

На правах рукописи



БЫШОВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань, 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ).

Научный консультант:

доктор технических наук, доцент,
Каширин Дмитрий Евгеньевич

Официальные оппоненты:

Сторчевой Владимир Федорович,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Московский авиационный институт»,
профессор кафедры «Теоретическая
электротехника»

Киров Юрий Александрович доктор
технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Самарский государственный аграрный
университет», профессор кафедры
"Сельскохозяйственные машины и механизация
животноводства"

Ряднов Алексей Иванович, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Волгоградский государственный аграрный
университет», профессор кафедры
"Эксплуатация и технический сервис машин в
АПК"

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ
ВИМ)

Защита диссертации состоится «09» июля 2025 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Пчеловодство – важнейшая отрасль сельского хозяйства, неразрывно связанная с растениеводством и животноводством. По мнению многих исследователей, экономический эффект от увеличения опыляемых ресурсов земледелия в десятки раз превышает стоимость всех продуктов пчеловодства. Поэтому каждая аграрноразвитая страна реализует экономическую программу, направленную на поддержание популяции пчел. При любой существующей в настоящее время технологии содержания пчел необходим пчелиный воск. Воск, по сути, является сырьем для пчеловодства, так как на его основе в промышленных масштабах изготавливается вощина. При использовании современных зарубежных технологий потребность в воске значительно возрастает, так как даже искусственные пластиковые соты перед внесением в пчелиную семью полностью покрывают воском. От общего объема воска, получаемого пчеловодами, 60-70% возвращается в пчеловодство, а остальные 30-40% находят широкое применение в различных отраслях промышленности.

По данным международного исследования, структура промышленного использования воска следующая: 40% воска требуется для производства косметики, 30% для фармакологической промышленности, 30% остальные производственные сферы.

Большинство веществ, содержащихся в воске, имеет сложную молекулярную структуру, что не позволяет искусственно синтезировать их в требуемых количествах. В настоящее время 80-90% воска получают путём перетопки воскового сырья в условиях пасеки. Восковым сырьем изначально являются выбракованные соты, которые, как правило, сильно загрязнены пергой и ульевым сором, что делает их непригодными для дальнейшего использования в пчеловодстве по прямому назначению. Остальные 10-20% воска получают из отходов пчелохозяйств (пасечных вытопок) путем промышленной переработки. Воск, получаемый из отходов промышленным способом, не является кондиционным, и поэтому находит ограниченное применение.

Значительные потери воска до 60% от его содержания в восковом сырье возникают в результате наличия большого количества органических загрязнений, которые при перетопке старых, выбракованных сотов химически и физически связываются с воском и приводят к его порче и потере. Разработка технических устройств, обеспечивающих удаление загрязнений из воскового сырья перед тепловой переработкой, представляется весьма актуальной научно-технической задачей, имеющей важное значение для механизации пчеловодства в агропромышленном комплексе Российской Федерации.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами исследования технологических процессов переработки воскового сырья, а также вопросами измельчения и очистки продуктов от органических загрязнений занимались С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, А.С. Дорохов, А.Ю. Измайлов, В.Ф. Сторчевой, Д.Е. Каширин, Ю.А. Киров, Ю.Ф. Лачуга, Я.П. Лобочевский, А.В. Сибирев, Н.Б. Нагаев, Г.В. Новикова, В.Ф. Некрашевич, А.И. Ряднов, А.В. Шевелев, А.В. Шемякин, В.А. Темнов, И.А. Успенский, О.А. Федорова, И.А. Юхин и другие авторы и ученые.

Работа выполнена в соответствии с планами НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011-2015 гг. по теме «Совершенствование энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. рег. 01201174434) и НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве (№ гос. рег. АААА-А16-116060910025-5), а также НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 гг. «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий», подраздел 1.2.5 «Совершенствование энергосберегающих способов и технических средств переработки продуктов пчеловодства» (рег. № НИОКТР 122020200038-8).

Несмотря на наличие значительного исследовательского материала, не решенным остается вопрос повышения чистоты воска и сортности сырья за счет удаления содержащихся в нем загрязнений до его перетопки.

Научная гипотеза. Увеличение выхода воска и повышение его чистоты возможно достичь применением технических устройств, удаляющих органические загрязнения из воскового сырья.

Цель исследований.

Повышение чистоты и полноты выхода воска из его воскового сырья.

Для выполнения цели исследования поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать механизированные способы очистки воскового сырья
2. Исследовать физико-механические свойства составляющих воскового сырья
3. Теоретически обосновать параметры устройств очистки воскового сырья
4. Экспериментально исследовать и уточнить параметры устройств очистки воскового сырья
5. Исследовать представленные устройства в производственных условиях и оценить технико-экономический эффект.

Объекты исследования технологические процессы устройств очистки воскового сырья от загрязнений, включающие его измельчение, растворение органических загрязнений из измельченной массы в воде при механическом перемешивании, а также гидровибрационную очистку целых пчелиных сотов.

Предмет исследований – закономерности технологических процессов очистки воскового сырья от органических загрязнений.

Научную новизну работы составляют установленные теоретические и экспериментальные зависимости, обосновывающие параметры устройств гидровибрационной очистки воскового сырья, его измельчения и растворения органических загрязнений. Новизна технических решений подтверждается 6 патентами РФ.

Теоретическую значимость работы составляют установленные математические зависимости, позволяющие рассчитывать параметры технических устройств гидровибрационной очистки целых пчелиных сотов от органических загрязнений и их растворения в воде, а также измельчения воскового сырья.

Практическая значимость работы заключается в возможности использовать полученные теоретические и экспериментальные математические модели при обосновании параметров предложенных устройств, увеличивающих количество выхода воска.

Методы исследований. Теоретические исследования построены на основе теории вероятностей, теоретической механики, теории гидродинамики и сопротивления материалов. При выполнении экспериментальных исследований использовали стандартные и частные методики, основанные на математической статистике и физике.

Использованы методы эмпирического исследования, методы математического анализа и обработки статистических данных (дисперсионный и регрессионный анализы).

Расчет экономического эффекта выполнен в соответствии с ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Теоретические расчеты проведены при помощи прикладных программ Mathcad 15.0 и STATISTICA 10.0.1011.

Положения, выносимые на защиту:

1. Требования к техническим устройствам на основе анализа способов и средств очистки воскового сырья от органических загрязнений, результаты исследования свойств перерабатываемых продуктов.

2. Результаты теоретического обоснования и экспериментального уточнения параметров устройств очистки воскового сырья, включающих

гидровибрационную водную очистку выбракованных пчелиных сотов, измельчение сотов и диспергирование в воде органических загрязнений.

3. Результаты исследования устройств очистки воскового сырья в производственных условиях и оценка технико-экономического эффекта от их использования.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, имеющими достаточную сходимость результатов, применением в исследованиях сертифицированного оборудования, стандартных методик статистической обработки данных экспериментальных исследований с применением пакетов прикладных программ Excel MS Office 2019, Mathcad 15.0 и STATISTICA 10.0.1011. Сходимость теоретических и экспериментальных результатов исследования составляет более 95%. Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Реализация результатов исследований. Разработанные способы и устройства очистки воскового сырья и целых пчелиных сотов внедрены в пчеловодческих хозяйствах на территории Российской Федерации (ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», КФХ «Бортники» (д. Синьково) Рыбновского района Рязанской области), а также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО РГАТУ и ФГБОУ ДПО МИПКА.

Личный вклад соискателя состоит в обозначении научной задачи, формулировании научной гипотезы, цели и задач исследований, разработке направлений и плана теоретических и экспериментальных исследований, организации их проведения, обработке и анализе полученных результатов, разработке лабораторных установок и опытно-производственных образцов устройств очистки воскового сырья и целых пчелиных сотов, их испытании в производственных условиях для определения технико-экономических показателей и обоснования экономического эффекта их внедрения в производство.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях различного уровня: Международной научно-практической конференции «Образование, наука, практика: инновационный аспект», Пенза, 05-06 февраля 2015 г.; Международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства», Воронеж, 25 декабря 2015 г.;

Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы», Саранск, 24-25 мая 2016 г.; 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», Рязань, 26-27 апреля 2017 г.; Всероссийской научно-практической конференции «Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности», Орел, 29 ноября 2017 г.; Международном молодежном аграрном форуме «Аграрная наука в инновационном развитии АПК», Мичуринск, 08-10 ноября 2017 г.; X Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Наука молодых – инновационному развитию АПК», Уфа, 05 декабря 2017 г.; Национальной научно-практической конференции «Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса», Рязань, 14 декабря 2017 г.; Международной научно-практической конференции молодых ученых «Наука и инновации: векторы развития», Барнаул, 24-25 октября 2018 г.; Международной научно-практической конференции «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК», Мичуринск, 24-26 октября 2018 г.; Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы применения инженерной науки», Рязань, 20 февраля 2019 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 58 печатных работах, в том числе 13 в журналах из перечня ВАК РФ, 6 патентах РФ на изобретение. Общий объем публикаций по теме диссертации составил 21,2 п.л., из них соискателю принадлежит 17,6 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 321 источника, в том числе 8 на иностранных языках и 17 приложений. Работа изложена на 297 страницах, содержит 83 рисунка и 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности диссертации, обозначены цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость выполненной работы. Определены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» Рассмотрены вопросы применения воска в пчеловодстве и различных отраслях промышленности. Приведены основные требования, предъявляемые к воску и восковому сырью. Проанализированы известные методики классификации воскового сырья. Выполнен анализ современных способов получения воска и

применяемого при этом оборудования. Предложена классификация способов очистки воскового сырья до тепловой переработки.

Установлено, что не решенным вопросом, возникающим при получении воска из воскового сырья непосредственно на пасеках, является его засоренность органическими загрязнениями. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе «Предлагаемые механизированные способы очистки воскового сырья от загрязнений» описаны известные методики оценки качества воскового сырья. Проведен анализ эффективности очистки воскового сырья известными способами.

Представлены предлагаемые способы очистки воскового сырья. Способ, новизна которого подтверждена патентом РФ №2656968 предполагает проведение очистки загрязненного воскового сырья в воде путем его перемешивания после отделения от рамок и измельчения.

Данный способ направлен на очистку загрязненного на 30% и более сырья, так как в результате измельчения площадь контакта загрязнений и воды многократно увеличивается.

Предложен способ очистки пчелиных сотов от загрязнений до 30%, новизна которого подтверждена патентом РФ №2662169. Способ предполагает проведение очистки сотов в рамках, под действием вибрации в водной среде.

Данный способ направлен на минимизацию количества технологических операций.

Для выполнения предложенных способов разработано устройство (патент РФ №2672403, патент РФ №2708918), последовательно выполняющее измельчение воскового сырья и растворение (диспергирование) в воде из измельченной массы органических загрязнений, а также устройство, предназначенное для проведения гидровибрационной очистки загрязненных сотов (патент РФ №2634432).

Предложена классификация механизированных способов очистки воскового сырья (рис. 1).

В третьей главе «Исследование физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в них загрязнений» приведены методики и результаты лабораторных исследований: по определению объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава; исследование растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий; исследование влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, на выход воска.

