

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



Бышов Дмитрий Николаевич

СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Диссертация

на соискание учёной степени доктора технических наук

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Научный консультант:
д.т.н., доцент Д.Е. Каширин

Рязань, 2025

АННОТАЦИЯ

Целью диссертационного исследования является повышение чистоты и полноты выхода воска из его воскового сырья.

Во введении дано обоснование теме исследований, сформулирована цель работы и ее народнохозяйственное значение. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе проведено исследование физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем органических загрязнений. Исследовано влияние относительного содержания загрязнений, находящихся в перерабатываемом восковом сырье, на процент получаемого конечного продукта. Получены числовые оценки объемной массы различных фракций, сформированных из измельченной массы воскового сырья и его органических загрязнений. Изучена возможность естественного растворения органических загрязнений в воде.

В третьей главе проведено аналитическое и экспериментальное исследование процесса измельчения воскового сырья

В четвертой главе выполнено теоретическое и экспериментальное исследование процесса диспергирования органических загрязнений из измельченного воскового сырья проведено сравнение установленных теоретических и экспериментальных зависимостей.

В пятой главе проведено теоретическое и экспериментальное исследование гидровибрационной очистки пчелиных сотов от органических загрязнений.

В шестой главе изложена методика проведения производственного исследования представлены полученные результаты дано технико-экономическое обоснования предложенным техническим решениям. Сформулированы предложения производству и перспективные направления дальнейших исследований.

Представлено заключение.

Приведен библиографический список литературных источников, цитируемых автором в работе.

В приложениях представлены результаты выполненных исследований, копии патентов, акты внедрения и документы о апробации результатов исследований.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
1.1. Применение пчелиного воска в народном хозяйстве	16
1.2. Классификация воскового сырья	17
1.3. Анализ и классификации способов получения воска из воскового сырья....	21
1.4. Анализ технических средств переработки воскового сырья	24
1.5. Анализ исследований, способов и средств извлечения воска.....	31
1.6. Постановка научной проблемы и гипотезы	37
1.7. Выводы по главе 1.....	39
1.8. Задачи исследований.....	39
2. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	40
2.1. Анализ критериев оценки качества воскового сырья	40
2.2. Анализ эффективности существующих способов очистки воскового сырья.....	45
2.3. Предлагаемые механизированные способы очистки воскового сырья	47
Выводы по главе 2	51
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	52
3.1. Программа лабораторных исследований	52
3.1.1. Методика исследования выхода воска из сырья в зависимости от количества содержащихся в нем загрязнений	52
3.1.2. Методика исследования объемной массы компонентов воскового сырья	56
3.1.3. Исследование естественного диспергирования перги	58
3.1.4. Методика получения и статистической обработки экспериментальных данных	67
3.2. Результаты исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в них загрязнений	70
3.2.1. Результаты исследования выхода воска из воскового сырья в	

зависимости от количества загрязнений	70
3.2.2. Результаты определения объемной массы основных составляющих компонентов воскового сырья в зависимости от среднего размера их частиц в измельченном виде	72
3.2.3. Результаты исследования естественного диспергирования перги	74
Выводы по главе 3.....	78
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ	80
4.1 Установка для очистки воскового сырья	80
4.2. Теоретическое исследование измельчения воскового сырья	83
4.2.1. Оценка рациональной линейной скорости штифтов	83
4.2.2. Теоретическое исследование эвакуации измельченных частиц из измельчителя	86
4.2.3. Оценка времени измельчения сотов	93
4.2.4. Численное моделирование процесса измельчения сотов	97
4.3. Экспериментальные исследования измельчения воскового сырья	99
4.3.1. Программа экспериментального исследования процесса измельчения воскового сырья	99
4.3.2. Лабораторная установка, предназначенная для исследования процесса измельчения воскового сырья.....	100
4.3.3. Методика экспериментального исследования измельчающего рабочего органа	104
4.3.4. Методика исследования производительности измельчения воскового сырья	106
4.3.5. Методика определения энергоемкости процесса измельчения воскового сырья	107
4.4. Результаты экспериментального исследования процесса измельчения воскового сырья.....	108
4.4.1. Результаты исследования рациональных параметров штифтового измельчителя	108
4.4.2. Результаты исследования производительности измельчителя воскового	

сырья	111
4.4.3. Результаты определения энергоемкости процесса измельчения воскового сырья	112
Выводы по главе 4	114
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ В ВОДЕ	116
5.1. Программа исследований	116
5.2. Теоретическое исследование процесса диспергирования твердых органических загрязнений воскового сырья в воде	117
5.2.1. Основные положения для построения математической модели процесса диспергирования	117
5.2.2. Постановка краевой задачи	120
5.2.3. Общее решение краевой задачи	126
5.2.4. Определение значений толщины пограничного слоя и коэффициента массоотдачи	127
5.2.5. Численное моделирование процесса диспергирования твердых органических загрязнений воскового сырья в воде	129
5.2.6. Теоретическое обоснование геометрических параметров камеры для диспергирования органических загрязнений воскового сырья	135
5.2.7. Численное моделирование габаритных размеров рабочих камер	137
5.3. Экспериментальное исследование диспергирования органических загрязнений воскового сырья в лабораторных условиях	140
5.3.1. Конструкция лабораторной установки	140
5.3.2. Методика исследования интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в камере диспергирования	144
5.3.3. Методика исследования диспергирования органических загрязнений в водной среде под действием мешалки	146
5.3.4. Методика исследования зависимости полезной мощности, затрачиваемой на перемешивание, и степени очистки воскового сырья от его концентрации в воде	149

5.4. Результаты экспериментальных исследований	152
5.4.1. Результаты исследования интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в камере диспергирования	152
5.4.2. Результаты многофакторного исследования способности органических загрязнений воскового сырья к растворению в воде при перемешивании	153
5.4.3. Результаты исследования зависимости полезной мощности, затрачиваемой на перемешивание, и степени очистки воскового сырья от его концентрации в воде	155
Выводы по главе 5	158
6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОВИБРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ	161
6.1. Программа исследований	161
6.2. Вибрационная установка для очистки воскового сырья от загрязнений ...	162
6.3. Экспериментальное исследование процесса очистки пчелиных сотов	164
6.3.1. Описание лабораторной установки для очистки пчелиных сотов	164
6.3.2. Планирование многофакторного эксперимента	167
6.3.3. Методика экспериментального исследования влияния частоты и амплитуды на полезную мощность, затрачиваемую на колебание пчелиного сота	168
6.3.4. Методика экспериментального исследования влияния режима и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах и процент разрушения сотов в процессе очистки	169
6.4. Результаты экспериментальных исследований	170
6.4.1. Результаты экспериментального исследования влияния частоты и амплитуды на полезную мощность, затрачиваемую на колебание рамки с сотами	170
6.4.2. Результаты экспериментального исследования влияния режима и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах	171
Выводы по главе 6	173

7. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТРОЙСТВ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ.....	175
7.1. Программа производственных исследований	175
7.2. Опытно-производственный образец установки для очистки воскового сырья	177
7.3. Опытно-производственный образец установки для очистки пчелиных сотов	182
7.4. Методика сравнительных исследований	184
7.5. Результаты сравнительных исследований	190
7.6. Расчет суммы капитальных вложений для внедрения устройств очистки воскового сырья.....	195
7.7. Определение показателей экономической эффективности внедрения в производство очистки воскового сырья от загрязнений	196
Выводы по главе 7.....	204
Заключение	206
Рекомендации производству	208
Перспективы дальнейшей разработки темы	208
Библиографический список	209
Приложения	248

ВВЕДЕНИЕ

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 [185, 194, 259]. 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 [9, 260, 303].

Синтез воска осуществляется в организме пчелы посредством специализированных желез. Пчелы используют воск не только как строительный материал для сотов, но и для бруширования меда, а также для консервации перги и как связующая основа для прополиса [275].

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 [84]. 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 [12, 23].

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. 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.

Задачи исследований:

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.

Объект исследований. 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 (приложения Р, С).

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.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Применение пчелиного воска в народном хозяйстве

Воск – уникальный по набору и сбалансированности продукт пчеловодства, синтезируемый в результате сложнейшей последовательности биохимических реакций в организме пчелы. За миллионы лет эволюции природа предусмотрела широчайшую функциональность этому продукту. Пчелы отстраивают из воска новые соты, заделывают им ячейки с медом, формируя на них крышечки, или так называемый забрус, герметизируют пергу [134]. Организм пчелы активно синтезирует воск при условии ее полноценного питания, а в случае недостатка нектара или пыльцы синтез воска резко снижается [19, 20]. Химические исследования состава воска показывают, что основным его компонентом являются сложные эфиры, количество которых от общей массы продукта составляет 70-75%, вторым по количеству компонентом являются свободные жирные кислоты, содержание которых может достигать 15%, не меньшее количество в составе воска имеют и предельные углеводороды (рисунок 1.1) [22, 95, 110, 265, 295]. Благодаря своему составу воск активно противостоит порче, а также способен размягчаться под действием секретов слюнных желез рабочих пчел [139]. Поскольку жизнедеятельность насекомых в улье весьма активна, требования ГОСТа допускают незначительное загрязнение воска прополисом, пылью растений, ульевым сором (механическими примесями в количестве не более 0.3%) и водой (не более 1,5%) [104, 155].

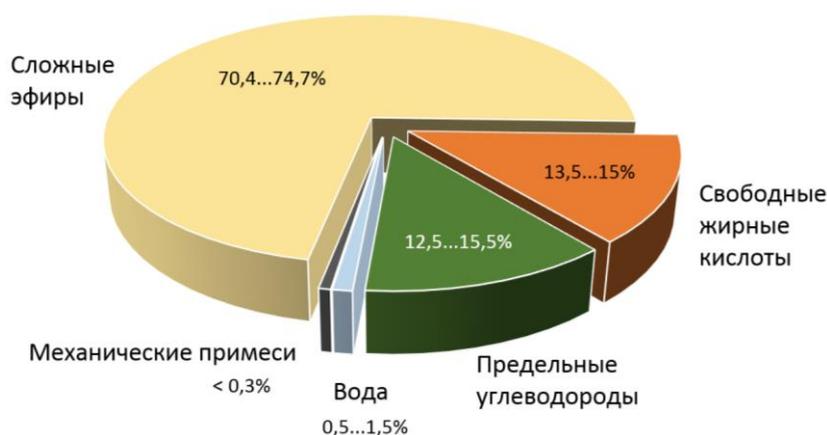


Рисунок 1.1 – Состав пчелиного воска

Благодаря своему биохимическому составу воск широко применяется в парфюмерной и кондитерской промышленности, при производстве лекарств и в электронике, в целом более, чем в 40 отраслях промышленности [88, 92].

Основное количество воска (60-70% от его производства) используется для изготовления вошины, то есть возвращается в пчеловодческую индустрию [266, 270, 271]. Многочисленные проведённые исследования показывают, что на сегодняшний день не синтезировано вещество, которым возможно заменить натуральный пчелиный воск [278].

1.2. Классификация воскового сырья

В технологии получения воска сырьё принято разделять на первичное и вторичное. К первичному восковому сырью относят свежие или выбракованные пчелиные соты – так называемую сушь сотов [8, 185]. Вторичным восковым сырьем принято считать отходы, получаемые в результате тепловой переработки суши сотов. Традиционно во время осеннего формирования пчелиной семьи на зиму пчеловод отбирает ненужные на его взгляд для дальнейшей жизнедеятельности семьи соторамки. Отобранные соторамки служат первичным сырьем для получения воска. Условно, соторамки (или сушь сотов) принято разделять на три сорта, в зависимости от степени загрязненности и удельного количества содержащегося в них воска – восковитости [185]. Свежеотстроенные соты имеют белый, слегка розоватый цвет. Количество воска в таких сотах близко к 100%. Получаемый из них путем выплавления воск считается наилучшим и по устоявшейся терминологии называется «капанец», данный воск относится к первому сорту [89, 97]. К этому же сорту относятся и свежие, без загрязнений, пчелиные соты, находящиеся в улье не более 6 месяцев, а также забрус – крышечки, формируемые пчелами на ячейках сота для запечатывания в них мёда (рис. 1.2) [108].

Воск из сырья первого сорта (рис. 1.3-а) традиционно выплавляют в солнечных воскотопках так называемым сухим способом [282, 283]. Сухой способ вытапливания воска предполагает нагрев сота до температуры

плавления воска непосредственно за счёт солнечного излучения или горячего воздуха при ограниченном взаимодействии воска с веществами окислителями. По мере «использования» сота пчелиной семьей качество его ухудшается. Соты загрязняются пылью, оставляемой перемещающимися по их поверхности пчелами. Кроме того, в ячейках накапливаются коконы (хитиновые оболочки), остающиеся после выхода каждого поколения личинок пчел [282, 283].

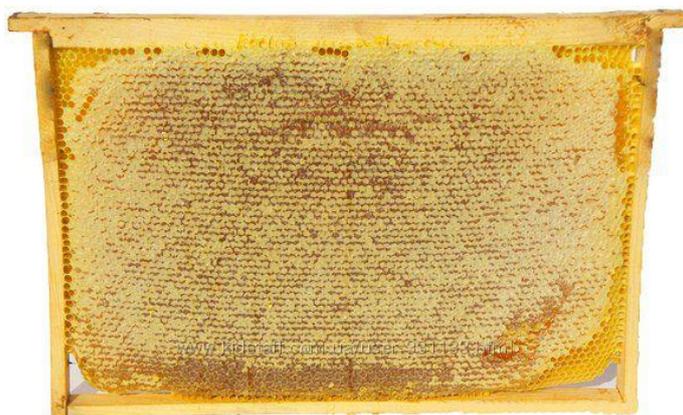


Рисунок 1.2 – Забрус на ячейках с медом

Помимо накапливаемых органических загрязнений, в самом воске также протекают сложные биохимические процессы, в частности, наиболее активным изменениям подвержены свободные жирные кислоты, состав которых со временем существенно изменяется [288]. Восковая основа таких сотов темнеет, приобретает серый, иногда зеленоватый оттенок. Такое сырье условно относится ко второму сорту. Его восковитость составляет 55-70% [279, 286]. При дальнейшей «эксплуатации» сотов в пчелиной семье описанные выше процессы прогрессируют, загрязнённость сота увеличивается, восковая структура приобретает коричневый цвет, иногда неравномерный. Потемневшие выбракованные соторамки относят к сырью третьего сорта, их восковитость не превышает 55% [179, 185].

Сильно потемневшие соты (рис. 1.3-б) наносят ущерб пчелиной семье, поэтому их выбраковывают в первую очередь [113]. Наслаивающиеся с каждым годом в ячейках оболочки коконов в целом приводят к уменьшению объёма ячеек, а как следствие, к появлению поколения пчел с меньшими по сравнению

с предыдущим размерами и массой тела. Происходят процессы вырождения, пчелиная семья становится неэффективной.

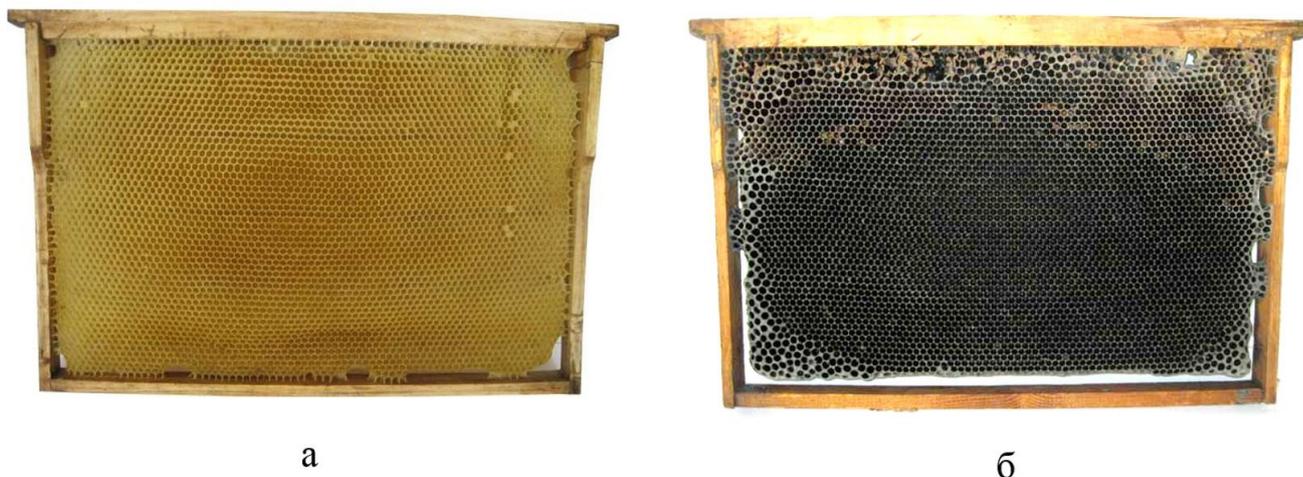


Рисунок 1.3 – Сушь сотов 1-2 сорта (а) и темная сушь третьего сорта (б)

Основным загрязнителем воскового сырья второго и третьего сорта является пчелиная перга, как в виде целых гранул, так и в виде её остатков (рис. 1.4). Масса перги в восковом сырье может превышать массу воска в 5-6 раз. Процесс ее отделения от восковой основы представляется весьма сложным технологически, а при использовании ручных способов ее извлечения – трудоёмким и экономически неоправданным [185, 282, 283].



