературы весьма ограничено. В частности, в нем отсутствуют ссылки на работы таких авторов, как Г.В. Семенов (сублимационная сушка пищевых материалов) и Д.П. Лебедев (сублимационная сушка медпрепаратов), которые активно занимались исследованиями в области сублимационной сушки. Работы по сублимационной сушке этих и других авторов докладывались на международных научно-практических конференциях «СЭТТ» и «СЭТМТ» (например, «СЭТТ-2005», «СЭТТ-2008», «СЭТТ-2023»), проводимых в России. Отметим, что коллектив под руководством профессора Г. В. Семенова в 2022 г. получил премию Правительства РФ «за создание и внедрение высокоэффективных технологий и оборудования для переработки и хранения сельскохозяйственного сырья, систем контроля и управления качеством пищевой продукции, обеспечивающей здоровье нации, импортозамещение и продовольственную безопасность России». В этой работе центральное место занимает именно сублимационная сушка пищевых материалов.



2. В главе 3 диссертант приводит результаты исследования кинетики заморозки и последующей вакуумной сублимационной сушки, с учетом ультразвукового воздействия. Приводятся результаты исследования для ультразвука с частотой 40 кГц и мощностью 50 Вт. Однако, исследование процесса заморозки и сушки при других параметрах ультразвука в диссертационной работе не представлены. Вполне возможно, что изменение частоты ультразвука будет способствовать более эффективному проникновению ультразвуковых волн через толщину материала.

3. В разделе 3.2.3 дан подробный анализ кинетики сушки для материалов различной структуры, а также сделаны соответствующие выводы о влиянии структуры и морфологии поверхности исследуемых образцов на кинетику сушки. Приводятся снимки сканирующей электронной микроскопии для ряда образцов на основе альгинат-хитозана и альгинат-желатина и дается подробный их анализ. Однако, не хватает снимков сканирующей электронной микроскопии для образцов на основе поливинилового спирта, для выявления влияния ультразвука на морфологию поверхности данного образца.

4. На опытных кривых вакуумной сублимационной сушки суспензии (образцы С2 и С3), приведенных на стр. 135 диссертации, начиная со времени примерно 700 мин наблюдается некоторое ускорение процесса. Из диссертации не ясно, чем оно вызвано. Или это неточность эксперимента?

5. Имеются неточности при формулировке граничных условий к дифференциальному уравнению теплопроводности на страницах 146-147 диссертации, а именно:

- коэффициент теплоотдачи  $h$  в уравнении (4.21) назван коэффициентом теплопередачи. Коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопередачи – разные коэффициенты.
- граничное условие при  $x = 0$  сформулировано в виде уравнения (4.23):

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h(T_{\text{стекло}} - T_{\text{низ}}) \quad (4.23)$$

в котором правая часть уравнения записана через уравнение теплоотдачи, причем указано, что коэффициент  $h$  находили через  $Nu$  по выражению (4.23):

$$h = \frac{Nu \lambda}{L} \quad (4.26)$$

Но уравнение теплоотдачи Ньютона описывает теплообмен между некоторой поверхностью (стенкой) и потоком газа или жидкости. В данном же случае поверхность материала контактирует с поверхностью твердого тела (стекла).

- автор на стр. 146 приводит критериальные уравнения (4.27) и (4.29) для расчета коэффициента теплоотдачи, но не указывает литературные источники, откуда они взяты. Для этих уравнений надо было также привести диапазоны изменения определяющих критериев подобия, в которых эти уравнения справедливы.

В заключении указано, что диссертационная работа Моховой Елизаветы Константиновны на тему «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача повышения энергоэффективности и увеличения производительности в сфере получения биополимерных материалов. Кроме того, был предложен способ интенсификации процесса вакуумной сублимационной сушки на каждой стадии технологического процесса: от предварительной заморозки до непосредственно самой сушки. Автором было проведено большое количество экспериментальных, аналитических и теоретических исследований. Мохова Елизавета Константиновна 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 «Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры» ФГБОУ ВО «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. Замечания по работе:

1. Формула (1.1) на с. 55 и следующая из нее формула (4.1) на с. 144 не учитывают конвективный перенос теплоты (свободную конвекцию) в объеме жидкости. Необходимо было выполнить хотя бы оценку вклада свободной конвекции.