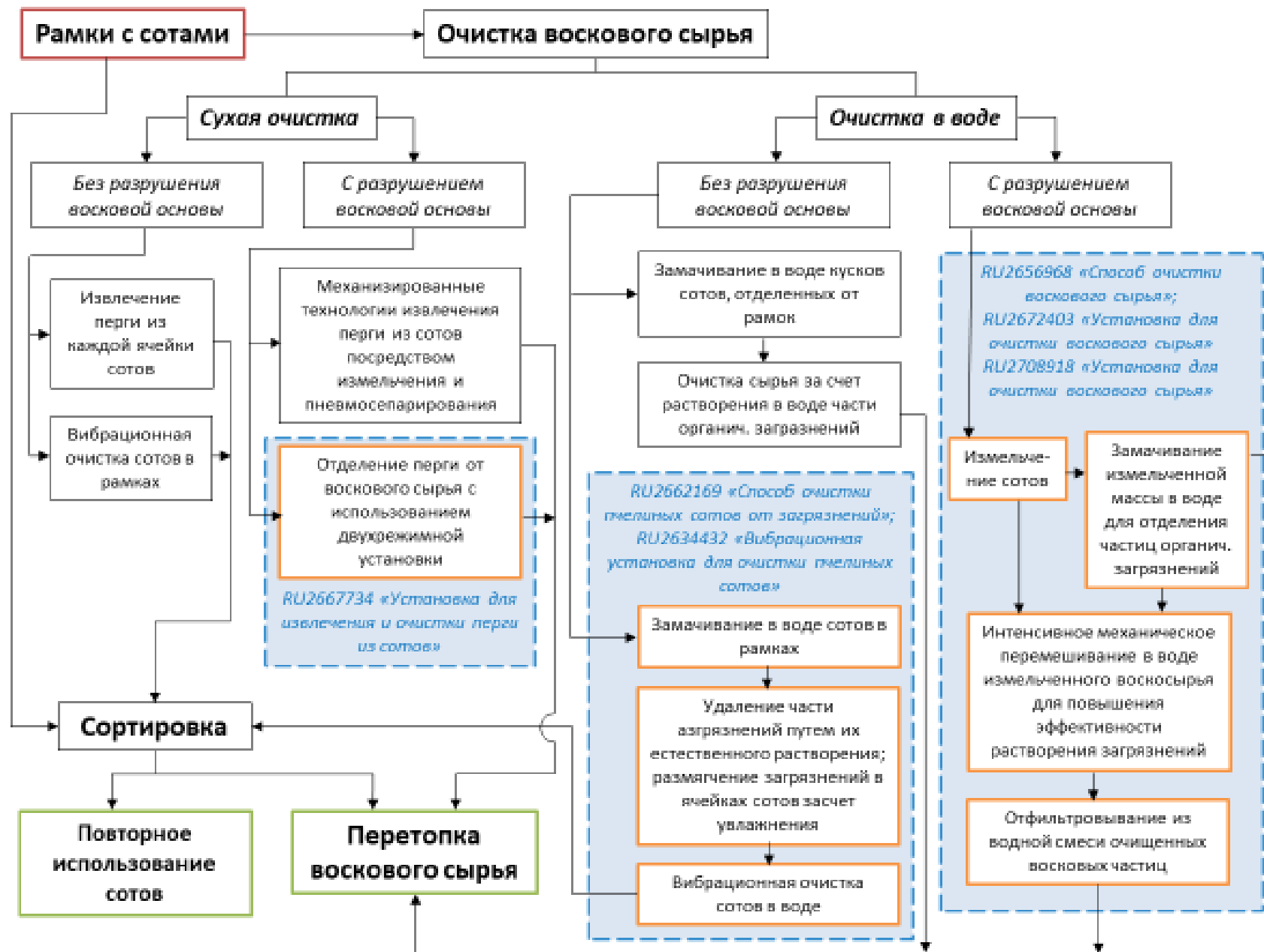


Рисунок 1 – Классификация известных и предлагаемых способов очистки воскового сырья

Для количественной оценки способности перги к растворению (диспергированию) при ее замачивании в воде без механического перемешивания был проведен четырехфакторный эксперимент по исследованию влияния на диспергирования следующих факторов: время замачивания, температура воды, первоначальная относительная влажность перги, гранулометрический состав перги. Факторы и уровни их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал варьирования	
			нижний	нулевой	верхний		
			Кодированное обозначение				
			-1	0	+1		
1	Время	t	час	2	14	26	12
2	Температура	T	°C	8	25	42	17
3	Отн. влажность	W	%	12	20	28	8
4	Гранулометрический состав	d	мм	1,75	3,75	5,75	2

Для проведения опытов был выбран не композиционный трехуровневый план 2-го порядка. Для выполнения плана при 4-х факторах необходимо было провести 27 опытов с трехкратной повторностью каждого. Методика их выполнения состояла из 3-х этапов: 1) подготовка экспериментального материала; 2) непосредственное проведение опытов; 3) вакуумное фильтрование водяной взвеси.

Процент не растворившихся загрязнений P , % (критерий оптимизации) определяли по формуле:

$$P = \frac{M_{\phi+0} - M_{\phi}}{M_H} \cdot \left(1 + \frac{W_H}{100}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

где $M_{\phi+0}$ – масса фильтра с частицами осадка после высушивания, г.; M_{ϕ} – масса сухого фильтра, г.; W_H – первоначальная относительная влажность навески, %; M_H – масса навески, г.

В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, описывающее влияние четырех факторов на параметры оптимизации:

$$P(t, T, W, d) = -19,9 + 2,95 \cdot W - 0,047 \cdot t \cdot d - 0,033 \cdot T \cdot d - 0,088 \cdot W \cdot d - 0,063 \cdot W^2 + 0,677 \cdot d^2, \quad (2)$$

где P – процент не растворившейся перги (параметр оптимизации), %; t – время выдерживания в воде, час.; T – температура воды, °C; W – первоначальная относительная влажность навески, %; d – средний гранулометрический состав частиц фракции, мм.

Оптимизация полученной модели встроенными средствами Mathcad 15 позволила определить значения параметров, при которых функция (2) достигает минимального значения:

$$P_{\min}(t, T, W, d) = P(26, 42, 12, 2.696) = 1.522\%$$

Для оценки выхода воска в зависимости от загрязненности воскового сырья был проведен двухфакторный эксперимент, устанавливающий влияние количества и гранулометрического состава перги в искусственно загрязненном восковом сырье на выход воска при перетопке в паровой воскотопке. При планировании эксперимента был выбран не композиционный ротатабельный план второго порядка. Уровни и интервалы варьирования факторами представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования							Интервал варьирования
			-1	-0,866	-0,5	0	+0,5	+0,866	+1	
Восковитость	V	%	36		46	56	66		76	10
Г/м состав	d	мм		1,75		3,75		5,75		2

Выход воска из перетопленного искусственно загрязненного сырья определяли по следующей формуле:

$$P = \frac{M_{\Pi}}{M_{H}} \cdot 100, \quad (3)$$

где P – выход воска, %; M_{Π} – масса воска, полученная в результате перетопки искусственно загрязненного сырья, г; M_{H} – масса навески искусственно загрязненного сырья, г.

Опыты проводили с 3-х кратной повторностью в каждой точке. В результате проведенного исследования получено уравнение регрессии, определяющее зависимость процента выхода воска P , % из искусственно загрязненного воскового сырья от его восковитости V , % и гранулометрического состава добавляемых загрязнений d , мм:

$$P(V, d) = -18.326 + 2,634 \cdot d - 0.011 \cdot V^2 \quad (4)$$

На рис. 2 полученная зависимость (4) представлена графически.

Из представленной зависимости следует, что функция отклика не имеет локальных экстремумов. Наибольшему значению процента выхода воска соответствуют максимальные значения восковитости и гранулометрического состава, наименьшему значению критерия оптимизации – минимальные значения обоих факторов.

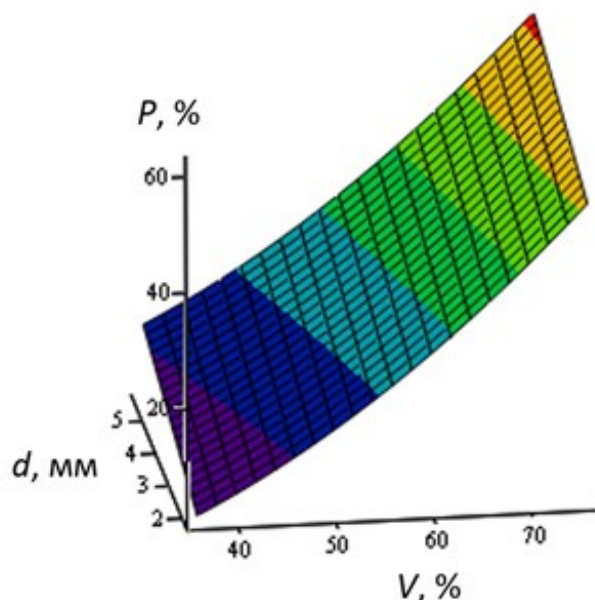


Рисунок 2 – Зависимость процента выхода воска P , % из искусственно загрязненного воскового сырья от его восковитости V , % и гранулометрического состава добавляемой перги d , мм.

В четвертой главе «Исследование процесса измельчения воскового сырья» представлено описание установки для очистки воскового сырья патент РФ №2672403, дано теоретическое обоснование ее параметров, приведены методика и результаты лабораторных исследований, дающих экспериментальное подтверждение полученных теоретических моделей.

Программа теоретического исследования была направлена на определение рациональной линейной скорости измельчающих рабочих органов (штифтов), а также разработки аналитической модели для оценки времени измельчения.

Установка для очистки воскового сырья (рис. 3) состоит из рамы 1 с расположенной на ней камерой гидравлической очистки 2.

На камере гидравлической очистки установлена камера измельчения 3, снабженная загрузочной горловиной 4. Внутри обеих камер вертикально установлен рабочий вал 5.

В зоне камеры измельчения 3 рабочий вал 5, привод которого осуществляется от электродвигателя 6, снабжен рабочими органами в виде штифтов 7 и 8, а в зоне камеры гидравлической очистки 2 рабочий вал 5 снабжен мешалками 9. Камера измельчения 3 имеет дно 10, образующее со стенкой камеры кольцевой зазор 11, в котором радиально расположены противорезы. Под противорезами установлен конический отражатель 13. В верхней части камеры измельчения имеется ограничительная пластина 12. В корпусе камеры гидравлической очистки 2 имеется сливной патрубок 14 и заливная горловина 15.

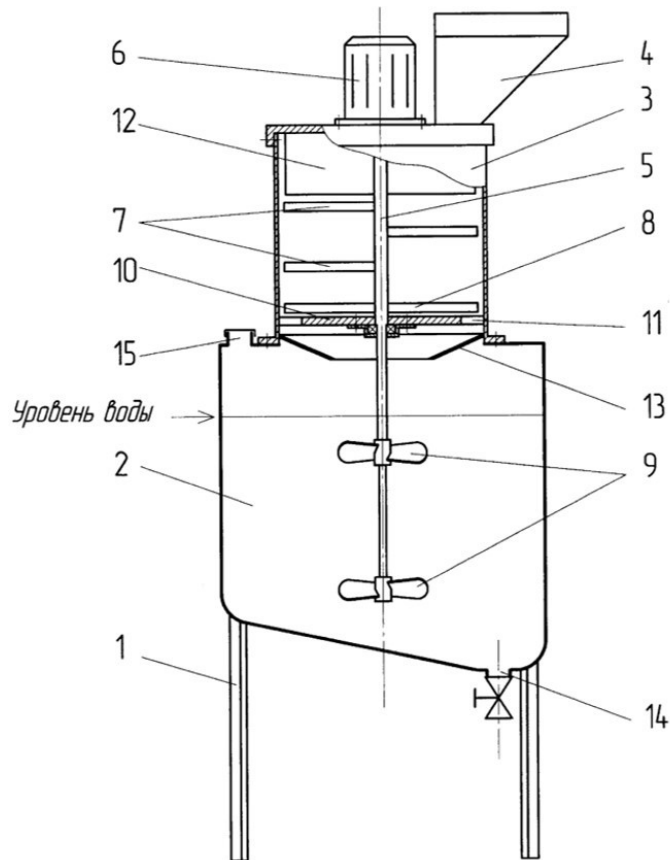


Рисунок 3 – Схема установки для очистки воскового сырья

Модель измельчения сотов базируется на применении теории вероятности. Произведем расчет вероятности соударения куска сотов со штифтом на одном обороте вала измельчителя. Эта вероятность определяется геометрическими размерами самих кусков и объемом воздушно-продуктового слоя с одной стороны, и размерами штифтов – с другой стороны.

Объем воздушно-продуктового слоя в рабочей камере определяется выражением:

$$V_C = \pi \cdot L \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} - b \right)^2 \right) \quad (5)$$

где L – высота рабочей камеры, м; D – диаметр рабочей камеры, м; b – толщина воздушно-продуктового слоя, м.