Рисунок 1.4 – Перговые соты

Традиционно воск получают из воскового сырья путём тепловой переработки суши сотов, то есть выплавления или перетопки. Остатки воска из

мервы выделяют путем прессования, а также химической экстракцией с использованием специальных растворителей. Безусловным достоинством пасечных технологий получения воска является простота и качество получаемого продукта. На пасеках воск получают, как правило, из наиболее чистой светлой суши сотов, поэтому и качество такого продукта можно считать наилучшим. Такой воск имеет высокую твердость и температуру плавления, цвет его, как правило, меняется от практически белого до светло-желтого.

В результате вытопки из суши пчелиных сотов воска образуются отходы – смесь, содержащая органические загрязнения, ульевого сор, остатки меда и мертвых пчел, вся эта масса связана остывшим и затвердевшим воском. Чем более загрязнено исходное сырье, тем больше воска остается в отходах. Эти отходы называются пасечными вытопками (рис. 1.5-а). Вытопки подлежат дальнейшему развариванию и прессованию на пасечных воскопрессах [118, 311]. Отходы, образующиеся после прессования, называют пасечной мервой (рис. 1.5-б).



а



б

Рисунок 1.5 – Пасечные вытопки (а) и мерва (б)

И вытопки, и мерву принято считать вторичным восковым сырьем. Получаемый из вторичного воскового сырья воск – так называемый прессовой воск, обычно относят к несортному воску, поскольку он содержит большое количество примесей. Восковитость мервы может достигать 35%, поэтому ее, как правило, сдают для дальнейшей переработки на воскобойный завод.

Заводской воск считается некондиционным – четвертого сорта, или техническим. Качество такого продукта очень низкое, возможности его использования сильно ограничены. Как правило, воск низкого качества стерилизуют высокотемпературным воздействием и используют в отраслях промышленности несвязанных с пчеловодством. Помимо видимых механических и химических загрязнений такой воск сильно загрязнен гнильцой.

1.3. Анализ и классификации способов получения воска из воскового сырья

Получение воска из воскового сырья основано на трех основных физических процессах: стекание, отжатие, растворение (рис 1.2). Первый процесс заключается в нагреве воскового сырья до температуры плавления воска и отделении стекающего под действием силы тяжести продукта. Второй процесс также предполагает нагрев воскового сырья до температуры плавления воска и извлечение его под действием внешних сил (прессование, в том числе центрифугирование). Третий процесс основан на растворении воска в органических растворителях и дальнейшем отделении воска из раствора путём перегонки [251, 252, 285]. Выбор того или иного физического процесса зависит от качества перерабатываемого сырья, его состава и применяемого оборудования [73, 98].

Весь получаемый отраслью пчеловодства воск условно разделяют на две группы: пасечный и заводской (рис. 1.6).

Пасечный воск как правило отличается более высоким качеством, он имеет светлый, иногда розоватый цвет. Температура его плавления составляет 63-66 °С. Данный продукт отличается высокой твердостью и однородностью консистенции. Основным потребителем пасечного воска является сама отрасль пчеловодства, где он необходим для производства вощины. В условиях пасеки переработкой воскового сырья занимается сам пчеловод, который обычно выбирает сырьё наилучшего качества: не сильно загрязнённые соты (сушь

сотов 1-3 сорта) и забрус [102, 106]. Технологические возможности при пасечном производстве весьма ограничены. Сушь перетапливают в солнечных или водяных воскотопках [171]. Солнечные воскотопки позволяют получить продукт наиболее высокого качества, так как его разогрев осуществляется инфракрасным излучением и процесс растворения загрязнений и окисления протекают в незначительной степени. Наиболее часто пчеловоды используют паровые воскотопки, принцип действия которых заключается в вытопке воска из сотов на водяной бане под действием пара или просто путём разваривания в горячей воде [312, 313].

Значительно реже пчеловоды используют конвективный способ для разогрева сотов, сухой пар или конденсат.

Заводской воск по большей части получают из вторичного сырья (см. пункт 1.2) – отходов, остающихся у пчеловода после перетопки суши сотов или сотов содержащих большое количество загрязнений (например перги). Заводской или производственный воск имеет гораздо худшее качество, структура его неоднородна, цвет варьирует от серого до тёмно-коричневого (в результате насыщенности загрязнениями). Температура плавления такого воска 63-69 °С, прочностные и пластические свойства значительно уступают пасечному воску [73, 98].

Получаемые после прессования в заводских условиях отходы (заводская мерва) содержит в своём составе до 20% воска [184]. Дальнейшее извлечение этого связанного воска возможно только посредством растворения (экстрагирования). Наиболее часто используют органические растворители, такие как четыреххлористый углерод (CCl₄), НЕФРАС и т.п. Из растворителя, насыщенного углеводородами воска, удаляют легкие фракции, образующаяся при этом тяжелая фракция (сгусток) называется экстракционным воском. Продукт применяется исключительно для технических целей [98, 262].

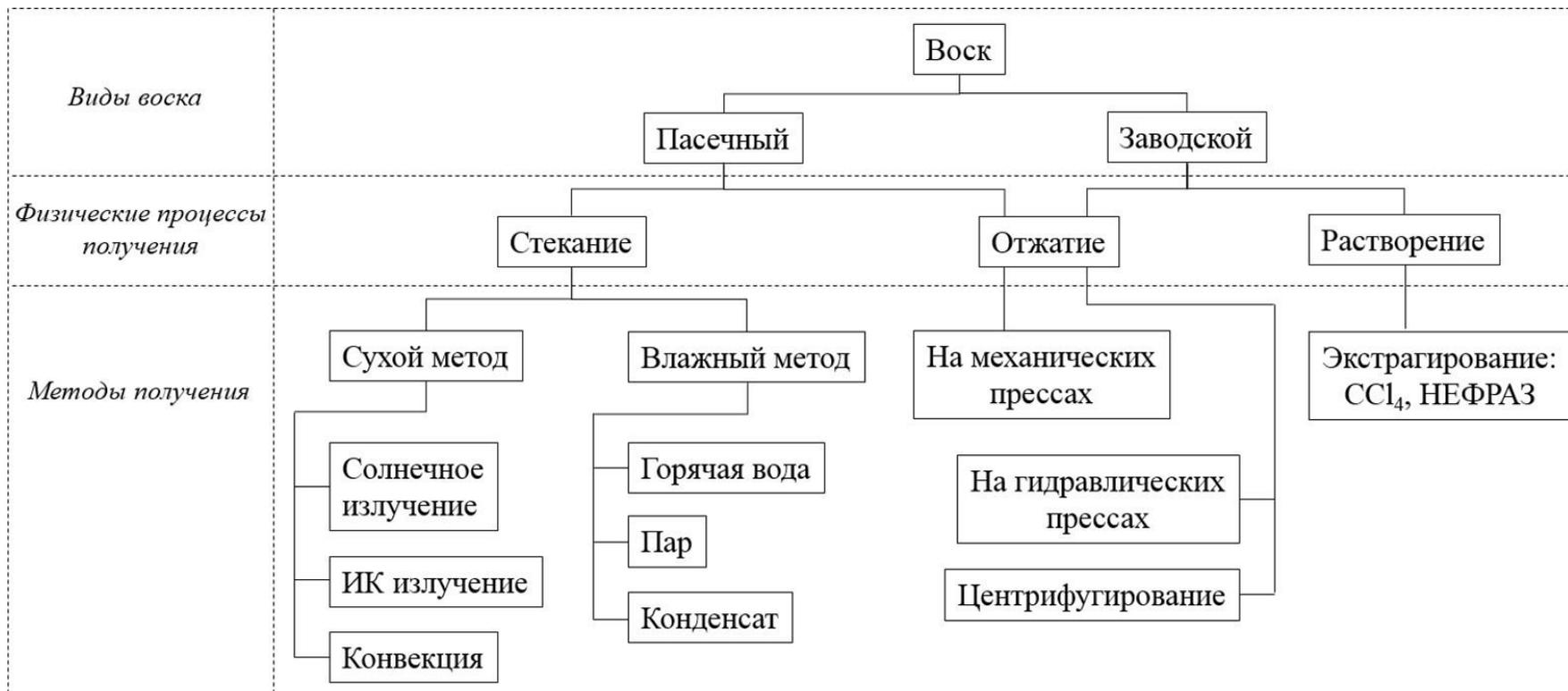


Рисунок 1.6 – Физические способы воздействия на восковое сырье при его переработке

1.4. Анализ технических средств переработки воскового сырья

Сухим способом перерабатывают сушь сотов наилучшего качества первого или второго сорта. Для его реализации выпускаются солнечные и масляные воскотопки. Солнечная воскотопка (рис. 1.7) имеет самую простую конструкцию из всех известных типов воскотопок и представляет собой закрытую емкость, имеющую наклонное дно [1, 99]. Верхняя часть емкости снабжена дверцей, выполненной из стекла. Устанавливается емкость на неподвижной опоре. В жаркую солнечную погоду сырьем наполняют воскотопку и располагают ее в безветренном месте. Воск вытапливается из суши, стекая в виде капель по выгрузному дну. Для повышения производительности вытопки и снижения потерь тепла при перетопке пчеловоды предлагают ряд вспомогательных устройств, предназначенных для поворота емкости на опоре к солнцу в течение дня [189]. Несмотря на простоту устройств этого типа воскотопок и даже некоторую «кустарность» их исполнения, нельзя ни отметить их явных преимуществ, приведенных в пункте 1.3, а также высокую экологичность и отсутствие затрат энергии на рабочий процесс. Воск, получаемый в солнечных воскотопках самый качественный, а, следовательно, и самый дорогой [1, 99].

Этот же принцип перетопки реализован в конструкции «сухой воскотопки», представляющей из себя емкость, расположенную внутри другой емкости большего размера с образованием межстенного пространства, заполняемого водой или минеральным маслом [243]. Непосредственно у дна внутренней емкости расположен сливной патрубок для вывода расплавленного воска из воскотопки. Такая конструкция воскотопки позволяет получать качественный воск путем прямого подвода тепловой энергии к продукту.

По устоявшейся в пчеловодческой практике традиции сушь второго и третьего сорта перерабатывают посредством паровых воскотопок. Сырье такого качества имеет среднюю восковитость 55-70% и содержит 30-45% загрязнений от общей массы [140, 142]. Основным видом загрязняющих примесей является перга – продукт, теплопроводность которого весьма невелика, поэтому и

разогревание сырья для вытопки воска инфракрасным излучением или сухим контактным способом малоэффективен.



Рисунок 1.7 – Конструкция и внешний вид солнечных воскотопок

Таким образом, производительность перетопки воскового сырья второго и третьего сорта на солнечных или водяных воскотопках «сухого» типа будет очень невысокой.

Паровая воскотопка (рис. 1.8), как и водяная, представляет собой две емкости – внешнюю и внутреннюю, разделенные водяной рубашкой, но в паровых воскотопках верхняя половина внутренней ёмкости снабжена перфорацией. Работа данного вида устройства осуществляется следующим образом. Сырье, отделенное от рамок восковой основы сотов и разделенное на куски, площадью не более 250 см^2 , помещают в сетчатую кассету, которую вставляют во внутреннюю емкость воскотопки [1, 99].

В пространство между емкостями заливают воду и помещают всю эту конструкцию на огонь или электрическую плитку. Вода разогревается до кипения и начинает выходить через верхние отверстия во внутренней емкости, разогревая при этом сырье внутри кассеты. Воск расплавляется, стекает через

отверстия в кассете вниз на дно внутренней емкости и выходит через сливной патрубок. Существенным достоинством данного типа воскотопок является высокая производительность, при этом можно отметить и некоторые недостатки, прежде всего высокую трудоемкость подготовительных операций и относительно небольшой объем рабочей камеры, рассчитанной на заполнение сырьем массой не более 20 кг.

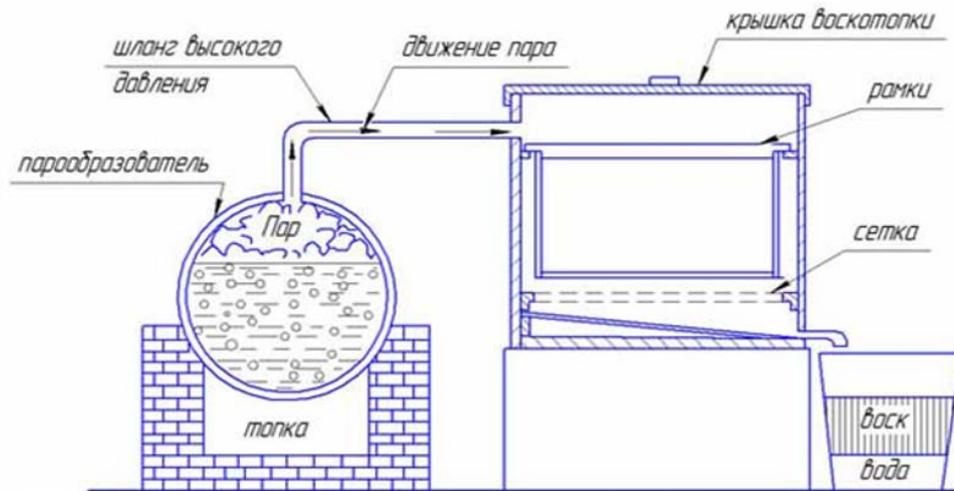


Рисунок 1.8 – Устройство воскотопки парового типа

Для пчел, имеющих большое количество пчелосемей промышленность выпускает высокопроизводительные паровые воскотопки, конструкция которых предусматривает отдельный разогрев парогенератора и подачу пара в емкости с сырьем сверху вниз (рис. 1.9) [107, 215]. Такое выполнение конструкции позволяет существенно увеличить объем рабочей камеры, что обеспечивает возможность размещать внутри целые соторамки с неотделенной восковой основой [111, 112, 304]. Таким образом, при вытопке воска из рамок дополнительно осуществляется их стерилизация, исчезает необходимость выполнять эту процедуру отдельно.

Для переработки вторичного воскового сырья как в пасечных условиях, так и в производственных, также предложен ряд устройств. Как было отмечено выше, вторичное восковое сырье – это вытопки суши сотов, в которых содержится до 50% связанного воска, извлечь который возможно лишь при создании дополнительного сдавливающего усилия [160, 161, 162]. Вытопки

разогревают до плавления воска после чего подвергают прессованию, при этом его продолжают непрерывно нагревать. Структура вытопок неоднородна поэтому под действием давления удаётся извлечь часть воска, как отмечалось ранее, более низкого качества [208, 209, 301].



а



б



в

Рисунок 1.9 – Устройство и общий вид паровой воскотопки: а – принцип действия; б – общий вид рабочей камеры

Типичная конструкция пасечного воскопресса представлена на рисунке 1.10. Он представляет из себя ступу, совмещенную с винтовым прессующим устройством, состоящим из рамы, винтовой пары с рукояткой и прессующей плиты. Предварительно разваренное восковое сырье укладывают в мешковину, и помещают внутрь ступы, затем вращением рукоятки медленно сдавливают прессующей плитой, пока на поверхность не начнет поступать расплавленный воск [298]. Современные воскопрессы выполнены из нержавеющей стали и

имеют помещаемую внутрь ступы перфорированную кассету, внутри которой над мешковиной с разваренным воскосырьем перемещается прессующая плита, а выдавливаемый воск просачивается через отверстия перфорации, стекает на дно ступы и выходит из нее через сливной патрубок.