2. Уравнение (1.10) предполагает ламинарный режим фильтрации. Выполнялась ли проверка режима для водяного пара?

3. Таблица 3.1 на с. 90 содержит избыточное количество значащих цифр (6 для скорости звука, 7 для интенсивности ультразвука, 8 для давления). Такая точность вряд ли подкреплена высокоточными исходными данными.

4. Рис. 4.1. Если ось абсцисс – время, то положение фронта замерзания на оси ординат должно меняться со временем.

5. В формулах (4.21), (4.23) фигурируют различные коэффициенты  $\lambda$  и  $h$ , поэтому им должны быть присвоены разные индексы. То же относится к числам Нуссельта в уравнениях (4.25), (4.26). В формулах (4.21), (4.23) не определены переменные  $T_{\text{возд}}$ ,  $T_{\text{пов}}$ ,  $T_{\text{стекло}}$ ,  $T_{\text{низ}}$ .

6. Если формула (4.26) описывает теплоотдачу от поверхности стеклянной чашки Петри к массе льда, почему использована теплопроводность стекла?

7. Если формула (4.23) описывает зону контакта поверхности стеклянной чашки Петри и массы льда в нижней части охлаждаемой массы, то здесь должны быть сформулированы граничные условия четвертого рода для контакта твердых тел.

8. Коэффициент  $h$  в уравнении (4.21) является коэффициентом теплоотдачи, а не теплопередачи.

9. В диссертации не указано, к какой зоне — жидкостной или твердой относится уравнение (4.27) для расчета числа Нуссельта.

10. Из материалов диссертации не очевидно, доказан ли количественно синергетический эффект от инфракрасного нагрева и ультразвукового воздействия при вакуумной сублимационной сушке (п. 3.2.2).

11. На с. 147 фраза «дифференциальные уравнения решались методом конечных разностей» не раскрывает конкретно использованные методы, их устойчивость и точность.

12. В работе имеются немногочисленные опечатки (с. 87, 110, 114), стилистические ошибки, а также незначительные недочеты при оформлении таблиц, рисунков и списка литературы.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Моховой Елизаветы Константиновны «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» 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», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 10300Д. Автор диссертации – Мохова Елизавета Константиновна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

**3. Отзыв ведущей организации – ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет».** 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. Автором проведен глубокий анализ научно-технической литературы в исследуемой области. Однако, среди источников преобладают публикации иностранных авторов, а среди публикаций на русском языке – авторы, связанные с РХТУ им. Д.И. Менделеева, полностью проигнорирована научная школа Московского института химического машиностроения, также



много занимавшаяся вопросами вакуумной сублимационной сушки, в том числе – биологических материалов. Вероятно, автору бы следовало упомянуть работы А.З. Волинца, С.М. Бражникова и Н.С. Трутнева.

2. На рисунке 2.5 – Распределение кристаллов льда по размерам для исследуемых образцов условно гомогенных материалов приведены гистограммы, которые аппроксимируются нормальным распределением, причём для образцов Хт и Алг-Хт эта аппроксимация плохо подходит. В дальнейшем в работе в явном виде эта аппроксимация не используется и непонятно зачем она вообще была приведена.

3. В главе 4 диссертационной работы приводятся результаты апробации математической модели кинетики вакуумной сублимационной сушки на пилотной установке Labconco. В качестве рекомендации или перспективы дальнейших разработок необходимо рассмотреть кинетику процесса сушки на установках промышленного масштаба.

4. В работе имеются ряд опечаток и явных технических ошибок (приведенный в разделе 1.4.2 диапазон длин волн относится не к инфракрасному, а к видимому излучению и т.д.), тем не менее, не затрудняющих понимание проделанной работы и полученных результатов.

В заключении отмечено, что диссертационная работа Моховой Елизаветы Константиновны. на тему: «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» 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», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на разработку материалов различной структуры и интенсификацию процесса вакуумной сублимационной сушки. Автор работы, Мохова Елизавета Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий. Отзыв заслушан и обсужден на заседании кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» (протокол № 62-23/24 от 29.03.2024).