Для измельчения требуемого количества воскового сырья полное время работы измельчителя составит:

$$t = \frac{M_C}{\gamma \cdot V} \cdot \left[\frac{N_y}{N_{cp}} \cdot \frac{1}{n} \right], \quad (6)$$

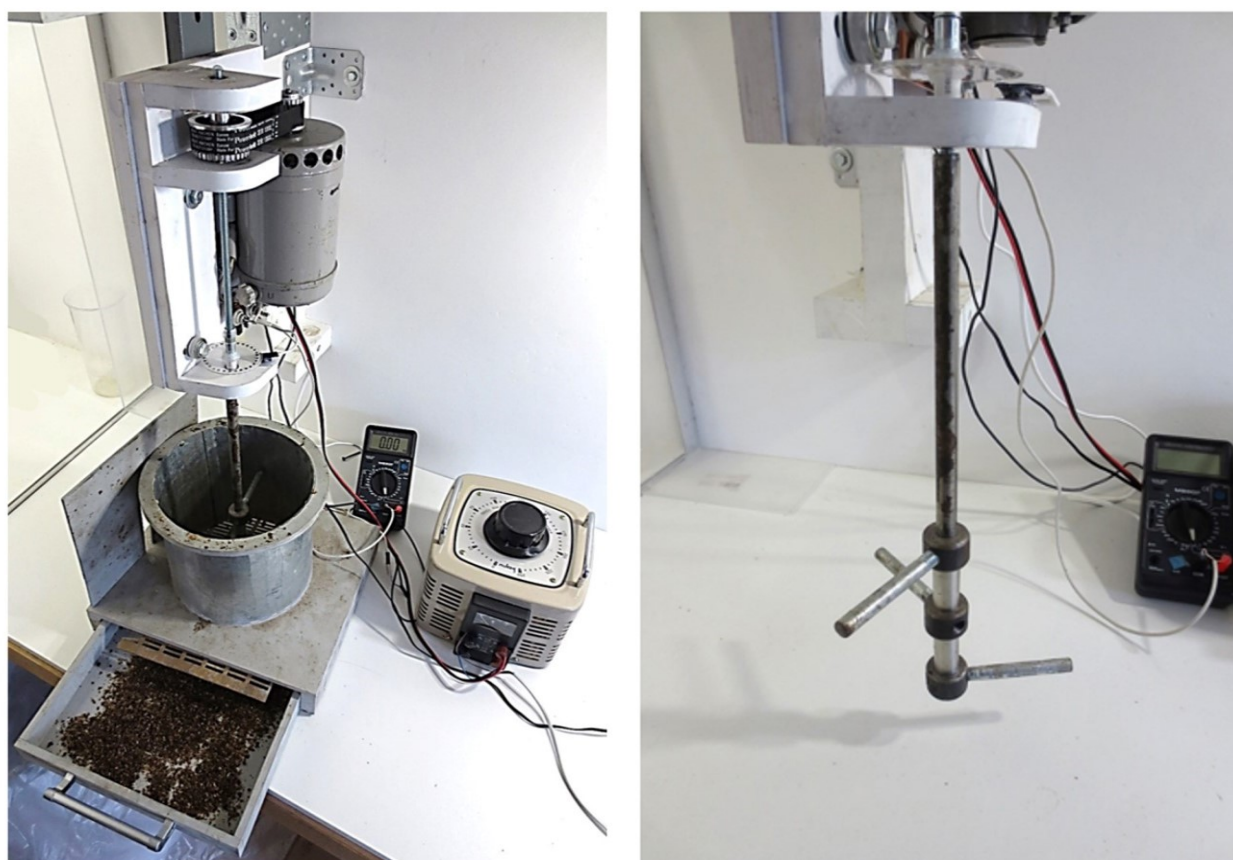
где M_C – масса измельчаемого сырья, кг; γ – плотность сырья, кг/м³; V – объем куска сота, м³; N_y – количество ударов штифтов по измельчаемому материалу, достаточное для образования чешуек восковой основы заданной средней

площади, ед.; N_{cp} – среднее количество ударов с одним штифтом на одном обороте вала, ед.; n – частота вращения рабочего вала, c^{-1}

Результаты численного моделирования показали, что снабжение рабочего вала более чем 6 штифтами не является целесообразным, поскольку время рабочего процесса уменьшается при этом незначительно. При значении частоты вращения вала 1250 Об/мин и числе установленных штифтов, равном 3, время измельчения куска сотов до частиц с заданным конечным линейным размером 1,5 мм (средний гранулометрический состав измельченного воскового сырья) составит 13 секунд.

Для экспериментального определения рациональных параметров измельчителя воскового сырья была изготовлена лабораторная установка (рис. 4).

Установка позволяет исследовать влияние факторов, приведенных в таблице 3, на критерий оптимизации (процентное содержание частиц воскового сырья размером 3 мм и более в измельченной массе).



а

б

Рисунок 4 – Лабораторная установка для исследования параметра измельчителя воскового сырья:

а – общий вид лабораторной установки; б – рабочий вал с установленными штифтами

Таблица 3 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни			Интервал
			(-1)	(0)	(+1)	
Диаметр штифтов	d	мм	10	12	14	2
Расстояние между плоскостями вращения штифтов	l	мм	25	40	55	15
Линейная скорость	u	м/с	9	10,5	12	1,5

Результатом регрессионного анализа является установленная эмпирическая зависимость процента выхода восковых частиц диаметром ≥ 3 мм в измельченной массе от исследуемых факторов $P(d, l, u)$:

$$P(d, l, u) = 602.03 - 50.33 \cdot d + 1.54 \cdot l - 45.46 \cdot u + 1.88 \cdot d^2 - 0.018 \cdot l^2 + 1.98 \cdot u^2 \quad (7)$$

Установленное уравнение представлено в виде двух поверхностей на рисунках 5, 6.

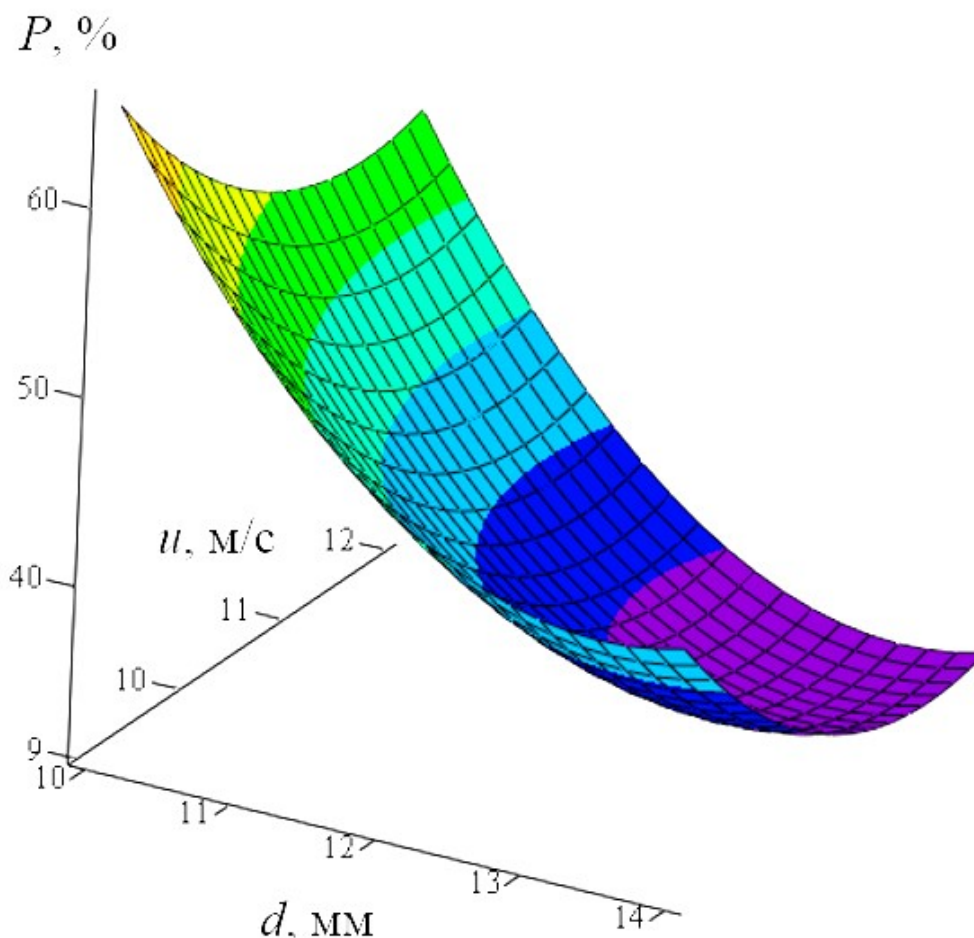


Рисунок 5 – Зависимость процента содержания крупных фракций (≥ 3 мм) в измельченной массе восковых частиц от диаметра штифтов d , мм и линейной скорости их концов u , м/с (расстояние между плоскостями вращения штифтов фиксировано на рациональном уровне)

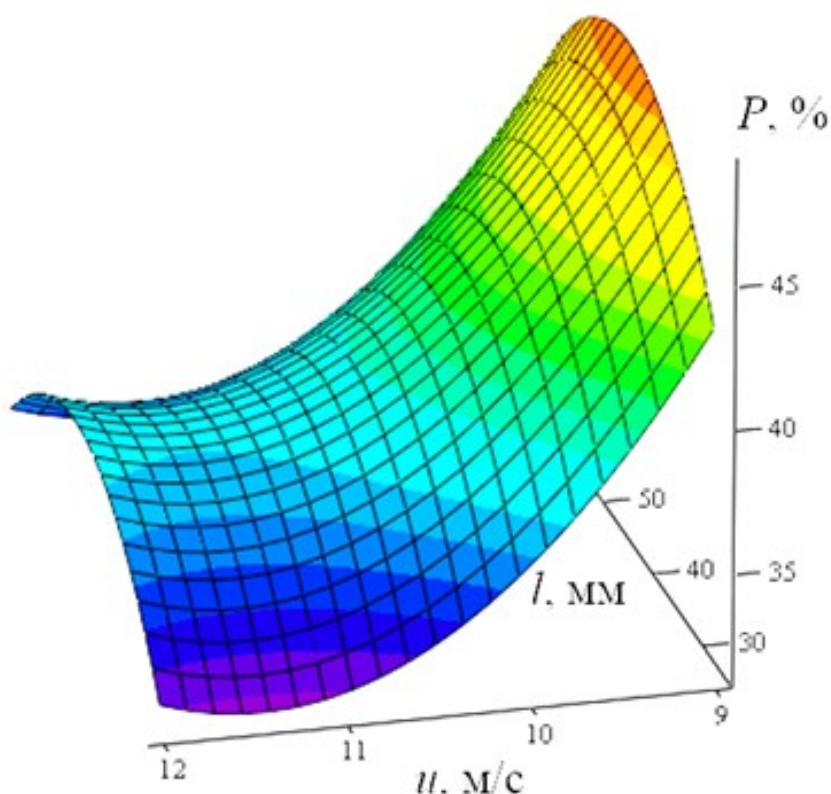


Рисунок 6 – Зависимость процента содержания крупных фракций (≥ 3 мм) в измельченной массе восковых частиц от расстояния между плоскостями вращения штифтов l , мм и линейной скорости их концов u , м/с (диаметр штифтов фиксирован на рациональном уровне)

Минимизация критерия оптимизации в среде Mathcad позволила определить следующие рациональные значения сочетания факторов:

$$P_{\min}(d, l, u) = P(13.417, 25, 11.442) = 31.57\%.$$

Следующий этап экспериментального исследования был направлен на определение рациональных условий загрузки измельчителя воскового сырья. Для этого измельчитель загружали порциями продукта весом 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 1,35; 0,45 кг, одновременно контролируя производительность, энергоемкость, и мощность требуемой для его работы.

Опыты проводили с установкой, рациональные параметры которой были определены выше: диаметр штифтов 14 мм, расстоянии между плоскостями вращения штифтов 25 мм, линейная скорость концов штифтов 12 м/с (найденные значения факторов округлены).