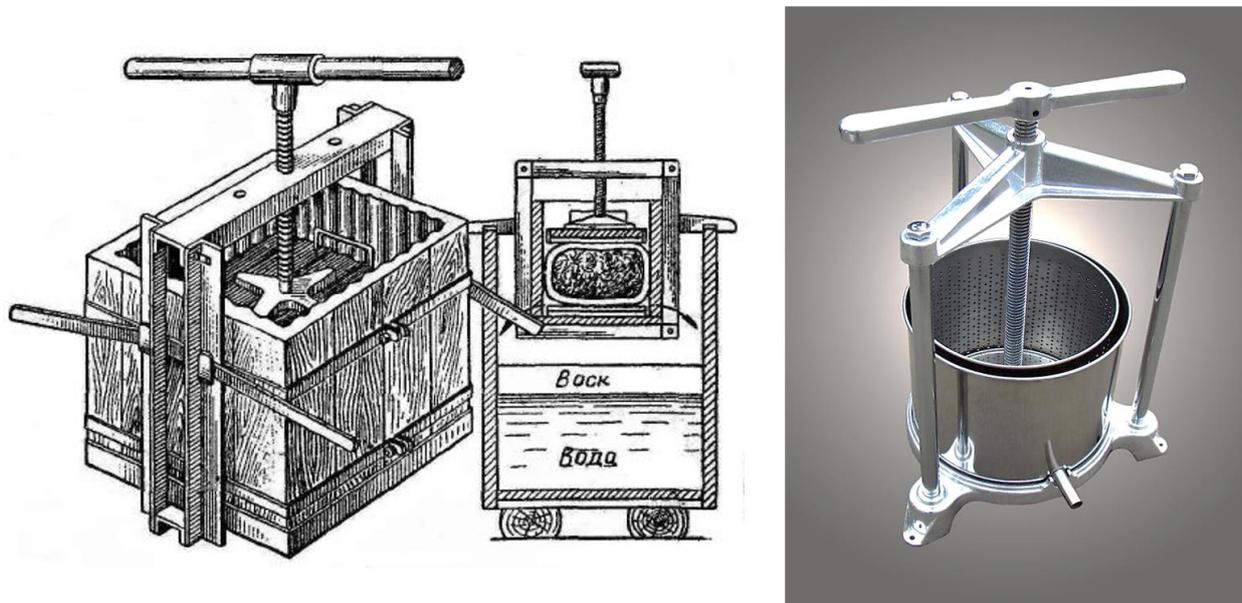
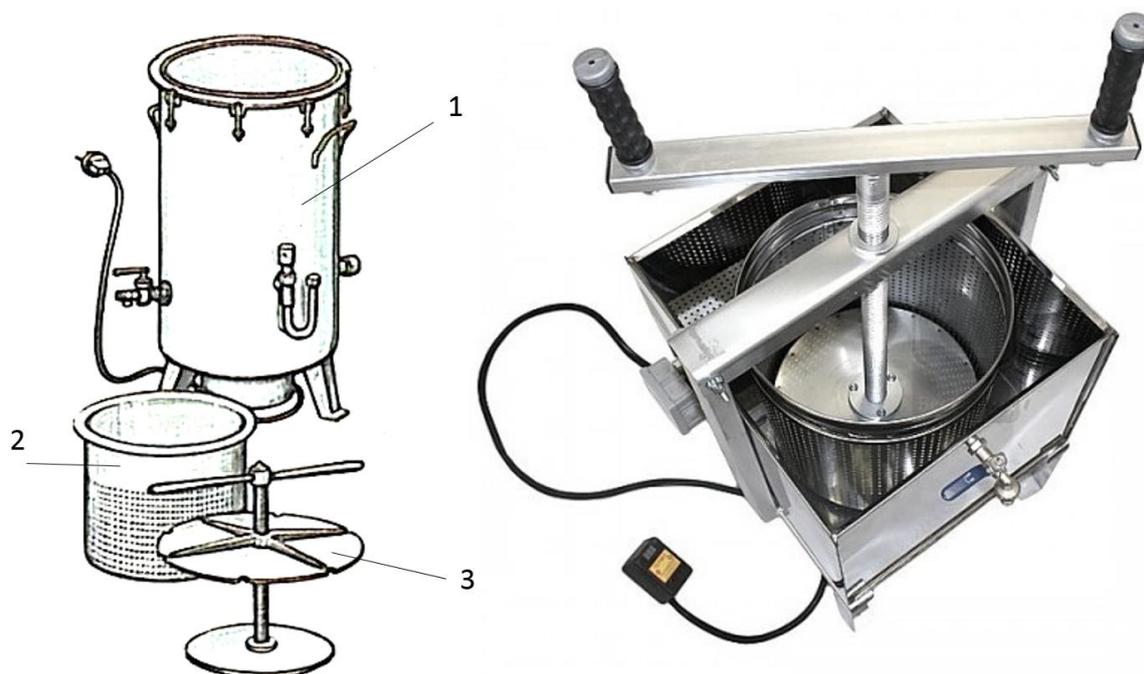


Рисунок 1.10 – Пасечный воскопресс

Существует также ряд устройств «гибридного типа», объединяющих в своей конструкции сразу несколько устройств. Наибольшее распространение получила воскотопка-воскопресс (рисунок 1.11), разработанная в отделе механизации НИИ пчеловодства, город Рыбное.

Рабочий процесс воскотопки-воскопресса осуществляется следующим образом. При переработке качественного воскового сырья включаются ТЭНы, которые разогревают минеральное масло, находящееся в двойной рубашке. Установка снабжена терморегулятором, ограничивающим температуру нагревания масла в пределах 100°C. За счет конвекции разогревается сырьё и воск вытапливается. Так реализуется сухой способ переработки сырья. Вторичное или низкокачественное сырьё перерабатывают влажным способом, для этого в пространство между рабочей и прессовальной камерами заливают воду. При нагревании вода закипает и начинает воздействовать на сырьё.

Разогреваемое сырье прессуют под действием встроенного в конструкцию винтового пресса, извлекая таким образом остатки воска.



1 – рабочая камера, 2 – камера для прессования, 3 – прессующая крышка

Рисунок 1.11 – Воскотопка-воскопресс

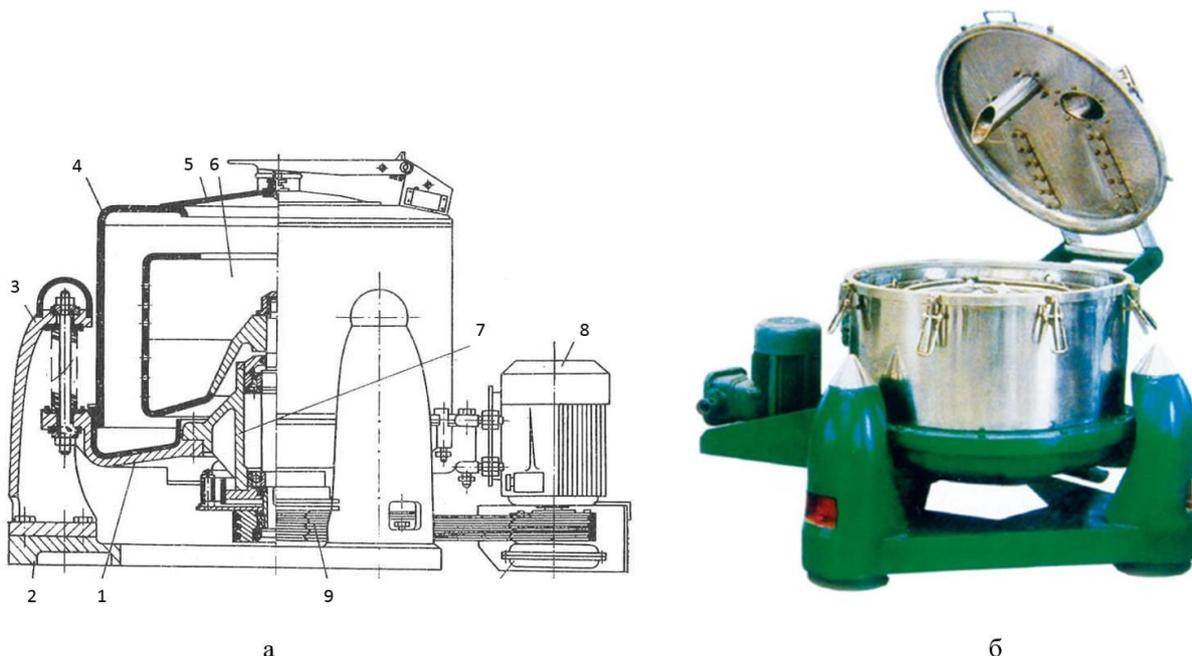
Отходы, получаемые при вытопке воска с использованием описанных выше технических средств, то есть вытопки и мерва, содержащие до 40% связанного воска, также являются восковым сырьем и подлежат переработке на воскобойных заводах, оборудованных гидропрессами и специальными центрифугами.

Гидравлические прессы, применяемые на воскобойных заводах, развивают давление от 245 до 400 кПа. Сырье подготавливают, измельчая и обрабатывая его острым паром, далее подготовленную массу разделяют дренажными прослойками в виде соломы и подвергают прессованию, в процессе которого многократно проливают водой с температурой 96-98 °С. Выделенный воск отстаивают в емкостях объемом 500 л, затем разливают в формы [298].

Вторым вариантом технического решения описанной выше проблемы могут быть установки для центрифугирования (ФМБ-600 и ТВ-600) [219].

Способ переработки воскового сырья с использованием таких центрифуг разработан и внедрен С.А. Доброхотовым [114]. Схема и внешний вид центрифуги представлен на рис. 1.12.

Основу конструкции составляет перфорированный рабочий орган 6, закрепленный на валу внутри кожуха 4, снабженного крышкой 5. Кожух 4 установлен на металлической основе 1, которая, в свою очередь, размещена на специализированном пружинном подвесе 3 [219]. Барабан 6 имеет сетчатую структуру стенок и приводится во вращение электроприводом, состоящим из электродвигателя 8 и клиноременной передачи 9. Во время работы центрифуги предусмотрена возможность подачи пара в барабан 6.



Условные обозначения: 1 – станина центрифуги; 2 – фундамент центрифуги; 3 – опорная колонна; 4 – кожух; 5 – крышка; 6 – перфорированный барабан; 7 – ротор барабана центрифуги; 8 – электродвигатель; 9 – ременная передача

Рисунок 1.12 – Промышленно выпускаемая центрифуга для отделения остатков воска из пасечных вытопок:

а – схема центрифуги; б – общий вид

Процесс адсорбции органических и механических загрязнений из воско сырья на фильтрующей центрифуге осуществляется следующим образом. Сырье предварительно доводят до измельченного состояния и придают ему

необходимую влажность 10-15%, далее его соединяют в общей массе с дренажной соломой [219], удельный вес которой в смеси должен составлять 2-4%. Полученную смесь в количестве 18-20 кг помещают в мешковину центрифуги, расположенной внутри перфорированного барабана 6, закрывают крышку 5, и включают центрифугу [298]. При вращении барабана сухая смесь воскосырья с соломой позиционируется по цилиндрической поверхности внутри камеры перерабатывающего устройства, одновременно с этим проводят обработку сформированной массы перегретым паром, температура которого достигает 103-105°C, для увеличения эффективности процесса создают внутрикамерное давление, варьирующее от 20 кПа до 40 кПа [219]. Процесс центрифугирования длится 2 часа. Обычно в воскобойных цехах устанавливают несколько таких центрифуг. При их совместной работе выходящая восководяная эмульсия направляется по общему каналу в подогреваемую приемную ванну вместимостью 600 л и отстаивается в ней в течение 10-12 часов при температуре $\geq 86^\circ\text{C}$.

В сравнении с прессованием на гидропрессах, центрифугирование является более эффективным и производительным способом получения воска из пасечных отходов. Выход воска из центрифуг больше на 5-7% [175, 213]. Тем не менее, и в заводской мерве также остается много связанного воска, содержание которого составляет до 20% [166]. Этот воск может быть извлечен только путем экстрагирования растворителями на специальных экстракционных установках и имеет исключительно техническое применение.

1.5. Анализ исследований, способов и средств извлечения воска

Поскольку с позиции пчеловодов воск является «второстепенным» продуктом, и его извлечение осуществляется из сырья, непригодного к дальнейшему использованию, долгое время в пчеловодстве этому вопросу не уделялось большого внимания. Традиционно перед переработкой воскового сырья пчеловод сортирует его по группам, условно разделяя на качественное и менее качественное сырье [130, 131]. Менее качественное сырье часто

подвергают дополнительный механической очистке с целью максимального удаления загрязнений [212, 214]. В условиях пасеки данные операции выполняются преимущественно кустарно при высоких трудовых затратах и низкой эффективности.

Все известные способы улучшения качества воска можно разделить на две группы: способы очистки воскового сырья до его перетопки и способы улучшения самого воска, уже вытопленного из воскового сырья [223, 224, 225, 226].

Как было отмечено выше, перга является основным загрязняющим компонентом воскового сырья, содержание которого в суши сотов может варьировать в широких пределах – от 0 до 85 % от общей массы сота. Чем выше содержание перги в сотах, тем ниже его восковитость, тем хуже качество получаемого из него воска [1, 99, 205]. Кроме того, наличие перги в перетапливаемом сырье способствует связыванию свободно стекающего воска и уменьшению его конечного выхода.

Известные в настоящее время технологии отделения перговых комочков от сота условно можно разбить на две вида: технологии, включающие операцию измельчения воскового сырья и технологии не предусматривающие измельчения.

Существует ряд научных работ предполагающих извлекать перговые комочки по отдельности, после операции из измельчения [219] – это способы извлечения гранул из каждой ячейки сотов [219] при помощи несложных механизированных приспособлений – вакуумного устройства (И.А. Дудов, Ю.В. Донченко) и устройства, оборудованного микрошнеком (И.В. Бибилов, Л.К. Бондарь) [129, 133]. Эти способы предполагают сохранение целостности сотов в результате извлечения перги и повторное их использование, либо перетопку в паровой воскотопке непосредственно в рамках.

Упомянутые устройства представлены на рис. 1.13.

Вакуумное устройство, изображенное на рис. 1.13-а, представляет собой проходящий внутри рукоятки пистолетного типа трубопровод, соединенный

через накопительную емкость с источником вакуума с одной стороны, и оборудованный заборным наконечником с другой стороны, при этом заборный наконечник снабжен нагревателем. Металлическую трубку, нагретую до температуры 50-55°C, внедряют внутрь восковой ячейки [133], при этом восковая основа размягчается, ослабляя связь гранулы с ячейкой, и под действием вакуума гранула перги покидает ячейку и движется через трубопровод в накопительную емкость [129, 133]. Для предотвращения попадания частиц в источник вакуума накопительная емкость сообщается с ним через заградительный фильтр.

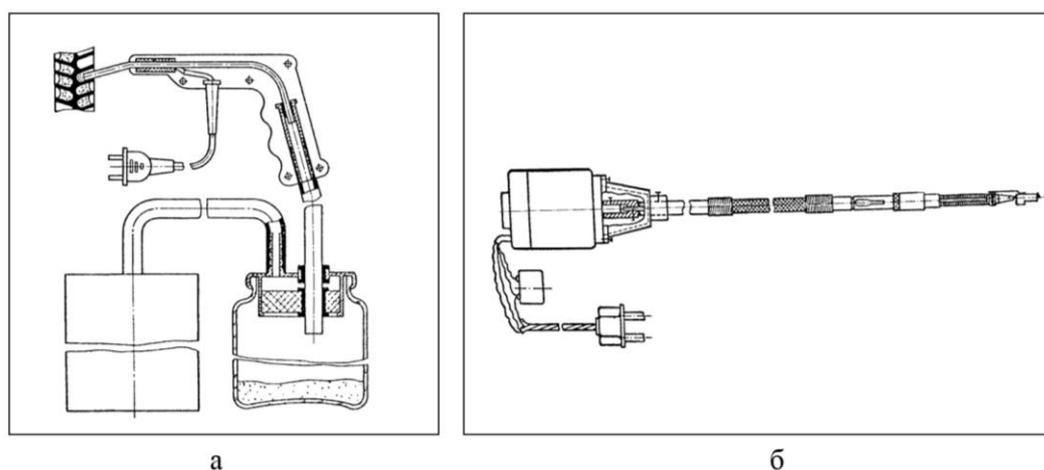


Рисунок 1.13 – Устройства, предназначенные для удаления перговых комочков поочередно из заполненных воскоячеек:

а – устройство, работающее на основе вакуума; б – устройство, рабочим органом которого является микрошнек

Для повышения производительности работы вакуумного устройства была разработана усовершенствованная его модификация с разветвленным наконечником, позволяющим обрабатывать одновременно до 6-7 ячеек.

Устройство, снабженное микрошнеком (рис. 1.13-б), включает электропривод, крутящий момент с которого передается через гибкий вал и цанговый наконечник на микрошнек, который поочередно вводится в каждую ячейку предварительно распаренных сотов. Гранулы перги, находящиеся в ячейках, под действием вращательного движения шнека отделяются от

восковой основы и продвигаются внутрь устройства, при этом каждая последующая гранула подталкивает предыдущую до тех пор, пока она не выйдет через выгрузное отверстие.

Существует также ряд механизированных высокопроизводительных технологий извлечения перги из сотов [129, 133]. Как правило, все эти технологии заключаются в последовательном выполнении ряда операций, часть из которых являются ручными, а часть механизированными:

- отбор и сортировка выбракованных сотов;
- удаление капель меда из воскового сырья (осуществляемое как правило посредством пчел);
- доведение влажности перговых комочков до требований ГОСТ [229, 232];
- формирование отдельных кусков воскового сырья, пригодных для дальнейшей переработки;
- придание подготовленным кускам хрупких свойств путем охлаждения;
- измельчение заготовленного материала до однородной массы;
- отделение перги от восковых частиц [133] на решетках или посредством пневмосепарации.

В настоящее время практически все приведенные выше операции механизированы. По данным исследователей, восковое сырье, получаемое посредством описанной выше технологии, является низкокачественным, так как оно сильно загрязнено (на 35-40% от массы воска) измельченной и практически неотделяемой от него пергой [129, 133].

Использование данной технологии требует наличия комплекса машин, специализированных производственных помещений и обслуживающего персонала, что ограничивает ее применение в пчеловодческих хозяйствах различного типа.

Другая группа способов улучшения качества вытапливаемого воска связана с различными технологиями обработки полученного продукта, процессы выполняют либо после его теплового экстрагирования из воскового

сырья [219], либо после приобретения им твердости [219]. Далее приводится описание нескольких наиболее распространенных способов очистки воска как с сохранением его природной структуры и свойств, так и с их изменением [129, 133].

Воск, уже вытопленный из сотов и находящийся в горячем (расплавленном) состоянии, может быть подвергнут очистке путем отстаивания, а также действием химических реагентов (рис. 1.14).