Отзыв утвержден: кандидатом технических наук, проректором по научной работе ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» Наливайко Антоном Юрьевичем; кандидатом технических наук, деканом факультета химической технологии и биотехнологии Московского политехнического университета, председателем заседания Соколовым Андреем Сергеевичем; кандидатом технических наук, секретарем факультета химической технологии и биотехнологии Московского политехнического университета, секретарем заседания Угольниковой Марией Андреевной.

**4. Отзыв на автореферат** доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой общетехнических дисциплин Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» **Завалия Алексея Алексеевича**. Отзыв положительный. При анализе автореферата возникли следующие замечания:

1. в работе не был исследован процесс предварительной заморозки с ультразвуковым воздействием для материалов с условно гетерогенной структурой.

2. при описании тестов ВСС образца сПВС автор приводит описание режимов как «передача тепла от нагревательной полки – 1» и «передача тепла от нагревательной полки – 2», однако, из текста автореферата не ясно, в чем разница между исследуемыми режимами.

3. в представленных уравнениях 11-17 не прописаны уравнения для описания влияния ультразвукового и инфракрасного воздействия во время процесса ВСС; было ли учтено влияние ультразвукового и инфракрасного воздействия при математическом описании.

4. автор в своей работе исследует применение импульсного воздействия ультразвуком частотой 40 кГц и мощностью 50 Вт; из текста автореферата не ясно, чем обусловлен выбор



данных параметров.

Несмотря на предъявленные к автореферату замечания, данная работа является завершённой, выполненной на высоком научном уровне. Автореферат по структуре и содержанию свидетельствует о том, что диссертация соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Автор, Мохова Елизавета Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

**5. Отзыв на автореферат** доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории разработки инновационных лекарственных средств и агробιοтехнологий, ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» **Бирюкова Станислава Анатольевича**. Отзыв положительный. Работа представляет собой объемное комплексное исследование, однако имеется ряд замечаний по содержанию автореферата:

1. В автореферате не отражено по каким признакам материал относят к тому или иному выделенному типу структуры: условно гомогенному, условно гетерогенному и структурированному ультразвуком на этапе заморозки.

2. В разделе «Методология и методы исследования» автор упоминает применение методов культивирования клеток и определения цитотоксичности материалов, однако далее в автореферате не описаны цели и результаты данных исследований.

Сделанные замечания не снижают ценность диссертационной работы. Диссертация полностью соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Мохова Е.К. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

**6. Отзыв на автореферат** доктора биологических наук, профессора РАН, член-корр. РАН, заместителя директора по медбиотехнологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора **Алешкина Андрея Владимировича**. Отзыв положительный.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В автореферате присутствуют некоторые опечатки.

2. В третьей главе – представлен рисунок установки для проведения вакуумной сублимационной сушки, в пояснении к которому отсутствуют элементы под номерами 11 и 18. Также на рисунке указан генератор ультразвука под номером 19, а в пояснении к нему номер 19 – это реле переключения.

3. В пятой главе – проведен анализ экономической эффективности процесса вакуумной сублимационной сушки на примере производства 492 кг высушенной продукции. Из автореферата не понятно откуда взялось именно это значение, связано ли оно с конкретной установкой или с конкретными производственными мощностями.

Представленные выше замечания не влияют на общее высокое качество работы. Содержание автореферата диссертации полностью соответствует паспорту заявленной специальности и Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Автор диссертационной работы, Мохова Елизавета Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий.

**7. Отзыв на автореферат** кандидата технических наук, главного инженера



ООО «БиоДжет» Диденко Александра Алексеевича. Отзыв положительный.

По автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. На странице 10 автореферата приведены результаты исследований ВСС образцов сПВС при шести режимах и образцов Алг-Хт и Алг-Хт-УЗ при четырех режимах. Однако сами режимы не описаны полностью, в частности не приводятся значения режимов нагрева ни в табличном, ни в графическом виде.