В результате статистической обработки опытных данных получены следующие эмпирические уравнения, определяющие зависимость производительности измельчителя $Q(M)$, потребляемой полезной мощности $N(M)$ и энергоемкости процесса измельчения $E(M)$ от массы загружаемой навески сотов:

$$Q(M) = 17.48 + 114.22 \cdot M - 149.07 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.97 \quad (8)$$

$$N(M) = 41.81 + 543.94 \cdot M + 626.29 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.998 \quad (9)$$

$$E(M) = 2.85 + 6.2 \cdot M + 24.49 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.995 \quad (10)$$

Установленные зависимости (8)-(10) показывают, что при увеличении количества измельчаемого материала свыше 0,35-0,4 кг происходит застой продукта в камере измельчения.

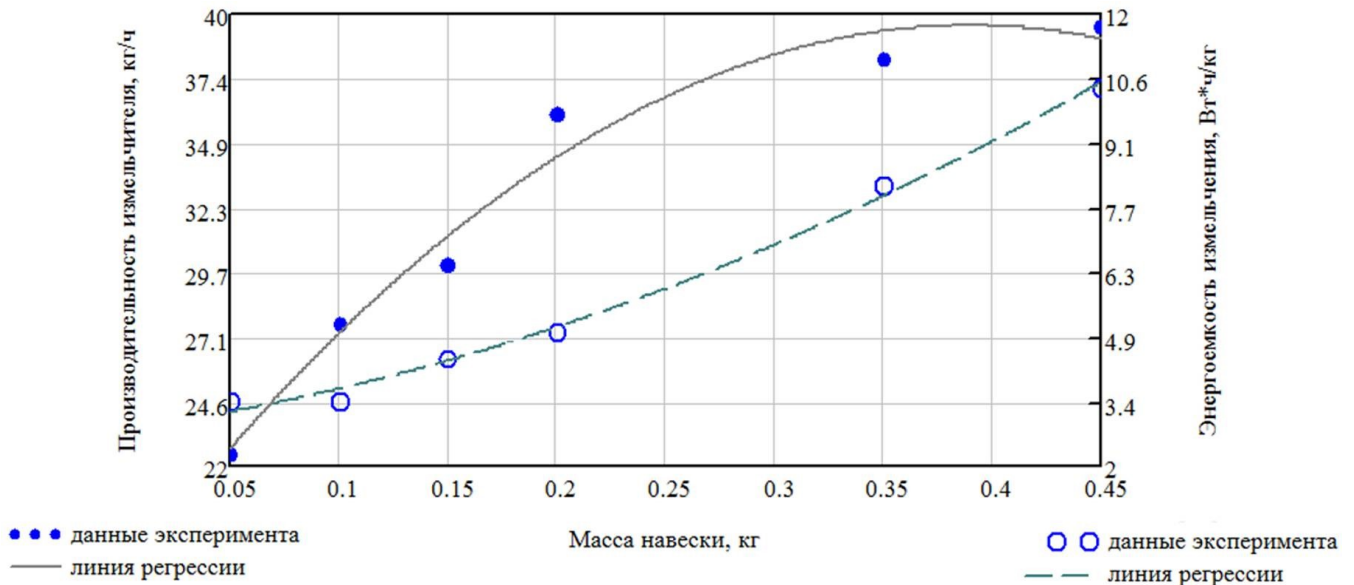


Рисунок 7 – Зависимость производительности измельчителя Q , кг/ч и энергоёмкости E , Вт*ч/кг процесса измельчения от массы загружаемой навески M_n , кг

В пятой главе «Исследование процесса диспергирования органических загрязнений воскового сырья в воде» было проведено теоретическое и экспериментальное исследование, а также проверка сходимости результатов исследований.

Первый этап теоретического исследования заключался в построении аналитической модели процесса диспергирования органических загрязнений из воскового сырья в воде при перемешивании.

Анализ многочисленных исследований показывает, что управлять процессом растворения, точнее его скоростью, представляется возможным посредством регулирования полезной мощностью, подводимой к мешалке. При различных скоростях потока массоотдача растворяемых в воде объектов будет разной. Коэффициент массоотдачи k имеет размерность [м/с] и может быть выражен через толщину пограничного слоя:

$$k = \frac{D}{\delta}, \quad (11)$$

где δ – толщина пограничного слоя, м; D – коэффициент диффузии, м²/с.,

Аналитическая оценка δ возможна при введении безразмерного критерия – диффузионного числа Нуссельта:

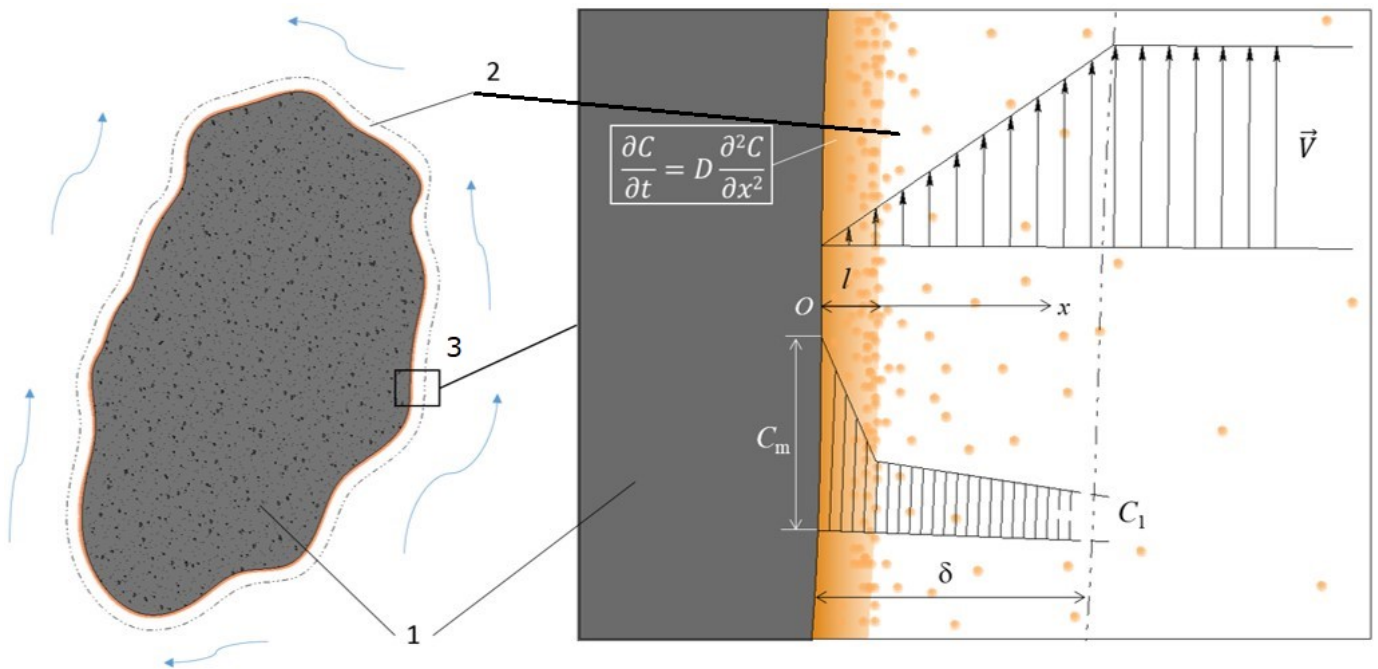
$$\text{Nu} = \frac{l_n}{\delta}, \quad (12)$$

где l_n – линейный размер растворяемой частицы, м.

Сам критерий Nu можно определить как:

$$\text{Nu} = A \cdot \sqrt[3]{\text{Pr}} \cdot \sqrt{\text{Re}}, \quad (13)$$

где $A = 0,8 \dots 0,95$; Pr, Re – безразмерные критерии Прандтля и Рейнольдса соответственно. Первый зависит от физических свойств среды, второй – от скорости (интенсивности перемешивания).



1 – частица твердой фазы; 2 – пограничный слой; 3-фрагмент пограничного слоя

Рисунок 8 – Твердая частица, растворяемая в потоке жидкости

Процесс диффузии загрязнений с поверхности твердого материала в ядро жидкости (растворение, или диспергирование) можно описать одномерным уравнением распределения частиц $C(x,t)$ во времени и пространстве:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, & 0 < x < l, & t > 0 \\ \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, & & t > 0 \\ -D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=l} = k(C|_{x=l} - C_1), & & t > 0 \\ C|_{t=0} = C_0(x), & 0 < x < l & \end{cases} \quad (14)$$

где l – расстояние, на протяжении которого процесс диффузии является преобладающим над процессом конвекции, м.

Общее ее решение можно представить в виде ряда:

$$U(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \cdot \cos \lambda_k x \quad (15)$$

где λ_k – последовательность собственных значений уравнения для нахождения параметра λ задачи Штурма-Лиувилля:

$$\lambda \cdot \sin \lambda l - h \cdot \cos \lambda l = 0, \quad (16)$$

где $h = 1/\delta$.

Поскольку представляет интерес средняя остаточная концентрация зерен пыльцы в частице перги в зависимости от времени, а не от координаты, то можно выполнить усреднение по координате:

$$\begin{aligned} \bar{C}(t) &= \int_0^l U(x, t) dx = \int_0^l \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi \right) \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \cdot \cos \lambda_k x dx = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\sin^2 \lambda_k l}{l \lambda_k^2 \|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi \right) \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \end{aligned} \quad (17)$$

Получим выражение для средней остаточной концентрации, не растворенной перги по истечении определенного времени процесса перемешивания:

$$\bar{C}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cdot e^{-\lambda_k^2 D t}, \quad (18)$$

где

$$B_k = \frac{\sin^2 \lambda_k l}{l \lambda_k^2 \|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi$$

Полученная математическая модель устанавливает связь между тремя переменными величинами: остаточной концентрацией частиц твердой фазы в произвольный момент времени, интенсивностью и временем процесса перемешивания.

Следующий этап теоретического исследования был направлен на построение модели оценки рационального соотношения геометрических параметров камеры измельчителя и камеры перемешивающего устройства.

Модель для оценки рационального соотношения геометрических параметров камеры измельчителя и камеры перемешивающего устройства построена с использованием известного эмпирического уравнения для определения полезной мощности в аппарате с отражательными перегородками:

$$N = 23 \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho \cdot \left(\frac{b}{D}\right)^{1.27} \cdot \left(\frac{D}{d}\right), \quad (19)$$

где n – частота вращения рабочего вала, Об/сек; d – диаметр лопастей мешалки, м; b – ширина лопасти мешалки, м; D – диаметр сосуда, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Отношения b/D и D/d в выражении (19) называются инвариантами геометрического подобия, обозначим их i_1 и i_2 соответственно.

Используя полученные выражения, найдем искомое соотношение диаметров D_{II}/D_{II} :

$$\frac{D_{II}}{D_{II}} = \left(\frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b \right) \cdot \sqrt{\frac{92 \cdot n^3 \cdot \rho \cdot i_1^{1.27}}{\pi \cdot I \cdot i_2^4 \cdot i_3}} \quad (20)$$

Полученное соотношение – безразмерная величина. Результаты численного моделирования рационального соотношения диаметров рабочих камер измельчителя и перемешивающего устройства представлены в виде графиков на рис. 9.