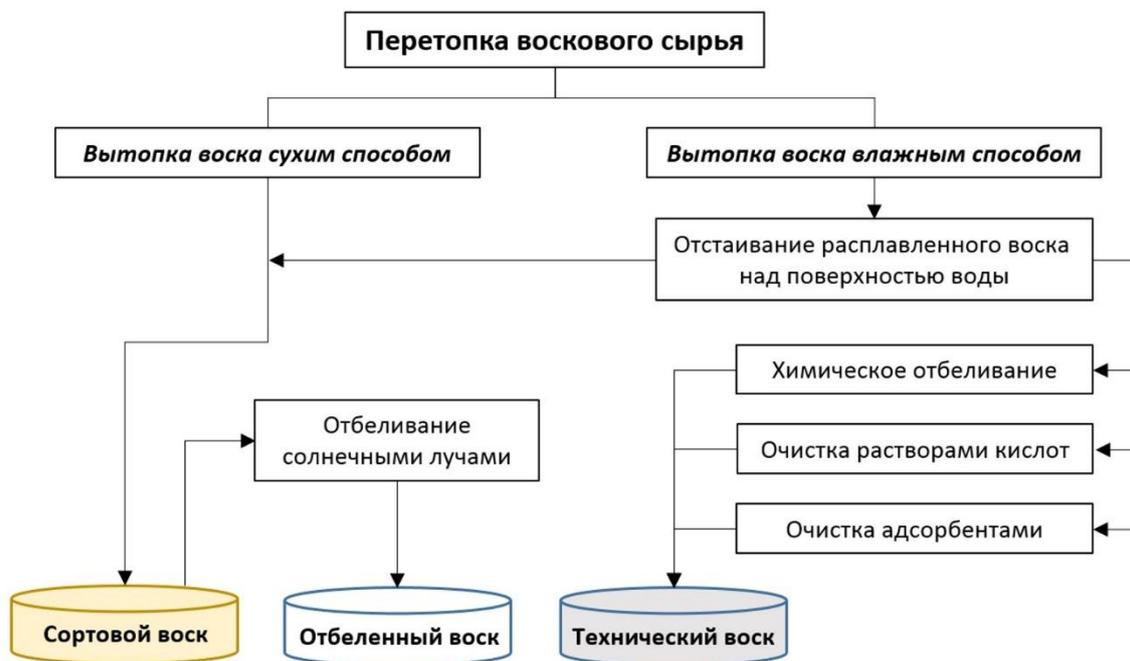


Рисунок 1.14 – Способы улучшения качества готового воска

Первый (традиционный) способ улучшения качества готового воска предполагает проведение гравитационного разделения путем фракционирования расплавленного воска над горячей водой в течение определенного периода времени [147]. Емкость с находящимся в ней в горячей воде расплавленным воском на ее поверхности закрывают со всех сторон материей, обеспечивая хорошую теплоизоляцию, и оставляют на несколько суток. Находящиеся в воске тяжелые примеси (пыльца, перга, коконы и т.п.) медленно оседают и собираются на нижней поверхности будущего слитка [163, 164]. После завершения процесса отстаивания воду из емкости сливают, извлекают застывший воск и скребком удаляют с нижней части слитка все

накопившиеся примеси. От длительности процесса отстаивания зависит качество получаемого воска. Если застывание произойдет быстро, или отстаивание вовсе не будет проведено, то слиток получится рыхлым, менее твердым, неоднородным по цвету и структуре, качество такого воска будет низким. Достоинством описанной технологии является сохранение всех свойств натурального товарного воска, возможность его использования для изготовления вошины. К недостаткам можно отнести технологическую длительность, трудоемкость, а также потери воска при отскабливании поверхности [7, 147].

Следующие способы улучшения качества готового воска связаны с изменением его природной структуры и свойств, как физических, так и химических, и являются поэтому менее предпочтительными, но нашедшими применение в производстве технического воска. Сюда относятся отбеливание (солнечное и химическое), а также обработка растворами кислот и адсорбентами.

При интенсивном комбинированном физико-химическом воздействии на продукт в нем протекают комплексные изменения – происходят как нарушения самой структуры воскового сырья, так и разрушения остатков органических компонентов [219, 237, 244, 249]. Применяют солнечное отбеливание, а также химическое отбеливание [219].

Чтобы активизировать эффект от действия солнца, продукт мельчат до состояния крошки или опилок, тогда солнечное излучение действует на продукт интенсивнее. Отбеливание длится 10-60 дней при периодическом увлажнении и ворошении. Затем стружку перетапливают и повторяют цикл несколько раз до достижения требуемого качества отбеливания.

Химическому отбеливанию подвергают как твердый, так и расплавленный воск, а также его эмульсии и растворы в органических растворителях. Химическое отбеливание осуществляют в щелочной или кислой среде, при этом происходит депигментация красящих непредельных соединений (преимущественно олефинов) и закисей пуриновых оснований

синтезом кетоспиртов, карбоновых и оксикарбоновых кислот и периксидов [219]. Осуществляемые реакции обеспечивают изменения физико-механических характеристик получаемого переработанного продукта [219], который становится более твердым, плотным и хрупким. Температура плавления отбеленного воска несколько выше обычного [188].

В качестве адсорбентов для очистки расплавленного воска применяют обычно активированный уголь, реже – диатомиты или инфузорную землю.

Как было отмечено выше, воск, отбеленный или очищенный адсорбентами и кислотами, не является сортовым и не может быть использован в пчеловодстве при производстве вошины. Это технический воск, применяемый в некоторых отраслях промышленности, кроме пищевой и фармацевтической.

1.6. Постановка научной проблемы и гипотезы

На основании анализа результатов ряда исследований [188, 256], изложенных выше, можно заключить, что воск является важнейшим природным продуктом, не имеющим полноценных синтетических аналогов, спрос на который со стороны промышленности и самой пчеловодческой отрасли неуклонно растет.

Воск обладает уникальным набором физических и химических свойств, что дает ему широкий спектр применений.

Основной проблемой, возникающей при производстве воска из воскового сырья непосредственно на пасеках, является сильная загрязненность суши сотов натуральными органическими отходами, являющимися естественными продуктами жизнедеятельности пчел. Это перга, пыльца, остатки меда, экскременты, коконы личинок пчел, прополис. В основной своей массе данные загрязнители представлены водорастворимыми продуктами (перга, мед, прополис и экскременты), среди которых наибольшую долю занимает перга [151, 152, 190]. Ее наличие в пчелиных сотах значительно снижает их восковитость, что способствует потерям воска при перетопке. Взаимодействие

загрязнений и продукта в жидком состоянии приводит к образованию отходов, непригодных для применения в народном хозяйстве.

Все известные способы улучшения качества воска можно разделить на две группы: способы очистки воскового сырья до его перетопки и способы улучшения самого воска, уже вытопленного из воскового сырья.

Широко применяемым способом очистки готового воска является его длительное отстаивания в горячем состоянии над поверхностью воды. Однако этот способ эффективен при небольшой загрязненности перетапливаемых сотов первого или второго сорта. Для улучшения воска, полученного из сотов третьего сорта, а также прессового или заводского воска, прибегают к способам, изменяющим его естественные природные свойства и состав. Это отбеливание солнечными лучами или растворами кислот, обработка различными химическими реактивами и адсорбентами. Данный воск не может быть применен в пчеловодстве, а также в ряде других важнейших отраслей.

Механизированные технологии удаления загрязнений из воскового сырья до его переработки в воскотопке в настоящее время разработаны недостаточно. Такое положение связано с тем, что перетопка пчелиных сотов осуществляется в условиях пчеловодческой пасеки. В нашей стране 93,7% (данные 2020г.) пчелосемей принадлежат личным подсобным хозяйствам, и численность семей не превышает нескольких десятков [194]. В связи с этим механизация данного направления недостаточно развита. В настоящее время известны традиционные полукустарные способы, такие как вымачивание сотов, в воде в течение длительного времени с периодической заменой воды. При этом часть водорастворимых органических загрязнений растворяется в воде, а следовательно, восковитость и чистота воскового сырья повышается. Существующий способ малоэффективен так как позволяет удалить из сырья незначительный объем загрязнений, а также несет в себе риски порчи сырья.

На основе анализа изложенной выше информации, представляется наиболее перспективным изучить целесообразность применения исследуемых способов очистки воскового сырья от загрязнений перед перетопкой.

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

Научная проблема – организация эффективной очистки воскового сырья до вытопки из него воска при соблюдении всех установленных нормативной документацией требований.

1.7. Выводы по главе 1

1. Анализ способов получения воска показывает, что значительная часть этого продукта теряется при тепловой перетопке, впитываясь в расплавленном виде в органические загрязнения, содержащиеся в сырье. Контакт органических загрязнений и расплавленного воска вызывает загрязнение последнего, что требует проведения дополнительных технологических операций по его очистке. Извлечение воска из органических загрязнений не всегда представляется экономически целесообразным, так как получаемый продукт является некондиционным, вследствие чего область его применения весьма ограничена.

2. Наиболее перспективный путь увеличения выхода воска из загрязненного воскового сырья и повышения его чистоты – вытопка воска из предварительно очищенного сырья.

3. Анализ свойств органических загрязнений воскового сырья показывает, что значительная доля загрязнений является водорастворимыми, что позволяет говорить о создании специализированного оборудования, позволяющего проводить очистку в воде воскового сырья перед тепловой переработкой.

1.8. Задачи исследований

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить 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.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

2.1. Анализ критериев оценки качества воскового сырья

К важнейшим показателям качества воскового сырья, определяющим сортность как самого сырья, так и вытапливаемого из него воска, относятся такие показатели как влажность (массовая доля воды) и восковитость (массовая доля воска).

Показатели влажности и восковитости взаимосвязаны [126]. При одинаковом значении восковитости сырья, но при различной его влажности выход воска будет неодинаковым. При переработке более влажного сырья его выход будет меньше, а в вытопках будет содержаться больше воска, чем при переработке сухого воскового сырья. В связи с этим базовое понятие «восковитость» разделяют на два понятия: 1) восковитость при пересчете на вес качественного продукта, лишенного влаги; 2) восковитость при известной величине содержания воды сырьем [219].

Эти две величины выражаются одно через другое следующим пересчетом [187, 217]:

$$V' = \frac{V}{(100 - W)} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где V' – содержание воска в сухом веществе [219], %; V – содержание воска при заданной величине влажности [219], %; W – содержание несвязанной воды в перерабатываемом продукте [219], %.

В состав воскового сырья кроме воды входят и другие не восковые компоненты, как растворимые, так и нерастворимые в воде.

К числу не восковых нерастворимых в воде компонентам относят различные механические примеси и коконы, остающиеся после выведения расплода. Пергу и экскременты пчел относят к частично растворимым компонентам. Все эти нерастворимые примеси образуют мерву – отход воскового сырья, получаемый после отжима воска путем прессования. Восковитость мервы может достигать 30%.

К числу не восковых растворимых в воде компонентам относят в основном мед и прополис. В результате влажной переработки воскосырья все растворимые вещества стекают вместе с водой и образуют потерю массы (убыль сырья или т.н. угар).

Соотношение нерастворимых и растворимых в воде загрязнений воскового сырья установлено В.А. Темновым [283, 284]:

$$\frac{HK}{PK} = 1.2 \dots 1.25, \quad (2.2)$$

где НК – содержание нерастворимых компонентов, %; РК – содержание растворимых компонентов, %.

Данное соотношение не учитывает влажность воскового сырья.

Нерастворимые и растворимые в воде компоненты воскосырья составляют не восковую его часть:

$$P = HK + PK = 100 - V, \quad (2.3)$$

где V – восковитость сырья, %.

Эти два соотношения позволяют легко определить количество содержащихся в сырье растворимых и нерастворимых компонентов, если известна его восковитость.

Как следует из первого соотношения, количество содержащихся в воскосырье нерастворимых компонентов выше, чем растворимых. Это особенно характерно для сотов, осушенных от меда, с низким содержанием перги и прополиса, а также для вытопок и мервы.

Промывание или разваривание воскосырья способствует удалению из него растворимых компонентов, при этом образуется «угар», т.е. убыль массы, а восковитость сырья увеличивается. Выход воска из такого «обогащенного» воскового сырья выше [120, 238].

Зависимость влажности воскового сырья от температуры (по данным Темнова В.А.) [283] приведена в таблице 2.1.

Анализ представленных в таблице 2.1 данных позволяет определить четкую тенденцию, из которой видно, что не восковые примеси являются

преимущественно гигроскопичными компонентами, и их содержание в восковом сырье способствует увеличению его влажности. Чем ниже сорт воскового сырья (т.е. чем выше содержание не восковых компонентов и ниже его восковитость), а влажность как следствие выше.

Таблица 2.1 – Зависимость содержания воды в восковом сырье от сорта.

Восковое сырье	Влажность, %
Сушь 1-го сорта	0,1 - 0,5
Сушь 2-го сорта	0,5 - 2,2
Сушь 3-го сорта	2,2 - 3,8
Вытопки и мерва	6 - 8

Поскольку воск может содержаться в сырье в различных химически связанных состояниях, условно различают свободное и связанное состояние. Свободный воск – это свежий продукт, практически в чистом виде не имеет значительного количества загрязнений поэтому, при нагревании воскового сырья [219] он легко отделяется, стекая в воскосборник. Сырье с высоким содержанием свободного воска целесообразно перерабатывать сухим способом на солнечной воскотопке. Свободный воск также легко выделяется при разваривании воскосырья.

Связанный воск находится внутри микропор и капилляров не восковых компонентов воскосырья и может быть частично выделен из них при значительных усилиях, оказываемых рабочими органами прессов различного типа. Однако, как бы сильно не было спрессовано сырье, общий внутренний объем микропор и капилляров все равно не может быть сжат до нуля, и в нем остается некоторая часть связанного воска. Поэтому при прессовании, гораздо большее значение имеет не сила сжатия, а кратность прессования с промежуточным ворошением воскосырья. При прессовании происходят множественные химико-физические взаимодействия между органическими загрязнениями и компонентами воска. Вместе с извлекаемым продуктом выходят и загрязнения – большое количество растворенных в нем не восковых

примесей, поэтому качество прессового воска [219] значительно ниже качества воска, выделенного свободным стеканием.

После прессования даже заводская мерва имеет остаточную восковитость до 18-25%. Этот связанный воск может быть выделен из мервы лишь путем экстрагирования органическими растворителями. Воск, полученный на воскоэкстракционных установках, называется экстракционным воском и может быть использован только для технических целей.

В научно-исследовательском институте пчеловодства, г. Рыбное, был проведен ряд исследований по установлению влияния восковитости воскового сырья на содержание свободного воска [151]. Исследования проводились при сухой перетопке, а также при разваривании. Экспериментальный материал подобрали таким образом, что вариация показателем восковитости составила от 34,2 до 90%. Результаты представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Зависимость содержания свободного воска в восковом сырье от ее восковитости [219].

Восковитость суши, %	Свободный воск, % от массы суши	
	Сухая перетопка	Разваривание в воде
90%	80,5%	84,8%
80%	60,9%	69,6%
70%	41,6%	54,4%
60%	22,5%	39,2%
50%	2,75%	24%
48,6%	0%	-
40%	-	8,8%
34,2%	-	-

Вследствие изучения результатов научных исследований, полученных пчеловедами-исследователями [157, 158, 219], стало известно, что сушь, восковитость которой составляет меньше 40%, практически не содержит свободного воска. При приближении восковитости к 100%, что характерно для свежееотстроенных сотов, сушь почти полностью состоит из свободного воска.

Из результатов данного исследования также следует, что свободный воск выделяется в большем количестве при разваривании воскосырья, нежели при сухой перетопке. Объясняется данный эффект содержанием в восковом сырье растворимых примесей, которые также, как и нерастворимые не восковые компоненты, связывают часть свободного воска, а при разваривании высвобождают его.

2.2. Анализ эффективности существующих способов очистки воскового сырья

Анализ данных, приведенных в главе 1 и в п. 2.1, показывает, что увеличить процент выхода воска, извлекаемого из воскового сырья, возможно путем очистки его от органических загрязнений.

В первой главе было выделено два основных направления улучшения качества пчелиного воска с применением наиболее известных на сегодняшний день механизированных и традиционных «ручных» способов. Первое направление связано с предварительной подготовкой воскового сырья к его тепловой переработке.

Поскольку наибольший вес во всем спектре загрязняющих компонентов воскосырья занимает перга, в первой главе рассмотрены наиболее известные технологические приемы извлечения перговых комочков из воскового сырья, которые объединяют в две группы: технологии с разрушением восковой основы (измельчение и последующее сепарирование измельченной массы) и технологии с сохранением целостности сотов (вытряхивание и виброочистка).

Последовательность технологических операций известных в настоящее время способов очистки воскового сырья представлена в виде схемы на рис. 2.1. Способы извлечения перги из сотов предполагают получение воскового сырья как побочного продукта. В связи с этим, качество получаемого продукта не отвечает требованиям ГОСТа 31775-2012 (Сырье восковое) [195, 302]. Воск, получаемый в результате перетапливания этого сырья, сильно загрязнен измельченной пергой. Исследования показывают, что в среднем содержание перги в «побочном сырье» варьирует в диапазоне от 30% до 60% в пересчете на

чистый вес продукта [148, 150]. В результате извлечения перги из сотов путем применения механизированных технологий получается восковое сырье более низкого качества, чем было до переработки сотов, так как в целых сотах восковая основа была насыщена перговыми гранулами, имеющими строгие геометрические размеры (диаметр 5,4-6 мм, длина 5-9 мм) [261], которые возможно частично выделить из расплава воска, а в полученном измельченном восковом ворохе перга содержится в виде крошки [220, 221, 222]. Площадь контакта перги и воска во время перетопки плохо очищенного сырья многократно возрастает, что в конечном итоге значительно ухудшает качество воска. Выполненные ранее исследования доказывают неэффективность очистки воска вибрационными способами в воздушной среде [43, 47, 72]. Поэтому совершенствовать это направление на наш взгляд не целесообразно.

Второе направление предполагает очистку самого воска после его выделения из сырья. В данном случае единственным известным способом очистки с сохранением всех природных свойств и структуры натурального воска является длительное отстаивание расплавленного воска над поверхностью горячей воды. Вода в данном способе является аккумулятором тепла, назначение которого – как можно дольше сохранить воск в жидком состоянии. Данный способ позволяет незначительно очистить воск только от механических примесей, так как загрязнения, плотность которых меньше плотности воска, всплывают вверх, а более тяжелые частицы под действием силы тяжести оседают вниз. Таким образом, данный способ способствует длительному контакту расплавленного воска и содержащихся в нем загрязнений, что приводит к их химическому взаимодействию, а в итоге к частичной порче воска.