2. В качестве исследования структуры получаемых после завершения процесса ВСС материалов приводятся только микрофотографии. Этого недостаточно, чтобы в полной мере оценить влияние ультразвукового воздействия на получаемый материал.

Представленные выше замечания не влияют на общее высокое качество работы. По своему содержанию и оформлению автореферат диссертации соответствует паспорту заявленной специальности и Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор, Мохова Елизавета Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

**8. Отзыв на автореферат** кандидата технических наук, доцента, заместителя заведующего Кафедрой процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И. Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российского технологического университета», **Таран Юлии Александровны.** Отзыв положительный.

По тексту автореферата диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, где осуществлялась заморозка образцов: на схеме установки (рисунок 5) охлаждающий контур конденсора не связан с полкой, на которой расположен образец; на температурных кривых, представленных в автореферате (рисунки 6 и 7), период заморозки отсутствует.

2. Соискатель на стр. 13 пишет, что учет неравномерного распределения водяных паров по объемам рабочих камер лиофилизаторов позволил исследовать влияние градиентов давления на скорость процесса вакуумной сублимационной сушки. Однако автор не поясняет, какие именно выводы были сделаны на основании данных исследований.

3. При расчете кинетики сушки структурированного материала предполагается поочередное вертикальное расположение двух компонентов: полимера и воздуха в объеме всего каркаса (рисунок 11). Каким образом определены размеры чередующихся зон и каково их соотношение? На представленных фотографиях (рисунок 11) полости в несколько раз шире стенок материала, структурированного ультразвуком, а на схеме их ширина равнозначна.

Представленные выше замечания не влияют на общее высокое качество работы. По своему содержанию и оформлению автореферат диссертации соответствует паспорту заявленной специальности и Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор, Мохова Елизавета Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

**9. Отзыв на автореферат** кандидата технических наук, ведущего эксперта Курчатовского комплекса химических исследований (ККХИ (ИРЕА)) отдела органических технологий, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», **Никудиной Елены Аркадьевны.** Отзыв положительный.

По автореферату имеются следующие замечания:



1. В материалах второй главы автореферата не приведено обоснование на основе каких факторов была проведена и предложена классификация типов материалов и почему применялись формулировки «условно-гомогенный» и «условно-гетерогенный» по отношению к материалам – объектам ВСС.

2. В третьей главе, в описании конструкций разработанных установок для проведения заморозки и сушки с ультразвуковым воздействием отсутствуют данные об их производительности и характеристики используемого оборудования.

3. Также в автореферате не приведено обоснование выбранных значений параметров наложения ультразвукового поля (40000 Гц, 50 Вт).

4. В целом предполагается логичным в материалы автореферата включить краткие выводы сравнительного анализа о влиянии наложения внешних полей – ультразвукового и ИК в процессах заморозки и сушки на все исследуемые образцы материалов согласно предложенным типам.

Представленные выше замечания не влияют на общее высокое качество работы. По своему содержанию работа соответствует паспорту заявленной специальности и требованиям к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мохова Елизавета Константиновна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

На все замечания Моховой Елизаветой Константиновной 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:

**исследованы** способы интенсификации вакуумной сублимационной сушки на различных этапах ведения процесса: изучено влияние ультразвука на кинетику заморозки и последующей вакуумной сублимационной сушки; исследовано влияние градиентов давления, а также инфракрасного излучения и ультразвукового воздействия на кинетику вакуумной сублимационной сушки;

**решена** научно-техническая задача интенсификации процесса вакуумной сублимационной сушки за счет проведения этапа предварительной заморозки с ультразвуковым воздействием, а этапа сушки с одновременным ультразвуковым воздействием и инфракрасным излучением.