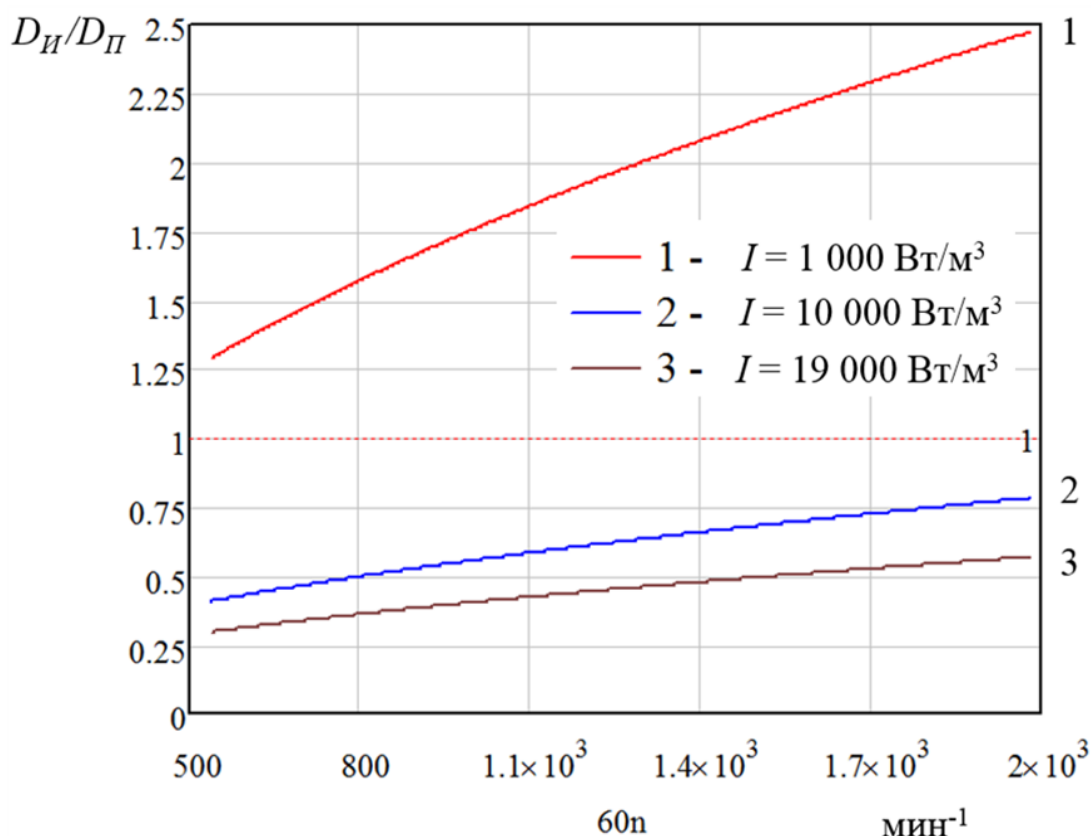


Рисунок 9 – Результаты численного моделирования:

зависимость соотношения диаметров рабочих камер измельчителя и перемешивающей камеры D_{II}/D_{II} от требуемой величины оборотов рабочего вала при трех различных значениях интенсивности перемешивания

Для выполнения экспериментальных исследований была собрана лабораторная установка, которая представлена на рис. 10.

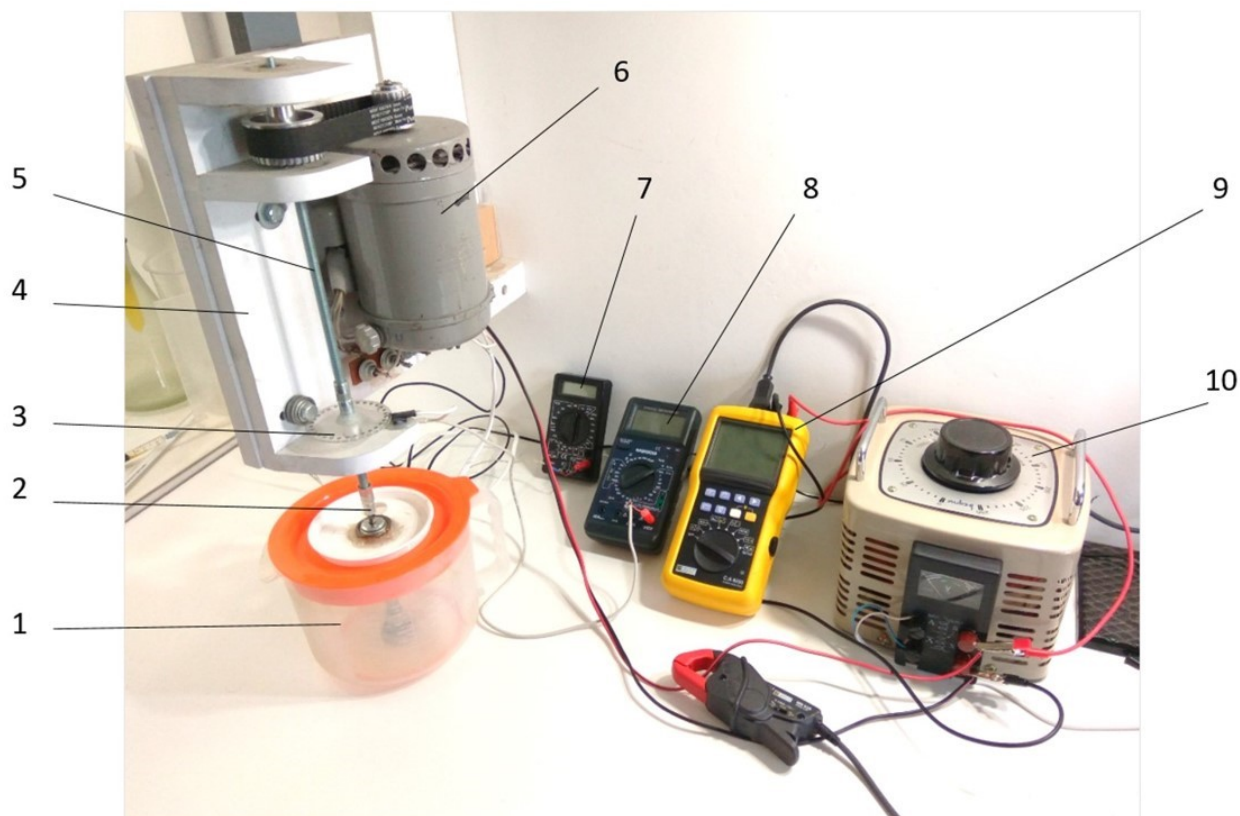


Рисунок 10 – Лабораторная установка для исследования процесса диспергирования органических загрязнений:

1 – емкость для перемешивания с отражательными перегородками и крышкой, в которой посредством подшипниковых опор зафиксирован вал с мешалкой и установлен термодатчик; 2 – наконечник рабочего вала; 3 – тахометрический генератор с датчиком Холла; 4 – подвижное основание; 5 – рабочий вал; 6 – электродвигатель постоянного тока; 7 – мультиметр марки М-838 с функцией измерения температуры; 8 – мультиметр марки М890F с функцией измерения частоты; 9 – измеритель мощности СА 8220; 10 – лабораторный автотрансформатор

Для изучения перги, как основного загрязняющего компонента воскового сырья, к растворению в воде при интенсивном механическом перемешивании был проведен многофакторный эксперимент, устанавливающий зависимость степени растворения от трех факторов – интенсивности перемешивания, продолжительности процесса и начального гранулометрического состава перги.

Критерий оптимизации – степень растворения – определяется как процент не растворившейся перги C , % (остаточная концентрация) в пересчете на сухое вещество:

$$C = \frac{M_o}{M_{II}} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right)^{-1} \cdot 100, \quad (21)$$

где M_o – масса не растворившегося отфильтрованного сухого осадка, г.; M_{II} – первоначальная масса навески, г.; W – первоначальная влажность перги.

Уровни и интервалы варьирования тремя факторами представлены в таблице 4.

Опыты проводили с трехкратной повторностью.

Таблица 4 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			нижний (-1)	нулевой (0)	верхний (+1)	
Интенсивность перемешивания	<i>I</i>	Вт/м ³	270	9520	18770	9250
Время перемешивания	<i>t</i>	с	60	330	600	270
Начальный гранулометрич. состав	<i>d</i>	мм	1,75	3,75	5,75	2

Результатом регрессионного анализа является полученная экспоненциальная эмпирическая модель, адекватно аппроксимирующая данные эксперимента ($\alpha = 0,05$) представленная графически на рис 11, 12.:

$$C(I, t, d) = 1.53 \cdot e^{0.76 \cdot d - 1.24 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot t - 5.66 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot d - 6.06 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot d} \quad (22)$$

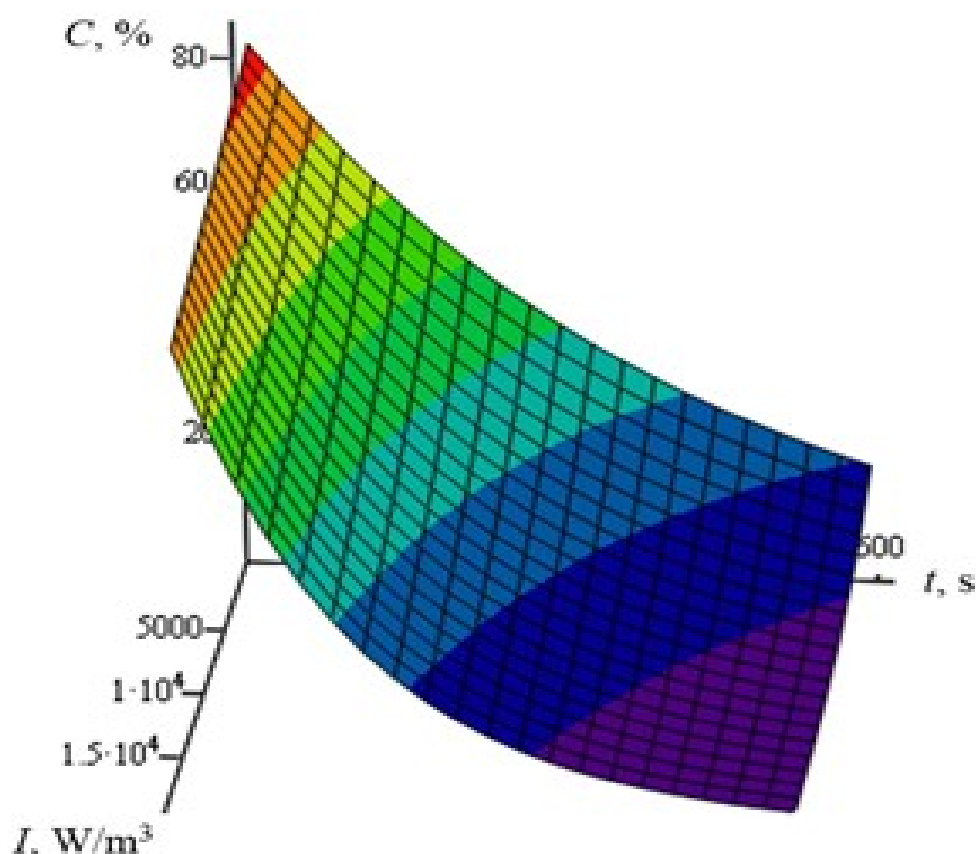


Рисунок 11 – Зависимость процента не диспергированных органических загрязнений от интенсивности и времени перемешивания при фиксированном максимальном гранулометрическом составе продукта 5.75 мм

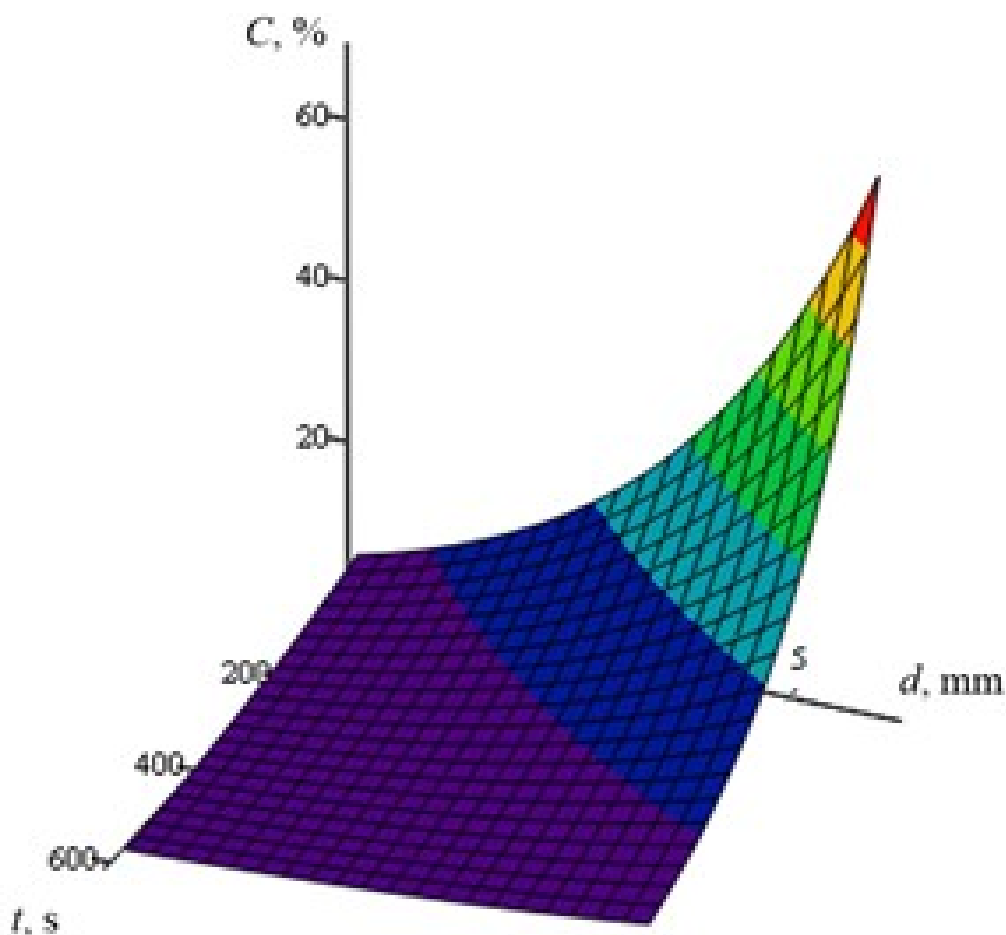


Рисунок 12 – Зависимость процента не диспергированных органических загрязнений от времени перемешивания и среднего размера частиц при стабилизированной интенсивности процесса 10^4 Вт/м³