Все остальные способы повышения качества воска (отбеливание, обработка кислотами и адсорбентами) связаны с изменением физических и химических свойств, в результате чего воск получает ограниченное применение и не может быть использован в целом ряде отраслей, включая воспроизводство пчеловодческого хозяйства.

Наиболее целесообразно исследовать первое направление повышения качества воска, то есть разработать способы предварительной очистки воскового сырья от органических загрязнений перед его перетопкой [219].

В условиях средней российской пасеки, численность пчелосемей которой не превышает 100, пчеловод, как правило, не имеет средств для механизации очистки воскового сырья, а ограничивается его сортировкой. В осенний период, во время пасечных работ, направленных на создание условий для зимовки пчел, часть соторамок оказываются выбракованными по причине их непригодности для дальнейшего использования. Выбракованные соторамки разделяют на три категории, ориентируясь на визуальные показатели: цвет восковой основы и количество загрязнений. К первой категории относят наиболее светлые рамки с наименьшим количеством загрязнений. Полученный при перетопке сотов этой категории воск обладает наилучшими качествами. Более темные и загрязненные соты используются для получения воска 2-го или 3-го сорта. Самые загрязненные соты сдают вместе с мервой на воскобойный завод или, при небольшом их количестве, утилизируют вместе с бытовыми отходами.

Пчеловод-практик, понимая необходимость очистки сотов, пытается выполнить эту операцию ручными способами, например, ударяя соторамки о твердую поверхность, но таким образом удастся извлечь незначительное количество загрязнений.

2.3. Предлагаемые механизированные способы очистки воскового сырья

Предлагаемые в результате проведенных научных исследований способы очистки воскового сырья относятся к новым механизированным технологиям в пчеловодстве [231, 233] приложение О, и поэтому должны отвечать всем современным требованиям, предъявляемым в данной отрасли, а именно:

- обеспечивать получение высококачественного воскового сырья, отвечающего требованиям ГОСТа 31775-2012 (Сырье восковое);
- уменьшить до минимума потери сырья, из которого будет извлечен воск [219] в процессе очистки;

- обеспечить снижение себестоимости воска, получаемого из очищенного посредством предлагаемых способов воскового сырья,
- обеспечить снижение себестоимости продуктов пчеловодства за счет повышения эффективности поддержания воскового баланса пчел;
- отвечать требованиям экологической безопасности.

Обеспечение снижения себестоимости вытапливаемого воска возможно путем увеличения его выхода в результате качественной подготовки воскового сырья к перетопке, избавления от впитывающих органических примесей, а также путем снижения трудоемкости и энергоемкости выполняемых операций.

Повышение эффективности поддержания воскового баланса пчел, а, как следствие, и снижение себестоимости остальной продукции пчеловодства, возможно путем многократного использования рамок с отстроенными сотами, которые необходимо подвергнуть дополнительной очистке.

Получение высококачественного воскового сырья с минимальными его потерями в процессе очистки возможно путем создания специализированного оборудования (установок), отвечающего нормам экологической безопасности.

С учетом отмеченных выше положений, с целью повышения качества и выхода товарного воска, соответствующего ГОСТ 31775-2012, нами предложены способы очистки измельченного воскового сырья и целых пчелиных сот, а также механизированные средства (установки) для их осуществления. Разработанные технологические решения, описанные в способах, защищены патентами РФ на изобретение (пат. РФ №2656968 и №2662169) [231, 233]. Новизна конструкций устройств для выполнения операций способов также защищена патентами РФ на изобретение (пат. РФ № 2672403, № 2634432, № 2708918, №2667734) [235, 230, 236, 234].

Наилучшие результаты, по нашему мнению, дает дифференцированный подход к очистке сот, то есть предполагающий проведение предварительной сортировки воскосырья по качеству в соответствии с тем, как это традиционно выполняет пчеловод в условиях пасеки (см. п. 2.2), а после сортировки проводить очистку менее загрязненного воскового сырья посредством

гидровибрационной очистки (пат. РФ №2662169), а более загрязненного – в соответствии со способом (пат. РФ №2656968). Данный подход увеличивает эффективность использования пчелиных сот, часть из которых возможно опять вернуть в улей. Таким образом, повышается медовая и опылительная активность пчелиной семьи, так как исчезает необходимость отстраивать новые соты.

Способ, основанный на гидровибрационной очистке (пат. РФ №2662169), выполняется следующим образом. Соторамки вместе с загрязненной восковой основой помещают в воду с температурой 15-25 °С на 2-4 часа. При этом верхний слой загрязнений (преимущественно перги) толщиной 1-3 мм напитывается водой и, как следствие, изменяет свои физические свойства – утрачивает прочность, размягчается. Поскольку загрязнения имеют довольно плотную структуру, и их полное увлажнение может занять несколько суток, соторамки извлекают из воды и подвергают скарификации путем прокалывания. В перговых гранулах образуются углубления, способствующие ускоренному насыщению их влагой. После скарификации соты повторно помещают в воду на 1-2 часа, в течение которых влага проникает в более глубокие слои загрязнений. На подготовленные таким образом соторамки воздействуют вибрацией с частотой 45-60 Гц и амплитудой 1,5-2 мм в течение 60-120 секунд, благодаря чему происходит практически полное удаление загрязнений из ячеек.

Более загрязненное сырье (темные соты) содержат загрязнения, как в ячейках, так и включенные в восковую основу. Извлекая загрязнения только из ячеек сота, невозможно добиться полной очистки воскового сырья. Поэтому необходимо проводить очистку воскового сырья по всему объему продукта. Для решения обозначенной проблемы нами предложен способ, защищенный патентом РФ № 2656968 [231]. Основные технологические операции предложенного способа (включенные в отличительную часть формулы изобретения) приведены на схеме (рис. 2.1).

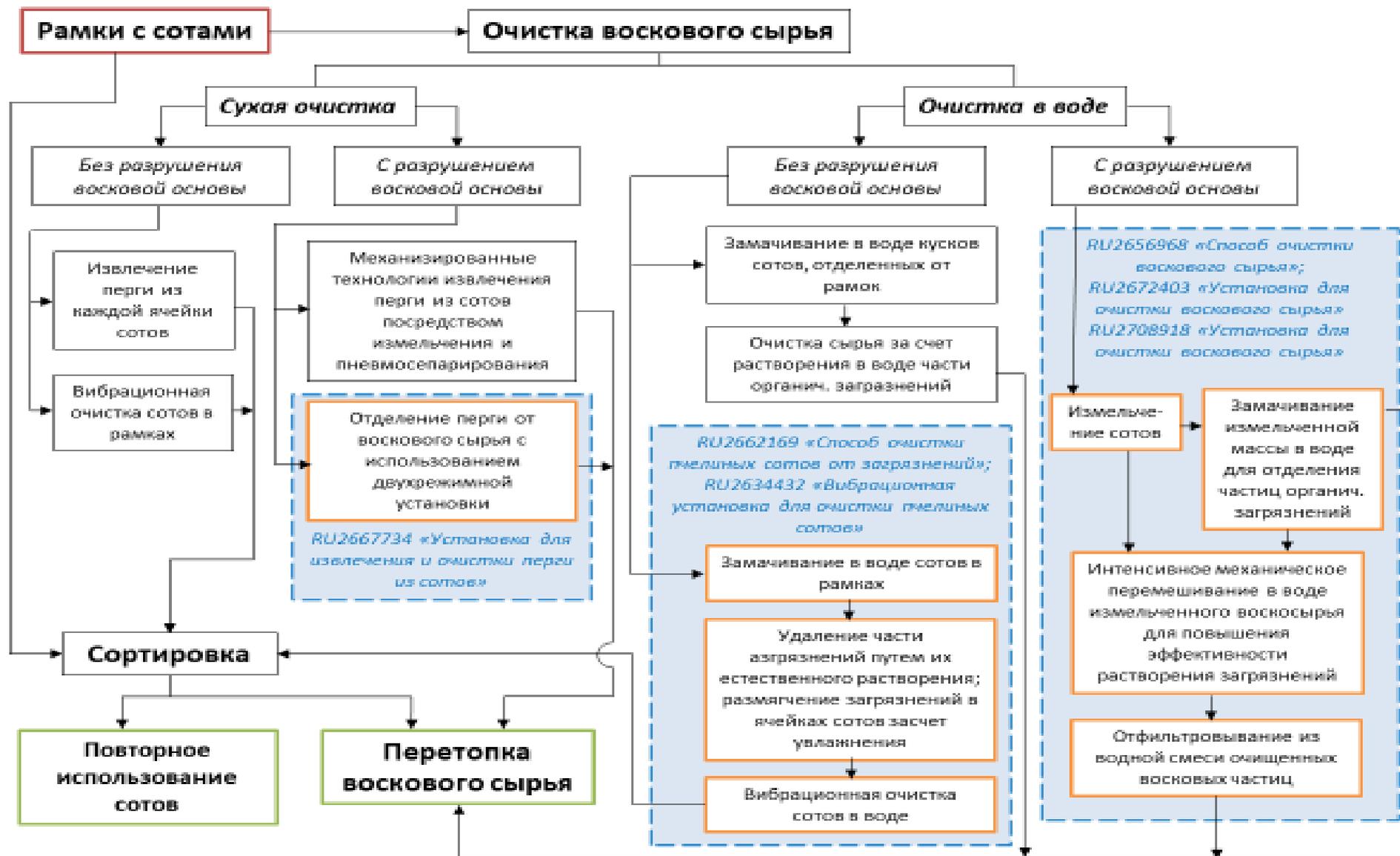


Рисунок 2.1 – Классификация способов очистки воскового сырья до тепловой переработки

Способ выполняется следующим образом. Восковое сырье предварительно измельчают так, чтобы гранулы перги, находящиеся в ячейках сотов, были разрушены, далее полученный воскоперговый ворох замачивают в воде при температуре 30-35 °С, в соотношении 1:3 по массе [191, 231], в течение 2-3 часов при слабом ламинарном перемешивании (интенсивность перемешивания находится в интервале 3-10 Вт/дм³). В данном режиме перга и другие органические загрязнения частично разрушаются, ускоряется процесс влагопоглощения. Затем водяную смесь подвергают интенсивному турбулентному перемешиванию (с интенсивностью 15-25 Вт/дм³). Длительность данного режима составляет 6-10 минут.

Оставшиеся частицы загрязнений полностью разрушаются и диспергируются в воде, а полученный раствор по окончании процесса очистки отстаивают в течение 1 часа и отфильтровывают через сито.

Очистку воскового сырья, полученного из старых или сильно запергованных сотов, следует проводить в несколько циклов.

Содержание загрязнений в отмытых таким образом восковых частицах, как правило, не превышает 2%. Такое сырье пригодно к перетопке на воскотопках всех типов.

Выводы по главе 2

1. В результате анализа известных технологий и технических средств очистки воска определено, что наиболее целесообразно проводить извлечение органических и механических загрязнений из воскового сырья до перетопки, так как при этом снижается количество загрязнений в получаемом продукте и увеличивается процент выхода воска из него, при этом не нарушается его естественный химический состав.

2. Общим признаком предложенных способов (патенты РФ №2662169, №2656968) является очистка восковой основы в водной среде, предварительное вымачивание материала в течение продолжительного времени с последующим механическим воздействием посредством перемешивания или вибрации, так

как большая часть органических загрязнений при контакте с водой активно диспергируется.

3. Эффективность очистки воскового сырья при использовании способов (пат. РФ №2662169, №2656968) достигается благодаря применению новых технологических приемов и их эффективному сочетанию, в частности, в способе (пат. РФ №2662169) используется гидровибрационное воздействие, а в способе (пат. РФ №2656968) – измельчение и перемешивание при интенсивности, введенные операции существенно активизируют процесс диспергирования органических загрязнений в воде.

4. Для получения наилучших экономических показателей процесса очистки воскового сырья в условиях крупной пасеки целесообразно применять дифференцированный подход: отсортировывать светлые наименее загрязненные соты и перерабатывать их в соответствии со способом (пат. РФ №2662169), а более загрязненное восковое сырье – в соответствии со способом (пат. РФ №2656968). Предложенный подход в ряде случаев позволяет повысить эффективность использования сотового хозяйства пасеки.

5. Анализ операций механизированных способов очистки воскового сырья от органических загрязнений позволяет разработать конструкции специализированных средств механизации, обеспечивающих выполнение основных технологических операций в одном устройстве, в частности для выполнения способа (пат. РФ №2656968) разработана установка для очистки воскового сырья (пат. РФ № 2672403; пат. РФ № 2708918), а для способа (пат. РФ №2662169) – вибрационная установка для очистки пчелиных сотов (пат. РФ № 2634432).

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

3.1. Программа лабораторных исследований

Для выбора рациональной схемы очистки выбракованного воскового сырья от различного рода загрязнений [219] и создания специализированного оборудования необходимо знать некоторые физико-механические свойства воска и его органических загрязнений, для этого необходимо [28, 29, 31]:

- определить влияние количества загрязнений, содержащихся в восковом сырье на процент извлекаемого из него воска;
- исследовать зависимость объемной массы двух основных компонентов воскового сырья (восковой основы, перговых комочков) от среднего размера их частиц в массе после измельчения;
- исследовать растворимость загрязнений воскового сырья в воде;
- определить рациональный размер частиц, получаемых в результате измельчения воскового сырья [219], и требуемой гранулометрический состав органических загрязнений, до которого следует измельчать эти компоненты для корректной реализации способов (пат. РФ № 2656968 и пат. РФ № 2662169).

3.1.1. Методика исследования выхода воска из сырья в зависимости от количества содержащихся в нем загрязнений

На протяжении всего периода существования промышленного пчеловодства пчелиный воск, пригодный для применения в производственной сфере и пчеловодстве, получали путем вытопки из сырья [146, 154, 281].

Для количественной оценки физического эффекта, оказываемого органическими загрязнениями на выход воска при его вытопке из воскового сырья, была проведена серия опытов.

Известно, что основным загрязнителем воскового сырья является перга. Многие пчеловоды применяют различного рода технологии извлечения перги из выбракованных сотов. При этом побочным продуктом получается восковое

сыре, которое представляет собой измельченную массу частиц воска, перемешанную с измельченной перговой крошкой, причем отношение масс компонентов может меняться в широком диапазоне [31]. В связи с выше сказанным, проводимый эксперимент должен установить зависимость критерия оптимизации (процента извлекаемого из сырья воска) от следующих факторов:

- количества загрязнений, содержащихся в восковом сырье;
- гранулометрического состава перерабатываемого сырья.

Из литературных источников известно, что количество воска в пчелиных сотах варьирует в диапазоне от 0,16 до 0,48 кг, а количество перги в выбракованных перговых сотах может составлять от 0,1 до 0,86 кг [146, 154].

Для проведения опыта, устанавливающего связь между загрязненностью воскового сырья и количеством качественного продукта, вытапливаемого из старых сотов, был получен воск класса «капанец». Воск подвергали воздействию отрицательных температур на протяжении суток. Охлажденный продукт измельчали на измельчителе ударного действия и рассеивали на требуемые фракции посредством ситового отсева. Гранулометрический состав фракций составлял 1,75, 3,75 и 5,75 мм (целые гранулы). Такие же подготовительные технологические операции проводили и с гранулами перги, как с основным загрязнителем сотов. Восковитость изучаемого сырья устанавливали в соответствии с требованиями (ГОСТ 31775-2012).

Затем восковые частицы смешивали с фракцией загрязнений, но в требуемом для опыта количественном составе. В соответствии с приведенной методикой были получены фракции, имеющие восковитость 76%, 66%, 56%, 46% и 36% [50, 51, 52].

Количество загрязнений вычисляли по формулам [60, 64]:

$$m = M_H \cdot \left(\frac{V_1 - V_2}{V_2} \right) \cdot \left(1 - \frac{W_{B.C.}}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{W_{II}}{100} \right)^{-1}, \quad (3.1)$$

где M_H – масса пробы воскового сырья, полученного из качественного, предварительно очищенного продукта, г; V_1 – требуемое для выполнения каждого опыта содержание воска в сырье, % (принимается 76%); V_2 – величина

содержания продукта в восковом сырье, воспроизводимая при выполнении опыта, %; $W_{B.C.}$ – значение влажности подготовленного для опытов сырья, %; W_{II} – значение влажности подготовленных для опыта органических загрязнений, смешиваемых с воском, %.

Для исследования процесса с двумя факторами был выбран не композиционный ротатабельный план второго порядка типа правильного шестиугольника с четырьмя центральными точками [3, 94, 180]. Данный план предусматривает проведение 10 опытов, из которых шесть выполняются при уровнях факторов, расположенных в вершинах шестиугольника, и четыре опыта – при уровнях факторов, соответствующих центру плана [219].

Уровни и интервалы варьирования факторами представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования						Интервал варьирования	
			-1	-0,866	-0,5	0	+0,5	+0,866		+1
Величина воско содержания	X1	%	36		46	56	66		76	10
Г/м состав	X2	мм		1,75		3,75		5,75		2

В соответствии с выбранным планом, для фактора X1 «восковитость искусственно загрязненного сырья» использовали пять уровней (+1; +0,5; 0; -0,5; -1), и трех уровней (+0,866; 0; -0,866) – для фактора X2 «средний гранулометрический состав загрязнений» [219].