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

**представлены** результаты теоретического исследования кинетических кривых заморозки и вакуумной сублимационной сушки биополимерных материалов при различных параметрах. Установлено влияние параметров ведения процесса на кинетику вакуумной сублимационной сушки на различных стадиях: предварительной заморозки и непосредственно сушки. Полученные данные позволяют сократить время и ресурсы, необходимые для проведения процесса вакуумной сублимационной сушки;

**разработаны** математическая модель описания кинетики заморозки полимерных материалов, в том числе с учетом ультразвукового воздействия;

**предложен** подход для учета особенностей строения материала при расчете скорости тепло- и массопереноса в процессе ВСС, заключающийся в различном расположении компонентов материала и распределении физико-химических свойств в расчетной области. Разработана математическая модель для расчета ВСС материалов различной структуры с учетом неравномерного распределения водяных паров по объему рабочей камеры. Полученные данные могут быть использованы для исследования интенсификации процесса вакуумной сублимационной сушки биополимерных материалов.



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

*апробированы* методики получения материалов, в количестве 17 различных образцов, которые могут быть использованы как матриксы или подложки для культивирования клеток, а также как системы доставки лекарственных препаратов;

*разработан* и зарегистрирован ряд программ для ЭВМ, позволяющих рассчитать кинетику заморозки и вакуумной сублимационной сушки. ПО может использоваться для подбора режимов ведения процесса;

*представлен* и проанализирован большой объем данных по кинетике замораживания и вакуумной сублимационной сушке материалов различной структуры (81 эксперимент). Даны рекомендации по проведению процесса вакуумной сублимационной сушки с ультразвуковым и инфракрасным воздействием;

*предложена* конструкция установки для проведения процесса предварительной заморозки с ультразвуковым воздействием.

*предложена* конструкция установки для проведения вакуумной сублимационной сушки с одновременным инфракрасным и ультразвуковым воздействием в объеме рабочей камеры, с целью интенсификации процесса, что было осуществлено впервые для вакуумной сублимационной сушки полимерных матриксов и суспензий. Результаты подтверждены Патентом RU 218559 от 31.05.2023 г.;

*проведен* анализ экономической эффективности процесса ВСС. Подтверждено сокращение энергетических затрат при организации процесса с инфракрасным излучением и ультразвуковым воздействием в установках лабораторного и промышленного масштабов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*обоснованность* экспериментальных результатов, которые подтверждаются значительным объемом аналитических исследований;

*использование* автором современных научно-исследовательских методов, аналитических методов и стандартизированных методик;

*обоснованность* результатов, которая подтверждается соответствием данных, полученных в результате экспериментальных исследований, общепринятым теоретическим положениям;

**Личный вклад соискателя состоит** в участии на всех этапах процесса: в постановке и реализации задач исследований, в планировании и проведении экспериментальных и аналитических работ, а также в обработке полученных результатов; проведение разработки математических моделей и компьютерных программ для расчета кинетики заморозки и вакуумной сублимационной сушки; систематизации, интерпретации и оценки полученных результатов, формулировке выводов, подготовке материалов для публикаций и представления результатов исследований на российских и международных научных мероприятиях.

**Работа соответствует** паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий по своей теме, содержанию и методам исследования в части **направления исследований:** «фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах», «способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах», «способы, приемы, методология исследования химических, тепловых, массообменных и совмещенных процессов, совершенствование их аппаратного оформления», «способы, приемы, методология изучения нестационарных режимов протекания процессов в химической аппаратуре, в том числе с целью формирования предпосылок эффективного управления и автоматизации», «методы и способы интенсификации химико-технологических процессов, в том числе с помощью физико-химических воздействий на перерабатываемые материалы».

Диссертационная работа Моховой Е.К. на тему «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриксов и суспензий)» полностью соответствует пунктам Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном



образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача повышения энергоэффективности процесса вакуумной сублимационной сушки и увеличения производительности в сфере получения биополимерных материалов.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева 25 апреля 2024 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Моховой Елизавете Константиновне.

Присутствовало на заседании – 14 членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции – 0, в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – 6.

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

Результаты тайного голосования:

«за» – 14,  
«против» – 0.

Проголосовали 0 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» – —,  
«против» – —.

**Итоги голосования:**

«за» – 14,  
«против» – нет.

Председатель диссертационного совета

 д.т.н., профессор Глебов М.Б.

Ученый секретарь диссертационного совета

 к.т.н., доцент Василенко В.А.

Дата «25» апреля 2024 г.