Минимизация функции отклика (критерия оптимизации) в среде Mathcad позволила определить следующие рациональные сочетания значений факторов:

$$C_{\min}(I, t, d) = C(18770, 600, 1.75) = 0.58\%$$

Следующий этап экспериментального исследования был направлен на обоснование максимальной концентрации погруженного в воду измельченного воскового сырья, при которой его очистка является эффективной. Для решения этой задачи был проведен однофакторный эксперимент с двумя критериями оптимизации, в процессе которого устанавливали влияние концентрации воскового вороха в воде (степени загрузки) на процент удаленных загрязнений и полезную мощность, потребляемую мешалкой. Первый критерий – процент удаленных загрязнений (убыль массы в результате очистки) – должен быть максимизирован в результате оптимизации, второй – мощность, расходуемая на перемешивание, – минимизирован. Диапазон варьирования фактором «концентрация воскового вороха в воде» составлял 50...250 г/л с шагом 50 г/л, то есть управляли фактором на пяти уровнях.

Процент удаленных загрязнений определяли из выражения:

$$P = \left(1 - \frac{m_k \cdot (1 - W_k / 100)}{m_n \cdot (1 - W_n / 100)} \right) \cdot 100, \quad (23)$$

где P – количество удаленных органических загрязнений, %; m_n – вес навески сырья, подлежащего исследованию, г.; m_k – вес навески сырья, оставшийся не диспергированным, г.; W_n – исходное значение влажности воскосырья, %; W_k – конечное значение влажности воскосырья после очистки, %; $\left(1 - \frac{W}{100} \right)$ – формула, позволяющая проводить перерасчет убыли абсолютной массы (учет убыли массы по сухому веществу) (ГОСТ 31775-2012).

Эксперимент проводили при постоянных значениях интенсивности и времени перемешивания, фиксированных на рациональных значениях по результатам предыдущих исследований, при температуре воды 20-22 °С, с пятикратной повторностью опытов в каждой точке плана.

Результатом регрессионного анализа являются следующие эмпирические уравнения, устанавливающие функциональную зависимость между полезной мощностью $N(x)$ и концентрацией воскового сырья в воде, а также между процентом удаленных загрязнений $P(x)$ и концентрацией.

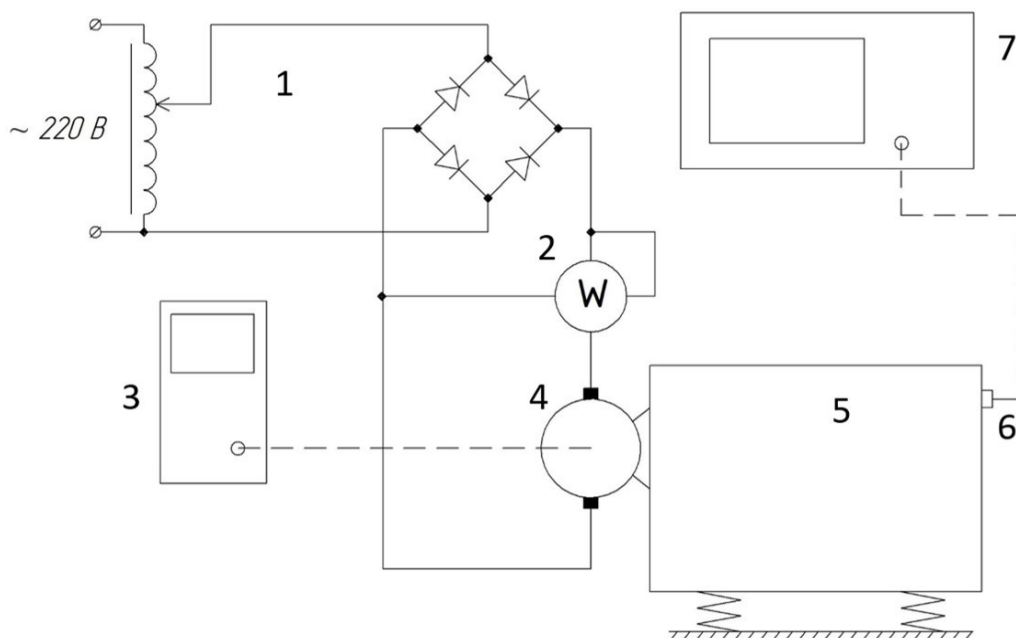
$$N(x) = 16.2 - 0.00026 \cdot x + 0.000083 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.929 \quad (24)$$

$$P(x) = 23.16 + 0.078 \cdot x - 0.000537 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.986 \quad (25)$$

Из анализа полученных результатов можно заключить, что увеличение концентрации измельченного воскосырья в воде приводит к повышению расходуемой на перемешивание мощности и к снижению процента удаляемых загрязнений, в результате чего снижается эффективность очистки. За предельную концентрацию очищаемого воскосырья в воде можно принять значение 150-160 г/л, при котором не наблюдается существенного снижения степени очистки и увеличения энергоемкости процесса.

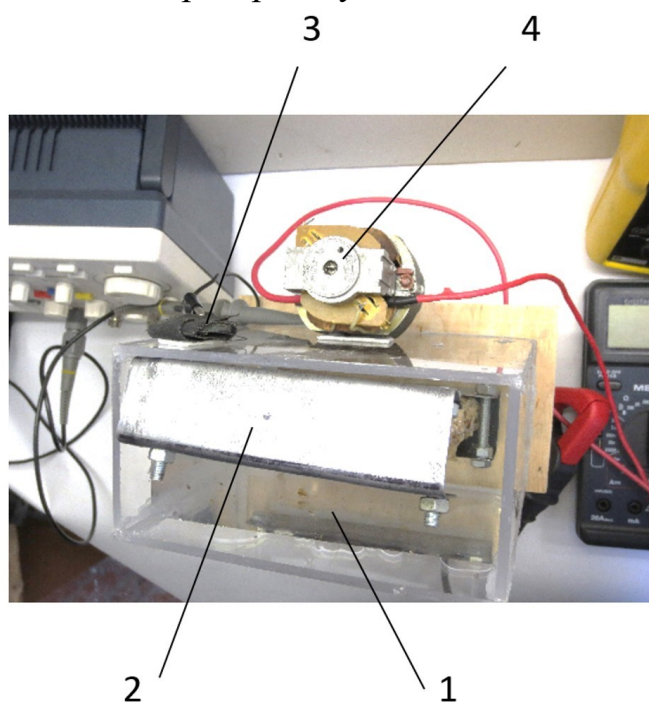
В шестой главе «Исследование процесса гидровибрационной очистки воскового сырья» представлено описание установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов (патент РФ № 2634432), приведены методика и результаты лабораторных исследований.

Для проведения лабораторных экспериментов в соответствие со схемой (рис. 13) собранное устройство (рис. 14), которое в комплексе с используемыми приборами позволяет производить измерения следующих величин: потребляемой мощности; частоты вращения вала электродвигателя; частоты вибрации корпуса; амплитуды вибрации корпуса.



1 – блок питания, имеющий функцию регулирования напряжения; 2, 3 – прибор для определения мощности и частоты вращения СА 8220; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – емкость с водой; 6 – датчик амплитуды и частоты ФОН-1; 7 – цифровой осциллограф марки OWON PDS5022S

Рисунок 13 – Схема лабораторной установки



1 – емкость с водой; 2 – устройство для удержания куска пчелиного сота; 3 – датчик вибрации ФОН-1; 4 – электродвигатель постоянного тока с эксцентриком на рабочем валу

Рисунок 14 – Рабочая камера лабораторной установки

Устройство позволяет изменять во время проведения исследования:

- частоту и амплитуду колебаний рабочей камеры;
- температуру воды в рабочей камере;

- продолжительность процесса очистки воскового сырья.

Задачей экспериментального исследования является установление следующих зависимостей:

- влияния частоты и амплитуды вибрации на полезную мощность, затрачиваемую на колебание рамки с сотами;

- влияние частоты, амплитуды и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах;

- влияние частоты, амплитуды и времени вибрационного воздействия на степень разрушения восковой основы сотов в процессе гидровибрационной очистки.

Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обоз н.	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал
			нижний (-1)	нулевой (0)	верхний (+1)	
Частота колебаний	ν	Гц	45	50	55	5
Амплитуда колебаний	A	мм	1	1.75	2.5	0.75
Время вибрационного воздействия	t	с	60	240	420	180

Результатом регрессионного анализа полученных экспериментальных данных является уравнение регрессии, выраженное квадратичным полиномом для натуральных значений факторов:

$$N(\nu, A) = 197.32 - 7.86 \cdot \nu - 12.66 \cdot A + 0.3 \cdot \nu \cdot A + 0.08 \cdot \nu^2 \quad (26)$$

Полученная эмпирическая модель позволяет однозначно определить значение полезной мощности для расчета остаточной концентрации по приведенной выше теоретической модели при заданных значениях амплитуды и частоты колебаний.

Степень разрушения (второй критерий оптимизации) P , % определяли как накопленный процент разрушения сотов:

$$P_k = \sum_{i=1}^k P_i, \quad (27)$$

Результатом регрессионного анализа полученных экспериментальных данных по определению влияния частоты, амплитуды колебаний и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах $C(\nu, A, t)$ и процент разрушения восковой основы $P(\nu, A, t)$ являются уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующие экспериментальные данные экспоненциальной модели с полиномиальной степенью:

$$C(\nu, A, t) = e^{-27.16+1.56 \cdot \nu - 0.02 \cdot t - 0.036 \cdot \nu \cdot A + 5.423 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot t - 0.017 \cdot \nu^2 + 2.53 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} \quad (28)$$

$$P(\nu, A, t) = 0.0017 \cdot e^{-0.184 \cdot \nu + 3.54 \cdot A + 7.45 \cdot 10^{-3} \cdot t - 0.055 \cdot \nu \cdot A - 7.88 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot t + 5.152 \cdot 10^{-3} \cdot \nu^2 - 0.021 \cdot A^2 - 6.04 \cdot 10^{-6} \cdot t^2} \quad (29)$$

На рис. 15 представлены трехмерные зависимости остаточной концентрации органических загрязнений в сотах от двух исследуемых факторов при фиксировании третьего на рациональном уровне.