Эксперимент выполняли в соответствии с планом по следующей методике. Полученную воскоперговую массу перемешивали до однородной консистенции. Из массы формировали навески массой 500 ± 10 г, которые загружали в паровую воскотопку марки ВТП. В процессе перетопки получался воск, внутри воскотопки оставалась масса перговых частиц, пропитанных воском, дальнейшее извлечение из которой воска посредством воскотопки не

представляется возможным. Количество полученного воска взвешивали на весах марки ВЛТК-500М с точностью до 0,01 г. Выход воска из перетопленного искусственно загрязненного сырья определяли по следующей формуле [75, 85]:

$$P = \frac{M_{\Pi}}{M_{Н}} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где P – выход воска, %; M_{Π} – масса воска, полученная в результате перетопки искусственно загрязненного сырья, г; $M_{Н}$ – масса пробы получивший заданное количество загрязнений, г.

Опыты проводили с 3-х кратной повторностью в каждой точке.

3.1.2. Методика исследования объемной массы компонентов воскового сырья

Для выполнения опытов на установке для извлечения перги конструкции Каширина Д.Е. [133] из воскового сырья были получены перговые гранулы [69, 128]. Анализ влажности показал, что усредненная влажность продукта варьирует в диапазоне 10...14% [33]. Полученные гранулы повторно охлаждали до отрицательных температур и измельчали на измельчителе ударного действия до состояния однородной массы. Выработанную таким образом перговую массу рассеивали на специально сформированном ситовом рассеве для получения имманентно усредненных фракций, размер частиц которых составлял 1,75 мм, 3,75 мм и 5,75 мм (рис. 3.1) [119].

Для получения различных фракций воска, необходимых для проведения опытов, восковое сырье в виде суши высшего сорта охлаждали до отрицательных температур и измельчали на измельчителе ударного действия, после чего посредством ситового отсева получали фракции высококачественного воска, имеющие усредненный размер 3 мм, 5,5 мм и > 6 мм (рис. 3.2).



Рисунок 3.1 – Выделенные из перговой измельченной массы фракции:
 а – фракция, сформированная из неповрежденных гранул перы (5,75 мм); б –
 фракция с усредненным размером частиц 3,75 мм; в – фракция с усредненным
 размером частиц 1,75 мм

Исследование тенденций изменения объемной массы выполняли в полном соответствии с методикой (ГОСТ 10840-2017), используя измерительную пурку ПХ-1. Ключевые моменты этапов выполнения опытов приведены на рис. 3.3. Для получения величины достоверности, составляющей не менее 90%, повторность соблюдения экспериментального комплекса условий равнялась 2.



Рисунок 3.2 – Подготовленное для проведения опытов измельченные фракции воскового сырья, лишённые загрязнений: а – усредненный размер частиц > 6 мм; б – усредненный размер частиц 5 мм; в – усредненный размер частиц 3 мм

Статистический анализ опытных данных, получаемых в результате выполнения исследования, предполагал осуществление поэтапного анализа (рис. 3.3) (ГОСТ 28254-2014). На первом этапе определяли средние статистические данные, а на следующем проводили соотношение данных.

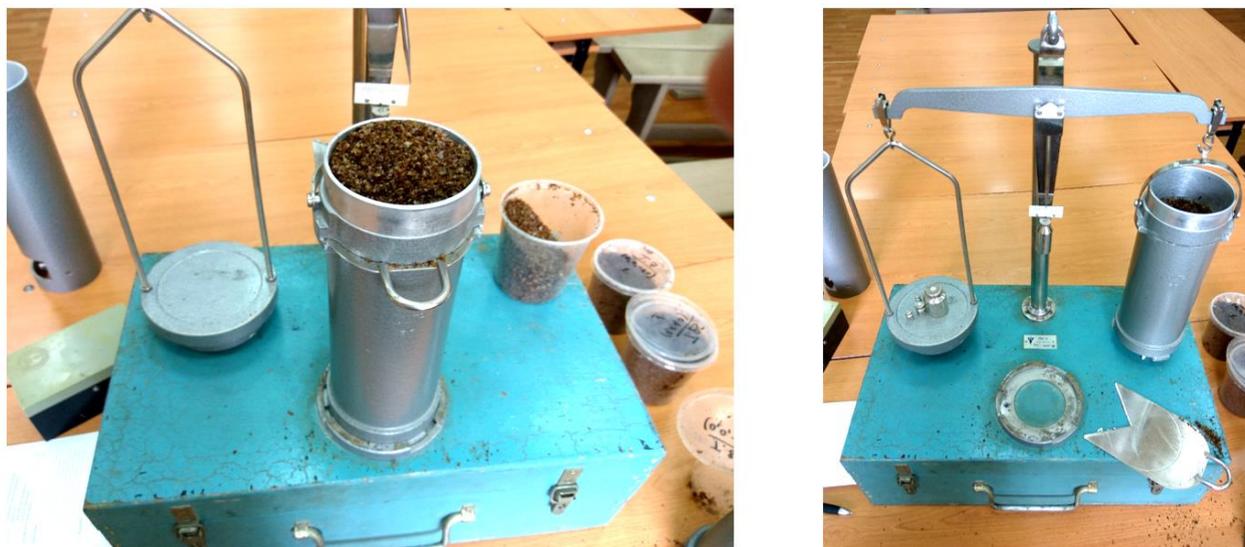


Рисунок 3.3 – Этапы методики определения изменения объемной массы исследуемых продуктов

3.1.3. Исследование естественного диспергирования перги

Предлагаемые нами способы очистки воскового сырья основаны на растворении (диспергировании) органических загрязнений в воде.

Основной органический загрязнитель сотов – перга – представляет собой продукт жизнедеятельности пчел, состоящий из твердых пыльцевых зерен, связанных секретом их слюнных желез и медом [6, 156, 305]. При этом пыльцевые зерна имеют весьма твердую оболочку, практически не поддающуюся растворению в органических растворителях. Поэтому говорить о растворении перги в воде возможно с определенными допущениями. Будет корректнее называть данный процесс диспергированием, то есть разделение перговых гранул в воде на отдельные пыльцевые зерна при растворении водорастворимых связующих компонентов. Из литературных источников известно, что пчеловоды в условиях пасеки выдерживают сырье в воде с целью его частичной очистки от загрязнений. Но точные количественные данные об

условиях очистки и получаемом результате отсутствуют. Данное положение, по-видимому, объясняется большим количеством внешних факторов, значимо влияющих на процесс диспергирования загрязнений. В связи с этим, от такой очистки воскового сырья следует ожидать лишь частичный результат.

Свойства основного загрязнителя воскового сырья (перги) весьма лабильны [91, 101]. Естественная влажность этого продукта зависит от условий хранения и может варьировать в диапазоне от 12 до 28%. В результате применения различных технологий извлечения перги из сотов получается измельченная перга, гранулометрический состав которой варьирует от 5,75 мм (целые гранулы) до 1,75 мм.

Результаты предварительных исследований [35, 44, 60, 68] показывают, что на процесс диспергирования загрязнений также значимо влияет температура воды и продолжительность нахождения сырья в воде.

Принимая во внимание все изложенные выше соображения нами, было решено исследовать влияние на критерий оптимизации (процент не растворившихся загрязнений P , %) следующих естественных производственных факторов:

- время выдержки загрязненного воскового сырья в воде;
- температура воды;
- начальная относительная влажность перги;
- гранулометрический состав перги.

Анализ предварительно проведенных исследований показал, что помещенная в воду гранула перги сначала некоторое время размокает, насыщается влагой, затем размягчается, постепенно превращаясь в бесформенную массу [68, 74, 90]. Растворимые компоненты перги (мед, ферменты и пр.) переходят в водяной раствор, окрашивая его в прозрачный желтый или светло-коричневый цвет, а нерастворимые твердые частицы (пыльца) образуют в воде дисперсную фазу (взвесь или осадок) [100, 105]. Связанные с гранулами перги частицы воска и органических оболочек высвобождаются и всплывают на поверхность (рис. 3.4).



а

б

в

Рисунок 3.4 – Процесс естественного диспергирования перги в воде при температуре 20-22 °С:

а – перга, помещенная в воду, непосредственно после погружения; б – процесс диспергирования через 12 часов наблюдений; в – процесс диспергирования через 30 часов наблюдений

Таким образом, водный раствор перги представляет собой легко расслаивающуюся суспензию.

Так как к современным технологиям предъявляется ряд требований, в частности возможность переработки сотов любого качества, для проведения опытов был выбран диапазон варьирования влажностью продукта от 11 до 29%. Нижний уровень варьирования 11-12% соответствует требованиям ГОСТа к извлекаемой перге (ГОСТ 31776-2012), при котором возможно измельчение перговых сотов на штифтовых измельчителях. Верхний уровень до 27-29% соответствует максимальной влажности, которую перга способна достичь, находясь на атмосферном воздухе [53, 56, 57, 59]. Свежая, нативная перга имеет влажность обычно 19-23% (средний уровень) [67, 71].

Максимальное значение температуры воды, применяемой для растворения перги, составляло 42 °С, так как дальнейшее повышение приводит к увеличению адгезии восковых частиц и измельченных загрязнений, что затрудняет процесс очистки [33, 68, 74]. При температуре воды ниже 8 °С

(нижний уровень), по данным предварительных экспериментов, процесс диспергирования существенно замедляется [68, 74].

Минимальное значение данного фактора составляло 8 °С, так как более низкая температура будет значительно снижать скорость процесса диспергирования, что находит доказательства в материалах априорных исследований [68, 74].

Гранулометрический состав измельченной перги варьировал в диапазоне от 1,75 мм до 5,75 мм. Перга – продукт, имеющий довольно низкую плотность, поэтому скорость витания ее частиц невысока, а следовательно, получить путем измельчения гранул сырья в ударной дробилке фракцию со средним размером частиц менее 1,75 мм весьма затруднительно. Верхний диапазон исследуемого фактора ограничивался размером неповрежденных гранул, находящихся в ячейках сота.

Фактор «время замачивания продукта» исследовали в диапазоне воздействия от 2 до 26 часов. Серии предварительно выполненных исследований показали, что момент начала процесс диспергирования в среднем составляет 2 часа, а предельное с технологических позиций время не должно превышать 26 часов (рис. 3.4) [35, 37].

Поскольку предложенный нами способ очистки воска, защищенный патентами РФ на изобретение (пат. РФ №2656968) [231], предполагает проведение фильтрации очищенной массы восковых частиц от органических загрязнений, диспергированных и растворенных в воде, критерием оптимизации было решено считать остаток перги на сите.

Размер восковых частиц в восковом ворохе находится в диапазоне от 1,5 до 150 мм², следовательно, при просеивании вороха через сито с размером отверстий 0,5×0,5 мм весь воск остается на сите. Поэтому необходимо диспергировать загрязнения с размером частиц $\geq 0,5$ мм.

Для экспериментального определения рационального сочетания описанных выше факторов, обеспечивающих получение минимального

значения критерия оптимизации, было решено провести четырехфакторный трехуровневый эксперимент.

Исследуемые факторы и выбранные диапазоны их изучения приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал варьирования	
			нижний	нулевой	верхний		
			Кодированное обозначение				
			-1	0	+1		
1	Время	X1	час	2	14	26	12
2	Температура	X2	°С	8	25	42	17
3	Отн. влажность	X3	%	12	20	28	8
4	Гранулометрический состав	X4	мм	1,75	3,75	5,75	2

Использование плана проведения опытов, имеющего предельное количество дробных реплик, предполагает получение максимума экспериментальной информации при минимально возможном количестве испытаний, при этом выполняется условие обеспечения заданной величины достоверности. Для реализации выбранного плана необходимо было провести 25 опытов.

Осуществление такого трудозатратного исследования предполагает проведения организационно-технологических решений, в частности поэтапного выполнения исследования:

- первый этап направлен на подготовку всех исследуемых навесок и оборудования;
- на втором этапе непосредственно проводятся опыты;
- третий этап предполагает снятие весовых характеристик, полученных после вакуумной фильтрации материала и регистрации опытных данных;
- четвертый этап предполагает выполнение статистического поэтапного исследования данных, установленных в результате опыта.

Подготовку экспериментального материала проводили следующим образом.

Перга, извлеченная из выбракованных пчелиных сотов, привезенных из различных районов Рязанской области, с применением механизированной технологии ее извлечения [133, 216], подлежала измельчению на лабораторной мельнице УМП (ГОСТ 2374-81) и рассеиванию полученной массы на ситовом отсеивателе, сформированном из 3-х сит с диаметром отверстий 0,5; 3 и 4,5 мм. Таким образом, верхний уровень фактора «гранулометрический состав» представлен фракцией, состоящей из целых перговых гранул со средним размером гранул 5,75 мм; нулевой и нижний уровни образуют фракции со средним размером частиц 3,75 и 1,75 мм.

Относительную влажность материала W , % определяли по стандартной методике (ГОСТ 31776-2012). Исследуемую пробу перги весом $2 \pm 0,2$ г. в алюминиевой хорошо вычищенной бюксе помещали в сушильный шкаф 2В-151 (ТУ64-1-1411-72) и сушили при температуре 105 ± 2 °С в течение 3 часов, затем взвешивали на весах марки ВЛТК-500М с точностью до 0,01 г. Высушивание и взвешивание повторяли до достижения постоянной массы [45, 216, 219]. Достоверное значение влажности W , % определяли по формуле [45]:

$$W = \frac{m_H - m_K}{m_K} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где m_H – начальная масса навески, г.; m_K – конечная масса навески после высушивания, г.

Проводили два параллельных измерения и определяли среднюю величину.

Каждую фракцию разделяли на три части и доводили до требуемого уровня влажности путем подсушивания или добавления влаги. При подсушивании навески взвешивали и доводили до требуемой массы m_T , г., определяемой по формуле:

$$m_T = m_H \cdot \frac{W_T + 100}{W_H + 100}, \quad (3.4)$$

где m_H – начальная масса навески, г.; m_T – требуемая масса навески, г.; W_H – первоначальная относительная влажность навески, %;

W_T – требуемая относительная влажность навески, %.

Масса добавляемой воды при увлажнении материала (равно, как и удаляемой при подсушивании) определяется выражением:

$$\Delta_m = \frac{m_H \cdot (W_T - W_H)}{W_H + 100}. \quad (3.5)$$

Увлажненную пергу выдерживали в герметично закрытой емкости в течение двух недель.

Перговый продукт, который по плану проведения опытов должен иметь меньшую влажность, чем нативная перга, подвергали дополнительной сушке путем выдерживания в сушильном шкафу при температуре 43-45°C на протяжении суток и более.

Таким образом, рассортированные по влажности и гранулометрическому составу пробы герметично запечатывали в полипропиленовые пакеты толщиной 35 мкм, маркировали и хранили в таком виде до начала проведения эксперимента (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Перга, сортированная по влажности и гранулометрическому составу (первый этап, заключающийся в подготовке всех исследуемых навесок и оборудования)

Улучшить достоверность опытных данных при проведении намеченного исследования возможно путем снижения частоты статистических выбросов, поэтому до начала исследования пергу выдерживали в эксикаторах для перераспределения влаги в продукте до однородного состояния. Период выдерживания составлял, как правило, более 15 дней. Подготовленный таким образом продукт подвергали дальнейшему воздействию в соответствии с планом опытов.

Для этого, перед проведением опытов, герметично закрытые пакеты распечатывали, на весах марки ВЛКТ-500 формировали навески массой 7 ± 2 г. с точностью до 0,01 г., которые помещали в одинаковые по объему емкости с дистиллированной водой и выдерживали в них при требуемых значениях температуры воды и времени замачивания в соответствии с планом эксперимента (рис. 3.6-а). Повторность опытов в каждой точке равна 3.

По истечении времени замачивания каждую емкость (закрытую крышкой) извлекали из термостата, 2-3 раза переворачивали, без интенсивного взбалтывания, после чего содержимое отфильтровывали через сито с размером отверстий $0,5 \times 0,5$ мм (рис. 3.6-б).

Оставшиеся на решетке не диспергированные частицы смывали холодной дистиллированной водой в отдельную емкость, из которой полученную смесь подвергали вакуумному фильтрованию через обеззоленные фильтры диаметром 12,5 см (рис. 3.6-в).

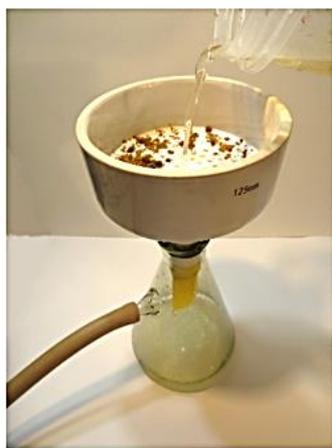
Каждый фильтр предварительно пронумеровали, высушивали и взвешивали на весах марки ВЛКТ-500. После фильтрования фильтры с частицами осадка помещали в лабораторный сушильный шкаф марки 2В-151 (ТУ64-1-1411-72), где выдерживали при температуре 102-105 °С в течении 4-6 часов (рис. 3.6-г), затем повторно взвешивали высушенные фильтры с отцеженным осадком [11].



а



б



в



г

Рисунок 3.6 – Этапы проведения эксперимента по определению влияния времени, температуры, влажности и гранулометрического состава на гигроскопические свойства перги: а – емкости с пробами в воде, помещенные в термостат; б – фильтрование не растворившегося осадка через сито; в – вакуумное фильтрование; г – сушка обеззоленных фильтров с осадком

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

$$P = \frac{M_{\Phi+O} - M_{\Phi}}{M_H} \cdot \left(1 + \frac{W_H}{100}\right) \cdot 100, \quad (3.6)$$

где $M_{\Phi+O}$ – 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.

