



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
[ИНН/КПП 7719455553/771901001](http://INN/КПП 7719455553/771901001)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский политехнический
университет», кандидат технических
наук

« 9 » апреля 2024 г.

Наливайко А.Ю.

Отзыв ведущей организации

**Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский политехнический университет»**
на диссертацию Моховой Елизаветы Константиновны, тема
«Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов
различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)»,
научная специальность 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий
(технические науки)

Актуальность темы диссертации

Развитие наукоемких технологий, разработка новых востребованных промышленностью материалов являются важнейшими задачами развития Российской Федерации. В частности, это относится к разработке и получению новых полимерных материалов, к которым непосредственно относятся биополимерные матрицы и дисперсные системы, такие как микропорошки, содержащие активные фармацевтические ингредиенты. Востребованность данных материалов объясняется необходимостью обеспечения различных сфер медицины и биотехнологии достаточным количеством новых материалов, способных решить широкий спектр задач от культивирования клеток в пористой матрице и восстановления пораженных участков тканей, до таргетной доставки лекарственных препаратов на основе микропорошков для лечения социально значимых заболеваний. Одним из способов получения высокопористых полимерных и дисперсных материалов является вакуумная сублимационная сушка, включающая стадии предварительной заморозки и непосредственно сушки. Все указанные этапы рассмотрены в рассматриваемой

диссертационной работе и с фундаментальной, и с прикладной точек зрения. Автор работы подчеркивает актуальность интенсификации процесса вакуумной сублимационной сушки на каждой стадии.

Полученные в ходе диссертационной работы Моховой Е.К. результаты являются актуальными и перспективными, они вносят значительный вклад в развитие технологий получения новых биodeградируемых композиционных и дисперсных полимерных материалов, а также технологию вакуумной сублимационной сушки. Перспективным представляется внедрение полученных результатов в промышленность.

Научная новизна диссертации

Выделены три основных типа материалов, пригодных для вакуумной сублимационной сушки, и исследована взаимосвязь между структурой материала и кинетикой его сушки.

Предложены способы интенсификации стадии предварительной заморозки с применением мощного ультразвукового воздействия, приводящего к «лавиному» зародышеобразованию, и стадии вакуумной сублимационной сушки, проводимой с одновременным инфракрасным и ультразвуковым воздействием.

Разработаны математические модели кинетики замораживания и вакуумной сублимационной сушки.

Предложен подход для учета особенностей строения материала при расчете скорости тепло- и массопереноса в процессе вакуумной сублимационной сушки, заключающийся в различном расположении компонентов материала и распределении физико-химических свойств в расчетной области.

Проведены расчеты распределения водяного пара в объемах лабораторного и промышленного лиофилизаторов для выявления зависимости скорости сушки материалов, находящихся на различном удалении от конденсатора водяного пара.

Практическая значимость диссертации

Практическая ценность результатов работы заключается в разработке ряда конструктивных решений, направленных на интенсификацию вакуумной сублимационной сушки на каждой стадии процесса.

Результаты разработки конструкции вакуумной сублимационной сушки с одновременным инфракрасным и ультразвуковым воздействием защищены патентом (патент РФ № 218559).

Автором разработана система управления процессом вакуумной сублимационной сушки, зарегистрирована программа, использованная при проведении экспериментов по исследованию кинетики сушки материалов различной

структуры, зарегистрирован ряд программ для ЭВМ, позволяющих рассчитывать кинетику заморозки и вакуумной сублимационной сушки.

Кроме того, автором предложен оригинальный подход при проведении расчетов кинетики вакуумной сублимационной сушки, заключающийся в различном расположении компонентов материала и распределении физико-химических свойств в расчетной области.

Рекомендации к практическому использованию результатов

Полученные в диссертационной работе оригинальные результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для последующего внедрения в производство. В особенности это относится к способу проведения процесса вакуумной сублимационной сушки с одновременным инфракрасным и ультразвуковым воздействием. Это позволит снизить себестоимость получаемой продукции, в частности, высокопористых полимерных материалов и микропорошков.