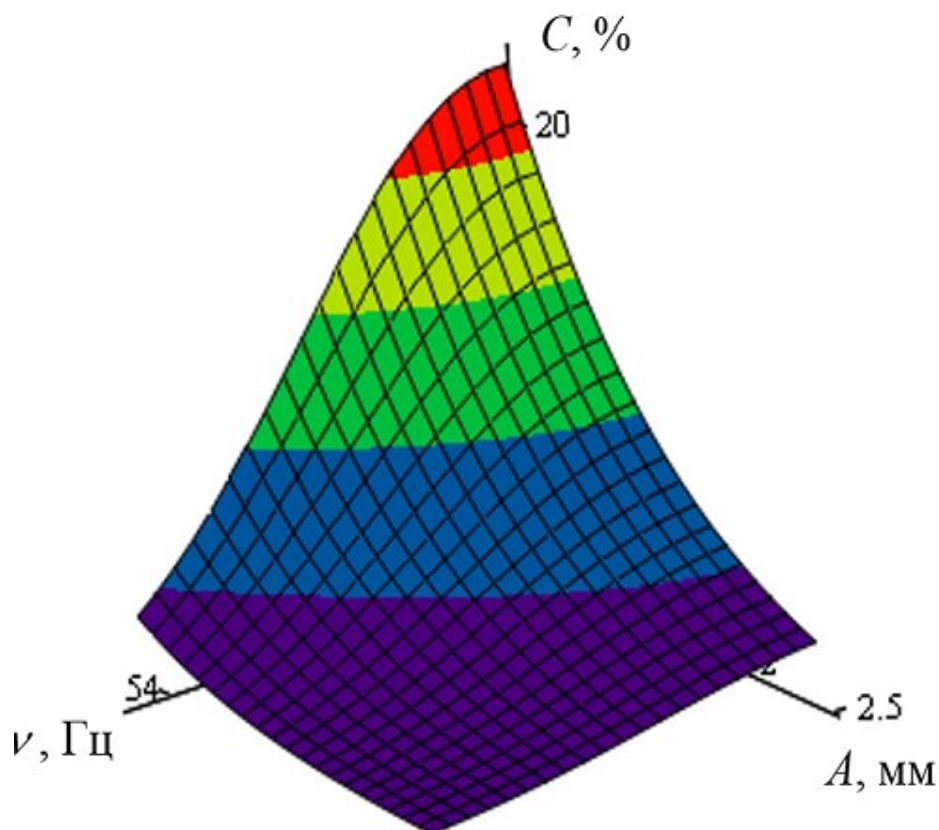


Рисунок 15 – Зависимость остаточной концентрации перги в сотах C , % от частоты ν , Гц и амплитуды A , мм колебаний рамки с сотами при рациональном времени вибрационного воздействия $t = 357$ с

На рис. 16 представлены трехмерные зависимости накопленного процента отделившихся от сотов восковых частиц (процент разрушения) от двух исследуемых факторов при фиксировании третьего на рациональном уровне.

Полученные зависимости позволили определить рациональные сочетания исследуемых факторов, при которых оба критерия оптимизации принимают минимальные значения:

$$C(55, 2.5, 378) = 0.305 \% ; \quad P(45, 1, 60) = 0.061 \%$$

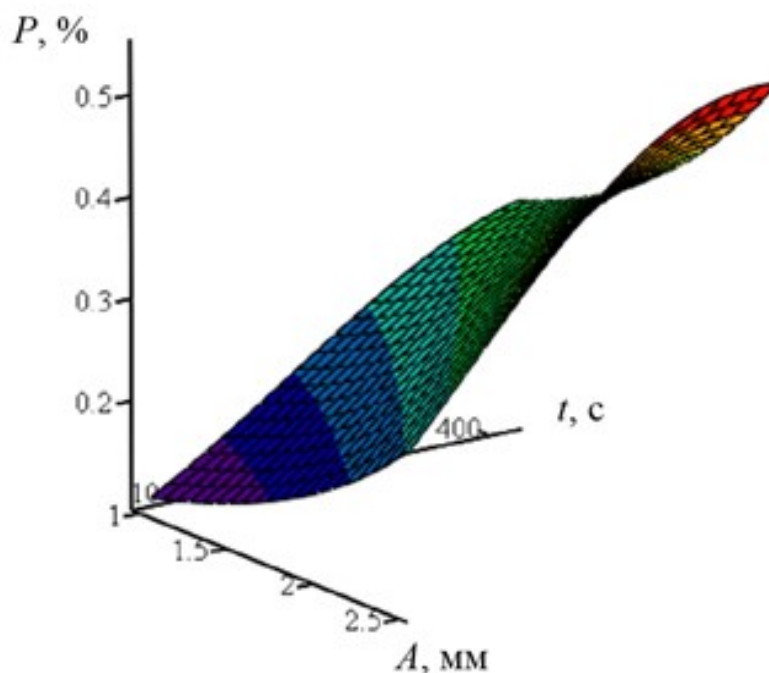


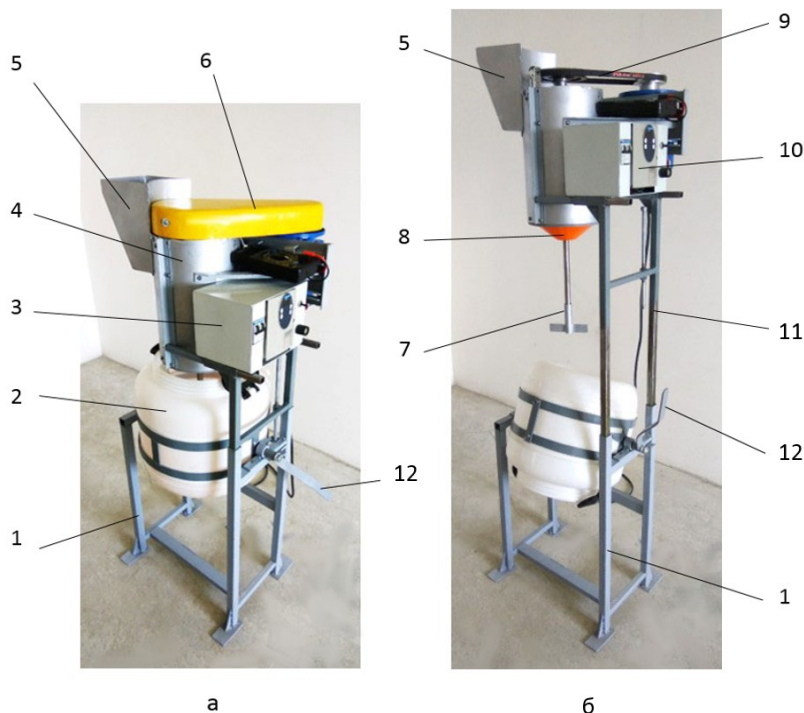
Рисунок 16 – Зависимость степени разрушения сотов P , % (накопленный процент отделившихся восковых частиц) от амплитуды колебаний рамки с сотами A , мм и времени вибрационного воздействия t , с при рациональной частоте $\nu = 45$ Гц

Из полученных закономерностей следует, что при изменении значений факторов от нижнего уровня к верхнему величина первого критерия оптимизации (остаточной концентрации) монотонно уменьшается, а второго (степени разрушения) монотонно возрастает.

В седьмой главе «Производственные исследования и экономическая эффективность внедрения разработанных технологий и устройств очистки воскового сырья» приведены описание и результаты исследований по оценке внедрения в производство предлагаемых способов и оборудования для очистки воскового сырья от загрязнений. Исследования проводились в производственных условиях на базе КФХ «Бортники» Рыбновского района Рязанской области.

Качество очищенного воскового сырья анализировали в лаборатории «Сертификации и стандартизации продуктов пчеловодства» в ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства».

Первое исследование направлено на выявление эффекта от использования способа очистки воскового сырья (пат. РФ №2656968), предполагающего использование установки для очистки воскового сырья (пат. РФ №2672403), рис. 17.



1 – рама; 2 – емкость для перемешивания измельченного сыря в воде; 3 – блок управления; 4 – рабочая камера измельчающего устройства; 5 – загрузочная горловина; 6 – кожух защиты ременной передачи; 7 – рабочий вал с мешалкой; 8 – влагозащитный конус; 9 – ременная передача; 10 – частотный преобразователь марки ALTIVAR-31; 11 – подвижная рама; 12 – рукоятка опрокидывания емкости для перемешивания.

Рисунок 17 – Общий вид установки для очистки воскового сыря:

а – рабочее положение; б – положение выгрузки очищенного сыря

В таблице 6 представлена технологическая карта производственных исследований (рис. 18).

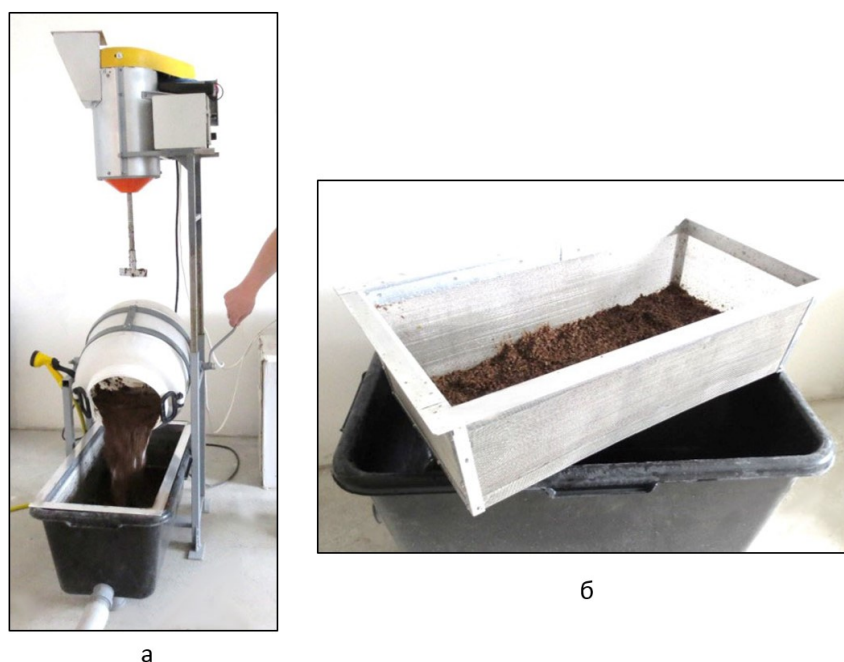


Рисунок 18 – Процесс очистки воскового сыря в производственных условиях: а – выгрузка водяной смеси воскового сыря на фильтровальное сито; б – очищенное восковое сырье на фильтровальном сите

Таблица 6 – Технологическая карта производственных исследований

№ технологии	№ патентов	Технологические операции				
		Вырезка сотов из рамок	Охлаждение кусков сотов	Измельчение + очистка	Гидровибрационная очистка	Фильтрация
1	2656968	+	+	+	–	+
2	2662169	–	–	–	+	–
Используемое оборудование						
Установка для очистки воскового сырья (пат. № 2672403)		–	–	+	–	+
Установка для очистки пчелиных сотов (пат. № 2634432)		–	–	–	+	–
Морозильная установка		–	+	–	–	–

Результаты исследования показывают, что среднее увеличение восковитости по данным химического анализа составляет 16 %...18%.

Полученные в результате расчетов зависимости срока окупаемости предлагаемых устройств от численности пчелосемей на пасеке представлены графически на рисунке 19.