3.1.4. Методика получения и статистической обработки экспериментальных данных

Обеспечить высокую достоверность математической модели, описывающей исследуемый процесс, возможно путем увеличения объема статистической информации [3, 180], а также путем соблюдения алгоритма обработки экспериментальных данных. При анализе исследуемых факторов учитывали, что факторы должны быть независимы (не коррелируемы), управляемы и однородны [2]. Для описания большинства исследуемых процессов наилучшим образом подходит многомерный степенной полином вида [172]:

$$y(x_1, x_2, \dots, x_k) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (3.7)$$

где k – число, характеризующее количество исследуемых факторов; x_i – факторы, $i = \overline{(1, k)}$; a_0 , a_i , a_{ij} , a_{ii} – коэффициенты при многочленах, характеризующие параметры регрессии.

Установленные опытные данные использовали для вычисления коэффициентов регрессии, после чего проводили проверку на воспроизводимость и однородность дисперсий.

Величину дисперсии для каждой серии опытов, соответствующей строке в плане проведения опытов, вычисляли по формуле [219]:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2}{m - 1}, \quad (3.8)$$

где m – число выполнений опытов при проведении эксперимента; y_i – величина отклика в каждом повторении i -го опыта; \bar{y}_i – усредненная величина функции отклика в i -м опыте.

Определение величины критерия Кохрена наиболее целесообразно проводить по формуле [219]:

$$G_{расч.} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (3.9)$$

где n – число воспроизводимости опытов; S_{\max}^2 – значение максимальной дисперсии.

Проверку воспроизводимости по критерию Кохрена $G_{расч.}$ производили установлением соотношения с аналитически рассчитанными значениями

$$G_{0,05}(m-1, n),$$

где $m-1$ – число степеней свободы; 0,05 – уровень значимости [219].

Первый этап статистической обработки опытных данных предполагает сравнение однородности дисперсий, исходя из условия: $G_{расч.} < G_{0,05}(m-1, n)$. Если требование выполняется, статистический материал проходит дальнейшие обработки.

Наиболее рациональной формой интерпретации результатов расчетов является запись в виде матрицы:

$$a = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (3.10)$$

где a – вектор характеризующий показатели регрессии с размерностью $(r \times 1)$; r – общее число определяемых параметров; X – матрица системного вида $(n \times r)$, установленная методом векторного сочетания X_0, X_i, X_{ij}, X_i^2 ; X_0 – векторная величина единичного вида $(n \times 1)$ [216]; X_i – значение векторной величины $(n \times 1)$ уровней i -го фактора в действительных величинах на основе плана эксперимента, $i = \overline{1, k}$ [216]; X_{ij} – значение векторной величины, характеризующей уровень взаимных действий размерности факторов $(n \times 1)$ i -го и j -го, $1 \leq i < j \leq k$ [216]; Y – значение векторной величины $(n \times 1)$, характеризующей уровень взаимодействия переменной опытных данных [216];

Последующим этапом статистической проверки установленной модели является оценка ее адекватности. Наиболее распространенным и зарекомендовавшим методом оценки является (критерий – F):

$$F = \frac{S_n^2}{S_e^2}, \quad (3.11)$$

где S_n^2 – дисперсия, характеризующая показатель неадекватности экспериментальных данных [216]; S_e^2 – оценка величины дисперсии при однократном опыте [216].

Величины дисперсий, используемых в уравнении (3.11), вычисляются на основе формул [216]:

$$S_n^2 = \frac{m \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{n - k}, \quad (3.12)$$

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n \cdot (m - 1)}, \quad (3.13)$$

где y_{ij} – данные измерений с учетом воспроизводимости [216]; \bar{y}_i – количественная оценка результатов эксперимента в i -м опыте [216]; \hat{y}_i – величина, характеризующая значения функции отклика, рассчитанных по эмпирической модели [216].

Величина оценочного показателя F -критерия и установленная при прочих равных условиях, приведенная в таблице (критическая величина), подвергаются сравнению. Уровни значимости $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,1$, выбирается в соответствии с количеством $\phi_1 = n - k$ и $\phi_2 = n \cdot (m - 1)$ степеней свободы [216].

В том случае, если выполняется условие $F < F_{кр}$, вывод об адекватности уравнения принимается с вероятностью ошибки, условно соответствующей выбранной величине α [216].

При допущении соответствия уравнения регрессии адекватности, выполняют расчет значений коэффициентов доверительного интервала [216].

На первом этапе рассчитывается возможная величина ошибки дисперсии [216]:

$$s^2 = \frac{S_e^2}{m} \quad (3.14)$$

После проведения вычислений определяется вид матрицы ковариации с величинами ошибок \hat{a}_i [216]:

$$K = s^2 \cdot (X^T X)^{-1} \quad (3.15)$$

Числовые значения диагонали матрицы K_{ii} позволяют определить значения дисперсий ранние вычисленных коэффициентов \hat{a}_i [216].

Границы доверительного интервала для точно определенных величин коэффициентов a_i находим путем вычисления выражения [216, 219]:

$$\left(\hat{a}_i - t_{кр} \cdot \sqrt{K_{ii}}\right) < a_i < \left(\hat{a}_i + t_{кр} \cdot \sqrt{K_{ii}}\right), \quad (3.16) [219]$$

где $t_{кр}$ – алгебраически вычисленная величина критерия Стьюдента (t -критерия) [219].

В процессе алгебраического вычисления критерия Стьюдента задают количество степеней свободы $\phi 2 = n \cdot (m - 1)$, а также требуемое значение уровня значимости α [216].

В том случае, если модель является адекватной, проводят проверку коэффициентов регрессии на значимость. Вычисляют значимость коэффициентов путем сравнения, и при выполнении условия

$$|\hat{a}_i| < t_{кр} \cdot \sqrt{K_{ii}}$$

данный параметр удаляют из модели как незначимый, и проводят повторный поиск всех коэффициентов с обязательной проверкой их значимости [216].

3.2. Результаты исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в них загрязнений

3.2.1. Результаты исследования выхода воска из воскового сырья в зависимости от количества загрязнений

В результате подбора различных видов математических моделей установлено, что наилучшим образом изучаемый процесс описывает полином квадратичного вида:

$$P(V, d) = -18.326 + 2,634 \cdot d - 0.011 \cdot V^2 \quad (3.17)$$

где P , % – количество чистого воска, полученного при проведении опыта, выраженное в процентах; d , мм – средний размер частиц фракций измельченного продукта, с которым выполняли опыт; V , % – количество воска, содержащееся в опытную навеску, выраженное в процентах.

На рис. 3.7 установленный полином (3.17) приведен в виде двухмерной поверхности.

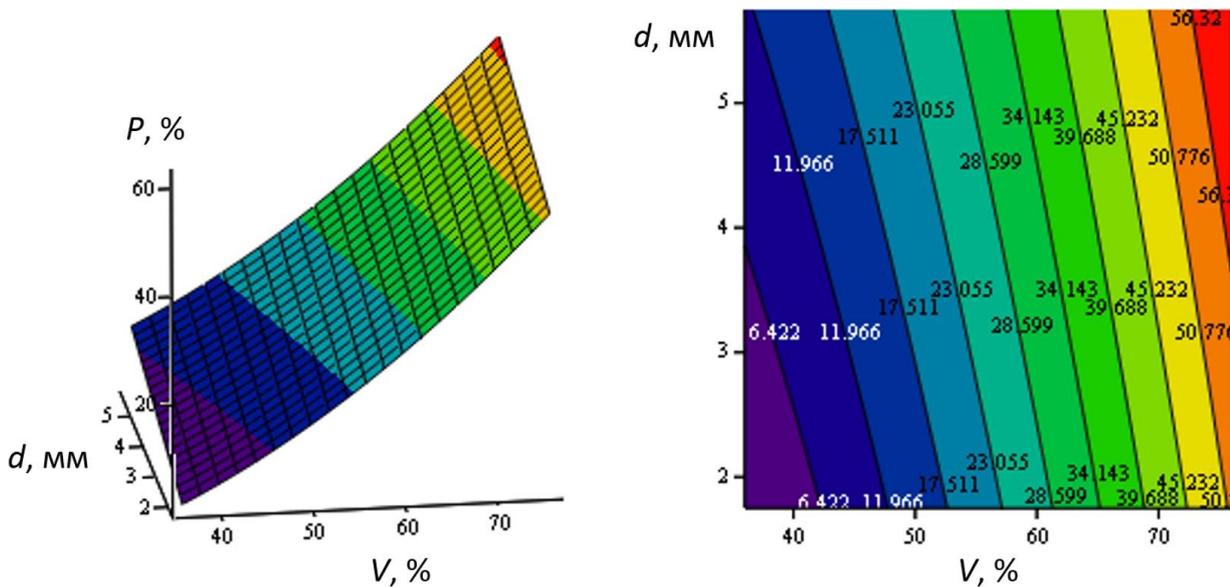


Рисунок 3.7 – Двухмерная поверхность, построенная в соответствии с математической моделью (3.17), демонстрирующая изменение критерия оптимизации (выход воска P , %) от его содержания в восковом сырье V , % и усредненного размера частиц органических загрязнений d , мм

Анализ найденной зависимости показывает, что установленная модель не имеет локальных экстремумов. Оба исследуемых фактора оказывают значимое влияние на исследуемый процесс. Критерий оптимизации обнаруживает степенной рост при увеличении содержания воска в экспериментальных навесках, а также увеличивает значения при нарастании среднего размера частиц органических загрязнений, содержащихся в пробах.

Установлено, что минимальное значение критерия оптимизации ($P = 0,9\%$) достигается при следующем сочетании исследуемых факторов $d = 1,75$ мм – средний размер частиц фракций измельченного продукта, с которым выполняли опыт; $V = 36 \%$ – количество воска, содержащиеся в опытной навеске, выраженное в процентах.

На основе полученных данных можно заключить, что гранулометрический состав значимо влияет на процесс впитывания расплавленного воска, так как у измельченных загрязнений значительно увеличивается площадь впитывающей поверхности.

3.2.2. Результаты определения объемной массы основных составляющих компонентов воскового сырья в зависимости от среднего размера их частиц в измельченном виде

Методика проведения опытов выполнялась в точном соответствии с требованиями ГОСТ 28254-2014 и ГОСТ 10840-2017.

Числовые результаты величины критерия оптимизации, полученные при экспериментальном исследовании, а также этапы статистической обработки данных эксперимента, приведены в приложении А.

В целях поведения визуального анализа, результаты исследования изменения величины объемной массы органических загрязнений воскового сырья от среднего размера частиц в измельченной массе приведены на рисунках 3.8 и 3.9.

Статистические анализ результатов опыта позволил установить, что объемная масса перги и измельченной массы воскового сырья в значительной мере зависят от их гранулометрического состава.

В итоге анализа среднего размера фракций, полученных при измельчении комочков перги размером от 5,75 мм до 1,75 мм, ее объемная масса получила увеличение от 660 кг/м³ до 1101 кг/м³, а при изменении среднего размера частиц измельченной массы воскового сырья от 6 мм до 3 мм, объемная масса нарастает от 165,5 кг/м³ до 298 кг/м³ [191, 219]. Провидимому выявленная

тенденцию возможно объяснить определенной типичностью разрушения перги и схожей геометрией образующихся частиц.

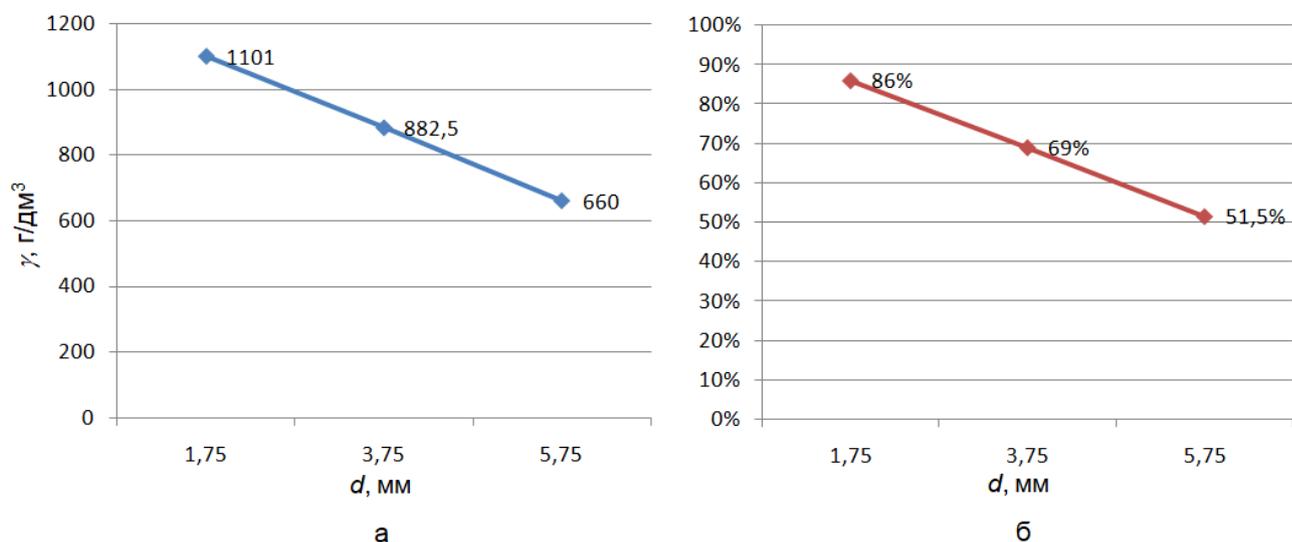


Рисунок 3.8 – Результаты определения объемной массы основного вида органических загрязнений воскового сырья: а – объемная масса органических загрязнений различной крупности частиц; б – в пересчете от средней плотности органических загрязнений.

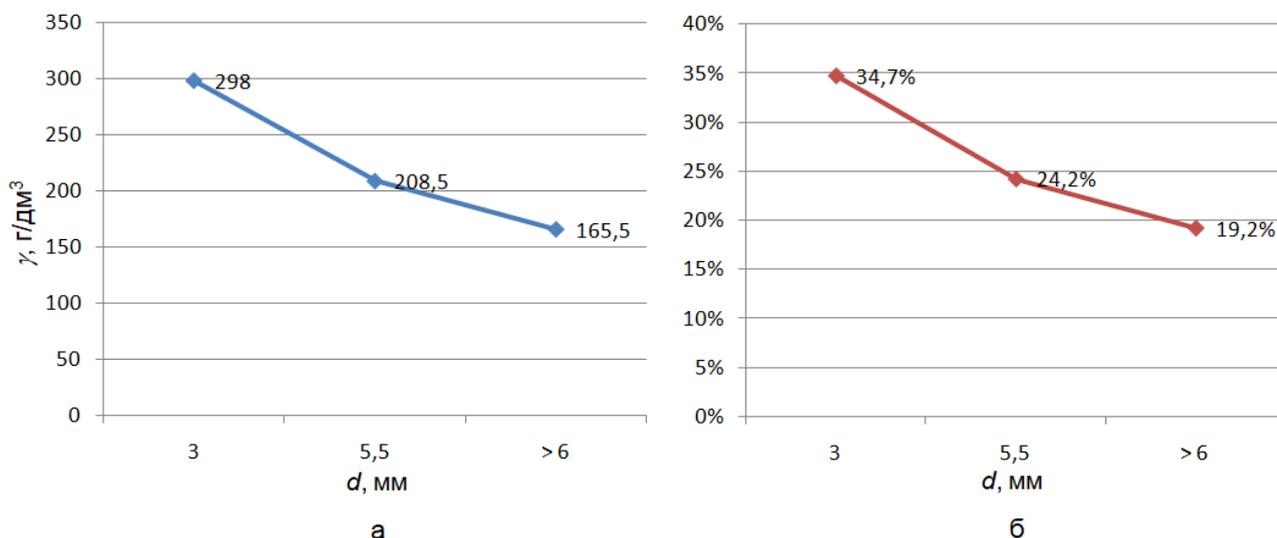


Рисунок 3.9 – Зависимости объемной массы восковых частиц различной крупности, полученные в результате измельчения очищенного воскового сырья:

а – объемная масса фракций воскового сырья; б – в пересчете от средней плотности воска

3.2.3. Результаты исследования естественного диспергирования перги

План и результаты проведенного эксперимента по определению влияния времени замачивания, температуры, относительной влажности перги и ее гранулометрического состава на количество не диспергированных загрязнений (оставшихся на фильтре) приведены в приложении Б. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась в программе Mathcad 14, результаты приведены в приложении Б.

В качестве приближающей функции выбран квадратичный полином:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=1}^4 a_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq 4} a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^4 a_{ii} \cdot x_i^2$$

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

$$P(t, T, W, d) = -19,9 + 2,95 \cdot W - 0,047 \cdot t \cdot d - 0,033 \cdot T \cdot d - 0,088 \cdot W \cdot d - 0,063 \cdot W^2 + 0,677 \cdot d^2, \quad (3.18)$$

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

Произведена проверка параметров регрессии на статистическую значимость по критерию Стьюдента на уровне $\alpha = 0,1$. Незначимыми оказались коэффициенты при факторах t , T , d , квадратичных эффектах t^2 и T^2 , а также взаимодействиях $t \cdot T$, $t \cdot W$ и $T \cdot W$.

Произведена проверка полученной модели на адекватность по критерию Фишера на уровне значимости $\alpha = 0,01$. Модель адекватна при отношении расчетного и критического значений критерия $2,198 < 2,318$ соответственно (см. приложение В).