Указанные результаты могут быть в дальнейшем апробированы в таких компаниях и предприятиях как: завод сублимационной сушки «Mazurin», лаборатории сублимационной сушки на базе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», ООО «Галактика Инк», ООО «Белкозин», ЗАО «Зеленая дубрава».

Полученные результаты фундаментальных исследований: изучение кинетики фазовых переходов, зависимости «структура-функциональное свойство» при получении широкого спектра материалов различной структуры востребованы для развития вакуумной сублимационной технологии и технологий получения новых биodeградируемых композиционных и дисперсных полимерных материалов.

Теоретические и практические положения диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведений при обучении студентов по следующим направлениям: «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Наноинженерия», «Химическая технология».

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Достоверность результатов и обоснованность выводов диссертационной работы Моховой Е.К. подтверждаются значительным объемом экспериментальных данных, полученных с помощью современного оборудования и признанных методик исследования свойств материалов.

Полученные в ходе работы результаты не противоречат данным современной научно-технической литературы. Кроме того, работа была апробирована на международных и российских научно-практических конференциях. По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, из них 5 в журналах, индексируемых

в международных базах данных Web of Science и/или Scopus, и 1 статья из перечня ВАК Получен 1 патент и 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Основное содержание работы

Диссертационная работа хорошо структурирована и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 194 наименований, 5 приложений. Общий объем работы составляет 241 страницу печатного текста, включая 35 таблиц и 94 рисунка.

Во *введении* представлены актуальность работы, обоснованы практическая значимость и научная новизна исследуемой темы, сформулированы цель и основные задачи работы, описан личный вклад автора и приведены основные положения работы, выдвигаемые на защиту. Отмечено, что диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания.

Первая глава включает анализ научно-технической литературы, в котором автор рассматривает способы получения, области применения и основные характеристики композиционных и дисперсных полимерных материалов; процесс вакуумной сублимационной сушки на различных стадиях и способы их интенсификации, основные уравнения, описывающие тепло- и массоперенос на стадиях заморозки и последующей вакуумной сублимационной сушки.

Вторая глава содержит информацию о полученных образцах, а также результаты экспериментальных исследований стадии предварительной заморозки и описание различных аналитических методов, включая оборудование, применяемые в диссертационной работе.

В третьей главе приведены конструкции установок, применяющиеся для ведения процесса предварительной заморозки и вакуумной сублимационной сушки, описаны принципы их работы; приведены результаты исследования кинетики предварительной заморозки и вакуумной сублимационной сушки, а также результаты аналитических исследований полученных образцов.

В четвертой и пятой главах автор сосредотачивается на математическом моделировании стадий предварительной заморозки и вакуумной сублимационной сушки (на различных уровнях: лабораторный и промышленный), с применением оригинальных подходов, а также на оценки энергоэффективности процесса сушки, реализуемого при различных режимах.

Заключение содержит основные результаты работы и выводы.

Замечания по работе

Работа Моховой Е.К. обладает внутренним единством, логикой, содержит обоснованные заключения, и выполнена на высоком научном уровне. Автореферат полностью отражает основные результаты диссертации. Тем не менее, к работе есть ряд замечаний:

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. Волынца, 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.

Приведенные замечания не снижают общую положительную оценку данной диссертационной работы и носят в основном дискуссионный или рекомендательный характер.

Общая характеристика работы и соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий в части: «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 аппаратурного 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».

Отзыв заслушан и обсужден на расширенном заседании кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» (протокол № 62-23/24 от 29.03.2024).

Заключение

Диссертационная работа Моховой Елизаветы Константиновны на тему: «Интенсификация и моделирование вакуумной сублимационной сушки материалов различной структуры (на примере биополимерных матриц и суспензий)» 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. № 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.

Председатель заседания

Декан факультета
химической технологии и
биотехнологии Московского
политехнического
университета,
к.т.н.

Соколов А.С.

Секретарь заседания



Угольников М.А.

ПОДПИСЬ Соколов А.С.
Угольниковой М.А. заверяю

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПОГОРЕЛОВА А.В.