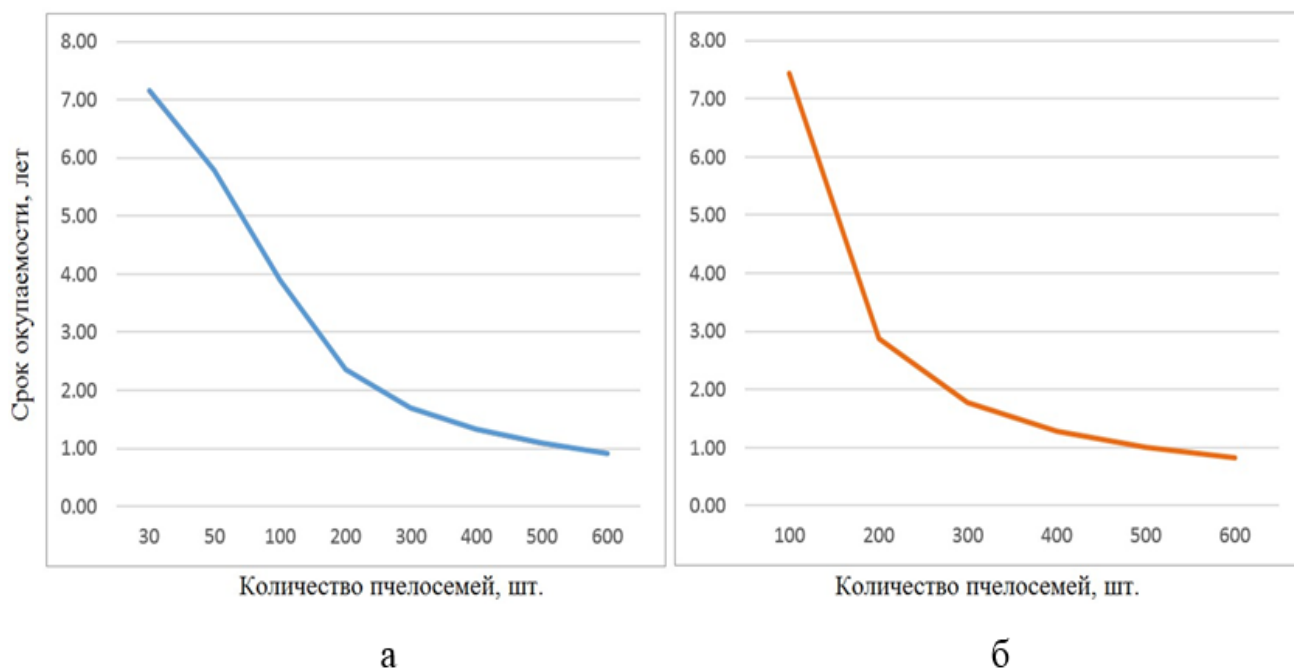


Рисунок 19 – Зависимость срока окупаемости внедрения установки для очистки воскового сырья (а) и установки для гидровибрационной очистки сотов (б) от размера пасеки

Как следует из анализа представленных графиков, предлагаемую технологию и установку для очистки воскового сырья можно рекомендовать всем пчеловодческим хозяйствам, в том числе и мелким, с размером пасеки от 30 пчелосемей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложены механизированные способы очистки воскового сырья от загрязнений перед тепловой переработкой (патенты РФ №2656968, №2662169). Способы предполагают осуществлять растворение загрязнений в воде и удалять их из сырья, что обеспечивает повышение чистоты получаемого воска и увеличивает его выход. Для выполнения способа очистки воскового сырья (пат. РФ №2656968) разработана установка для его очистки (пат. РФ №2672403), а для способа очистки пчелиных сотов от загрязнений (пат. РФ №2662169) – вибрационная установка для их очистки (пат. РФ №2634432).

2. Объемная масса воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений (перги) в значительной мере зависит от гранулометрического состава этих продуктов. Так, при среднем размере частиц воскового сырья 3 мм его объемная масса равна 298 г/дм³, а при размере частиц 6 мм объемная масса составляет 165,5 г/дм³. Объемная масса целых гранул перги среднего диаметра 5,75 мм составляет 660 г/дм³, а при измельчении перги до частиц среднего размера 1,75 мм объемная масса возрастает до 1101 г/дм³. Установлено, что на растворимость перги в воде влияют следующие факторы: продолжительность процесса (t , час.), температура жидкости (T , °C), исходная влажность продукта (W , %) и средний размер его частиц (d , мм).

3. Установлены аналитические уравнения, описывающие процесс измельчения воскового сырья, в частности, установлена зависимость вероятности удара штифта по куску сота на одном обороте вала измельчителя, а также получена оценка времени измельчения массы сотов в зависимости от частоты вращения вала. Путем математического моделирования определено, что при значении частоты вращения 1250 об/мин и числе штифтов, равном 3, время измельчения куска сотов до частиц с гранулометрическим составом 1,5 мм составит 13 секунд.

Получена теоретическая модель одномерной диффузии, описывающая процесс растворения частиц загрязнения воскосырья в воде, которая устанавливает связь между тремя переменными величинами: остаточной концентрацией частиц твердой фазы в произвольный момент времени, интенсивностью и временем процесса перемешивания. Теоретически установлено, что при фиксированном значении интенсивности $I = 10000 \text{ Вт/м}^3$ и значении начального гранулометрического состава 1,75 мм, навеска полностью растворяется через 6-8 мин, а для полного растворения крупных фракций ($d_p \geq 6 \text{ мм}$) требуется более 10 мин.

Получена теоретическая модель, определяющая рациональное соотношение диаметров измельчающего устройства $D_{и}$ и диаметра камеры диспергирования $D_{п}$. Теоретически установлено, что для измельчающего устройства диаметром 0,19 м необходима частота вращения рабочего вала 1250 Об/мин.

4. Экспериментально получено, что на процент крупных восковых частиц размером более 3 мм (критерий оптимизации) значимо влияют следующие факторы: размер цилиндрических рабочих органов d (мм), расстояние между рабочими органами h (мм), их линейная скорость u (м/с).

Экспериментально установлено, что при увеличении концентрации органических загрязнений в воде от 50 до 250 г/л полезная мощность, требуемая для перемешивания увеличивается от 7,4 Вт/л до 10,2 Вт/л, а очистка уменьшается от 25 до 9 % от первоначальной массы. Как следует из установленной зависимости, рациональная концентрация воскового сырья в воде составляет 150-160 г/л, при этом не наблюдается существенного снижения очистки и увеличения энергопотребления.

Установлена экспериментальная зависимость остаточной концентрации перги в сотах от частоты, амплитуды и времени вибрационного воздействия, которая позволила определить, что минимальный остаток перги в сотах 0.31 % достигается при значении частоты 53...57 Гц, амплитуды колебаний 2,3...2,7 мм и времени вибрационного воздействия 378...402 с.

5. Способ и устройство, направленные на очистку измельченного сырья в воде (патенты РФ №2656968, №2672403), позволяют получить увеличение восковитости сырья на 16 %. Годовой экономический эффект от внедрения в производство предлагаемых способа и устройства при величине пасеки 400 пчелосемей составит 20800 руб., а срок окупаемости 1,3 года.

Способ и устройство для проведения гидровибрационной очистки пчелиных сотов (патенты РФ №2662169, №2634432) позволяют увеличить восковитость сырья на 18 %. Годовой экономический эффект от внедрения в производство предлагаемых способа и устройства, и срок окупаемости при величине пасеки 400 пчелосемей составят 14000 рублей и 1,3 года соответственно.

Рекомендации производству

Предлагаемый способ и установка для очистки воскового сырья (патенты РФ №2656968, №2672403) рекомендованы всем пчеловодческим хозяйствам, в том числе и мелким, с размером пасеки от 30 пчелосемей, а также предприятиям, специализирующимся на переработке продуктов пчеловодства. Способ и устройство для гидровибрационной очистки пчелиных сотов (патенты РФ №2662169, №2634432) рекомендованы средним и крупным пчеловодческим хозяйствам, с размером пасеки от 100 пчелосемей, а также предприятиям-переработчикам.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на разработку оборудования повышенной производительности. Намеченный путь исследования позволит повысить экономический эффект от внедрения в производство предложенных технических решений, так как обеспечит

рациональную загрузку оборудования при различном количестве обслуживаемых пчелосемей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В рецензируемых изданиях из списка Scopus, Web of Science

1. Byshov D.N. Cyclic convective drying of bee pollen / D.E. Kashirin, I.A. Uspensky, M.Y. Kostenko, G.K. Rembalovich, G.D. Kokorev, D.N. Byshov, V.A. Makarov, V.M. Ulyanov, K.I. Danilov, B.A. Nefedov, A.A. Tsymbal // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Т. 14. № 4. С. 916-920.

2. Byshov, N.V. Theoretical and experimental study of the process of wet cleaning of wax raw materials from organic impurities [Url: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0719_7834.pdf] / N.V. Byshov, I.A. Uspenskiy, D.E. Kashirin, D.N. Byshov, V.V. Pavlov, A.V. Protasov, S.S. Morozov, A.M. Afanasyev, S.N. Gobelev, V.V. Kochenov and A.V. Kupriyanov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, July 2019 Vol. 14 No. 14, ISSN 1819-6608.

3. Methodology for assessing the energy efficiency of separating methods for wax raw materials / Y. A. Ivanov, S. N. Borychev, D. N. Byshov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020 года. – Zernograd, Rostov Region, 2021. – P. 012070. – DOI 10.1088/1755-1315/659/1/012070. – EDN MUQNHD.

В рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

4. Бышов Д.Н. Исследование работы измельчителя воскового сырья / Д.Н. Бышов, И.А. Успенский, Д.Е. Каширин, Н.В. Ермаченков, В.В. Павлов // Сельский механизатор. – 2015. – № 8. – С. 28-29. – EDN UIOZHP.

5. Бышов Д.Н. Исследование влияния влажности на аспирационные свойства перги / Д.Н. Бышов, С.Н. Гобелев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 3(31). – С. 45-48. – EDN WYJOBJ.

6. Бышов Д.Н. Исследование процесса измельчения восковой основы пчелиных сотов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 3(31). – С. 111-114. – EDN WYJOGT.

7. Бышов Д.Н. Исследование прочностных свойств перговых гранул при их сжатии / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, А.В. Протасов, С.С. Морозов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 1(29). – С. 59-62. – EDN WYBVDN.

8. Бышов Д.Н. Вибрационная очистка пчелиных сот от загрязнений // Сельский механизатор. – 2017. – № 1. – С. 34-35. – EDN XXMPCJ.
9. Бышов Д.Н. Исследование дисперсионных свойств перги различного гранулометрического состава / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. – № 1(33). – С. 69-74. – EDN YTORHX.
10. Бышов Д.Н. Очистка измельченного воскового сырья в воде механизированным способом // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 24-25. – EDN XODZQT.
11. Бышов Д.Н. Теоретическое обоснование процесса измельчения воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, В.А. Макаров, Г.А. Борисов, А.М. Кравченко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 70-75. – EDN YSAQUH.
12. Бышов Д.Н. Энергосберегающий процесс получения перги / Д.Е. Каширин, Д.Н. Бышов, С.Н. Гобелев, Н.Б. Нагаев, А.В. Протасов // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 32-33. – EDN XODZRZ.
13. К вопросу исследования теплофизических свойств перговых сотов / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, С. С. Морозов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 87-91. – EDN BFUSQC.
14. Водная ультразвуковая очистка воскового сырья / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева . – 2019. – № 2(42). – С. 92-95. – EDN WYXDJO.
15. Бышов, Д. Н. К вопросу очистки воскового сырья: лабораторное исследование процесса диспергирования органических загрязнений / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 3(47). – С. 79-83. – DOI 10.36508/RSATU.2020.26.75.014. – EDN DATTYD.
16. Бышов, Д. Н. К вопросу очистки воскового сырья: модель процесса диспергирования органических загрязнений / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 3(47). – С. 84-88. – DOI 10.36508/RSATU.2020.59.83.015. – EDN BFFHHC.

В патентах:

17. Пат. № 2634432 РФ. МПК А01К 59/00. Вибрационная установка для очистки пчелиных сотов от загрязнений / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Протасов – Заявл. 05.12.2016; опубл. 30.10.2017, бюл. № 31.

18. Пат. № 2656968 РФ. МПК А01К 51/00. Способ очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов. – Заявл. 20.02.2017; опубл. 07.06.2018, бюл. № 16.

19. Пат. № 2662169 РФ. МПК А01К 59/02. Способ очистки пчелиных сотов от загрязнений / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Протасов – Заявл. 07.03.2017; опубл. 24.07.2018, бюл. № 21.

20. Пат. № 2667734 РФ. МПК А01К 59/00. Установка для извлечения и очистки перги из перговых сотов / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Коченов, В.В. Павлов, А.А. Петухов – Заявл. 25.12.2017; опубл. 24.09.2018, бюл. № 27.

21. Пат. № 2672403 РФ. МПК А01К 59/06. Установка для очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов [и др.] – Заявл. 05.02.2018; опубл. 14.11.2018, бюл. № 32.

22. Пат. № 2708918 РФ. МПК А01К 59/06. Установка для очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, А.А. Петухов – Заявл. 22.10.2018; опубл. 13.12.2019, бюл. № 35.

В монографиях:

23. Бышов Д.Н. Совершенствование энергосберегающих технологий извлечения перги / Бышов Н.В. и др. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 2017. – 192 с.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ №1641 подписано в печать 07.03.2025 г.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических
пособий ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*