Оптимизация полученной модели встроенными средствами Mathcad 14 позволила определить значения факторов, при которых функция (3.18) достигает минимального значения:

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

Анализируя полученную зависимость, можно выявить закономерное изменение критерия оптимизации при изменении времени замачивания и температуры воды: минимум не растворившихся частиц ожидаемо расположен на границе факторного пространства этих двух факторов. Иначе обстоит дело с влиянием начальной относительной влажности перги. На рис. 3.10 представлено графическое изображение зависимости критерия оптимизации от влажности W , % при значении 3-х факторов (t , час., T , °C и d , мм), стабилизированы на ранее определенных рациональных значениях. Из графика следует, что рациональному значению соответствует нижний уровень относительной влажности, при увеличении которой происходит нарастание количества не диспергированного осадка в растворе, и его максимум приходится на диапазон относительной влажности 20-23%, соответствующий нативной (в свежих сотах) перге, что объясняется более плотной ее консистенцией по сравнению с высушенной, рыхлой структурой.

$$P(26, 42, W, 2.696) = -22,01 + 2,71 \cdot W - 0,063 \cdot W^2$$

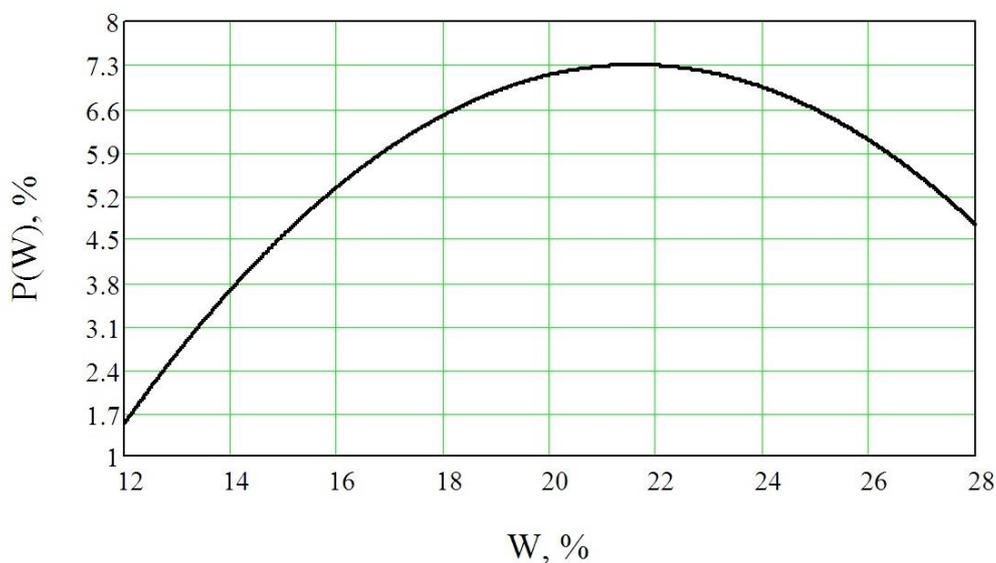


Рисунок 3.10 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений от их первоначальной влажности при значениях времени, температуры и гранулометрического состава, фиксированных на рациональных уровнях

Дальнейшее увеличение начальной относительной влажности способствует переходу консистенции в вязкое, пластичное состояние, что приводит к увеличению скорости диспергирования в воде, критерий оптимизации закономерно уменьшается. На рис. 3.11 представлено графическое изображение зависимости критерия оптимизации от начального гранулометрического состава d , мм перги до ее замачивания при значении 3-х факторов (t , час., T , °C и W , %), фиксированных на рациональных уровнях.

$$P(26, 42, 12, d) = 6,428 - 3,664 \cdot d + 0,677 \cdot d^2$$

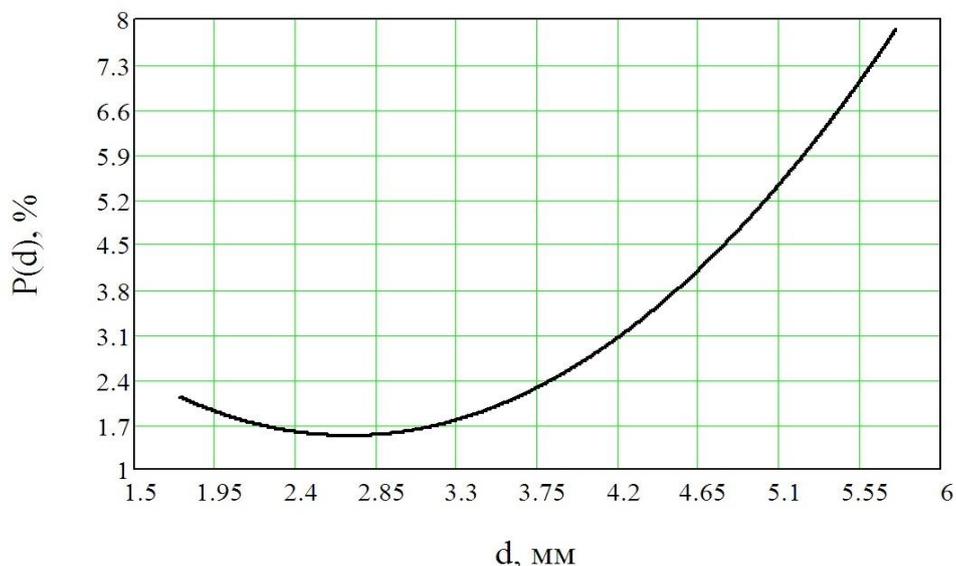


Рисунок 3.11 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений от их первоначального гранулометрического состава при значениях времени, температуры и начальной относительной влажности, фиксированных на рациональных уровнях

Небольшое увеличение количества осадка при изменении фактора в сторону уменьшения от оптимального уровня $d_{\text{оптим}} = 2,696$ мм связано с повышенным содержанием нерастворимых компонентов (обрывков коконов, восковых частиц и пр.) в мелкой фракции.

На рис. 3.12-3.14 представлены графические зависимости критерия оптимизации от двух факторов при значении остальных факторов, фиксированных на рациональных уровнях.

Анализ представленных зависимостей, показывает, что перга весьма гигроскопичный продукт, подверженный эффективному диспергированию в

воде. Возможно, подобрать режим воздействия на продукт, при котором он будет распадаться на составляющие его пылевые зерна за технологически допустимый период времени.

$$P(t, T, 12, 2.696) = 8,502 - 0,127 \cdot t - 0,09 \cdot T$$

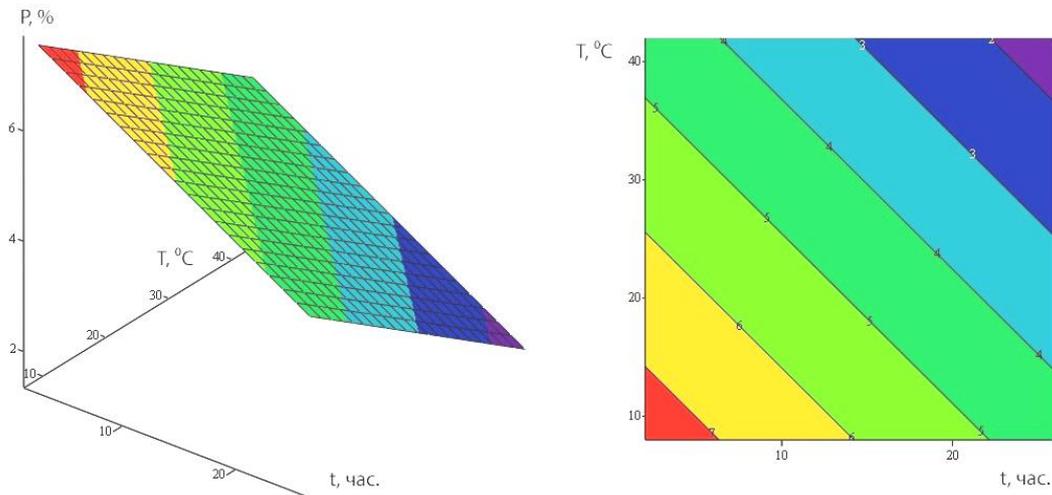


Рисунок 3.12 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений от времени их замачивания и температуры воды при значениях начальной относительной влажности и гранулометрического состава, фиксированных на рациональных уровнях.

$$P(t, 42, 12, d) = 6,428 - 2,442 \cdot d - 0,047 \cdot d \cdot t + 0,677 \cdot d^2$$

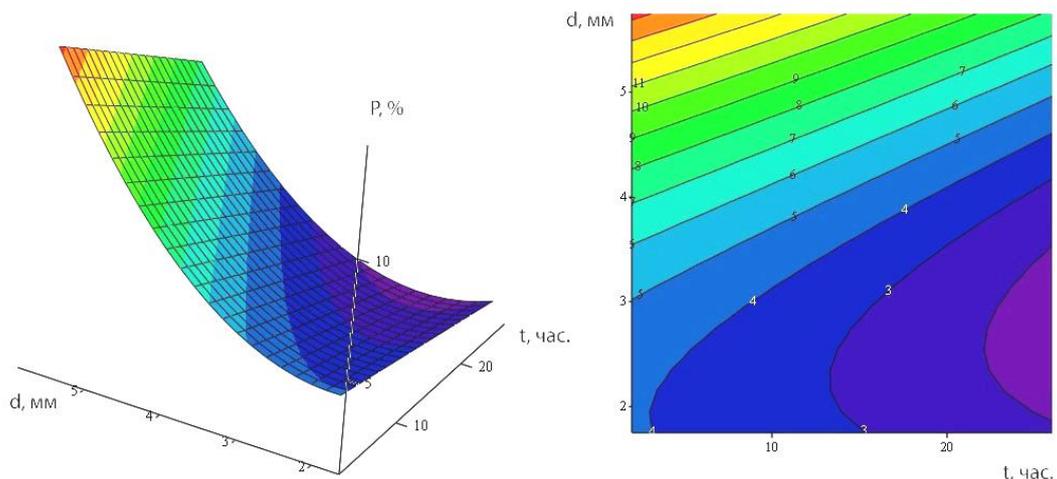


Рисунок 3.13 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений от времени их замачивания и гранулометрического состава при значениях их

начальной относительной влажности и температуры воды, фиксированных на рациональных уровнях.

$$P(26, T, 12, d) = 6,428 - 2,278 \cdot d - 0,033 \cdot T \cdot d + 0,677 \cdot d^2$$

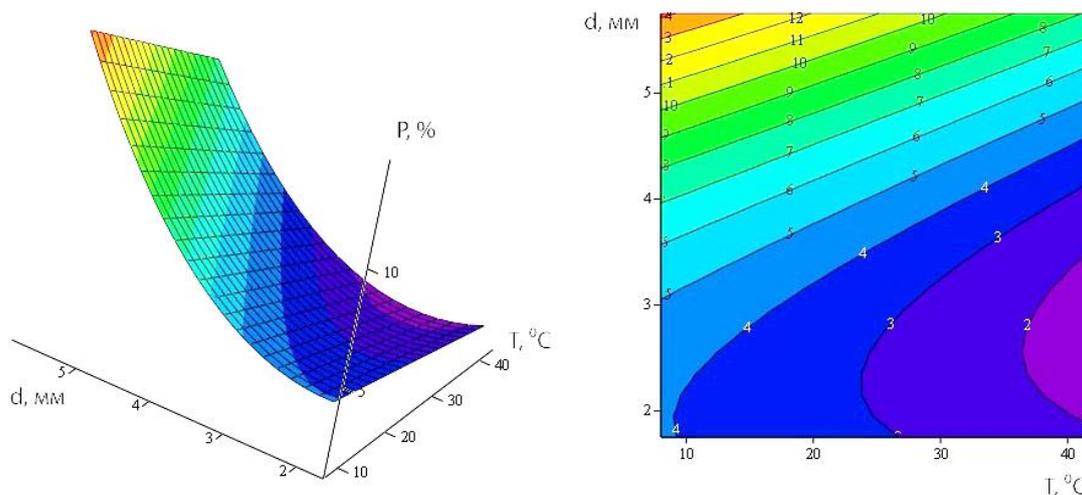


Рисунок 3.14 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений от их гранулометрического состава и температуры воды при значениях начальной относительной влажности и времени замачивания, стабилизированных на ранее определенных рациональных значениях

Выводы по главе 3

На основании выполненных исследований физико-механических свойств воскового сырья и его основного органического загрязнителя [219] можно сделать следующие выводы.

1. В результате проведенного исследования установлено, что на процент выделения сортного воска из воскового сырья, получаемого путем перетопки, значимое влияние оказывает восковитость сырья и его гранулометрический состав. Так, при восковитости сырья 36% и его среднем гранулометрическом составе 1,75 мм выход воска составляет 0,9%. А при увеличении восковитости до 76% и при среднем гранулометрическом составе 5,75 мм (целые перговые гранулы, содержащиеся в выбракованном восковом сырье) выход воск составит 61,9%.

2. Установлено, что 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.

3. В результате исследования гигроскопических свойств органических загрязнений воскового сырья установлено, что все принятые факторы (время замачивания, температура воды, влажность и гранулометрический состав материала) оказались значимыми. Статистический анализ математической модели, адекватно описывающей исследуемый процесс, позволил установить, что минимального значения критерий оптимизации в исследуемом факторном пространстве (процент не растворившегося осадка от первоначальной массы загрязнений в пересчете на сухое вещество) достигает минимума (1,5%) при следующем рациональном сочетании факторов: продолжительность процесса 26 часов; температура воды 42 °С; начальная влажность исследуемого продукта 12%; средний размер частиц 2,7 мм.

4. Целесообразно производить очистку в воде воскового сырья от загрязнений (перги), при относительной влажности последней 11-14 % и среднем размере частиц 2-2,5 мм, что соответствует ее состоянию в измельченной воскоперговой массе, полученной при производстве перги с применением механизированных технологий [129, 133].

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Важнейшей технологической операцией подготовки воскового сырья к диспергированию загрязнений в воде является измельчение. Требования к измельченному восковому сырью приведены в формуле изобретения способа очистки воскового сырья (патент РФ на изобретение № 2656968) [231].

Операции измельчения воскового сырья и диспергирования органических загрязнений последовательно выполняются в установке для очистки воскового сырья (патент РФ на изобретение № 2672403) [235].

Измельчение осуществляется штифтовым измельчающим аппаратом. Для обоснования параметров измельчителя необходимо провести следующие исследования [245, 246, 257]:

- теоретически исследовать и обосновать основные параметры штифтового измельчающего аппарата при измельчении воскового сырья, в частности;
- определить рациональную линейную скорость штифтов;
- изучить процесс эвакуации измельченной массы из измельчителя;
- определить, времена измельчения сотов;

На основании полученных результатов провести численное моделирование процесса измельчения.

На следующем этапе исследования необходимо экспериментально исследовать теоретически рассчитанный штифтовый измельчитель:

- определить рациональные параметры штифтового измельчителя, а также его производительность и энергоемкость технологического процесса.

4.1. Установка для очистки воскового сырья

На рис 4.1 представлена схема предлагаемой установки для очистки воскового сырья (патент на изобретение RU 2672403). Установка состоит из рамы 1 с расположенной на ней цилиндрической камерой гидравлической очистки 2. На камере гидравлической очистки установлена цилиндрическая

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 прорезы. Под противорезами установлен конический отражатель 14. В верхней части камеры измельчения имеется ограничительная пластина 12. В корпусе камеры гидравлической очистки 2 имеется сливной патрубок 14 и патрубок 15 для наполнения камеры водой, снабженный крышкой.

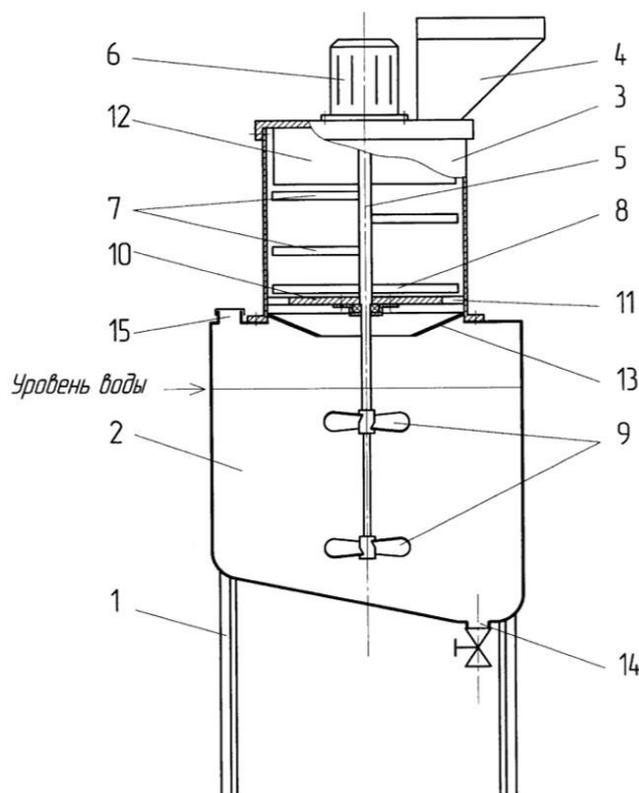


Рисунок 4.1 – Схема установки для очистки воскового сырья

Работа установки осуществляется следующим образом. Через патрубок 15 в камеру гидравлической очистки 2 заливается вода до уровня, обозначенного на рис. 4.1. Заранее подготовленные куски пчелиных сотов (отделенные от рамок и охлажденные до температуры $-3...-8^{\circ}\text{C}$) площадью от 20 до 100 см² помещают в загрузочную горловину 4, откуда они под действием

силы тяжести поступают в камеру измельчения 3 и под ударным воздействием штифтов 7 измельчаются до образования массы, содержащей частицы с сохранившейся структурой сотов площадью от 0,7 до 5 см² и гранулы перги, заключенные в восковые оболочки. Измельченная масса подвергается вторичному измельчению благодаря наличию штифта прямоугольного сечения, вращающегося непосредственно над кольцевым зазором 11 с противорезами. Вторично измельченная масса, состоящая из восковых частиц в виде чешуек различной геометрической формы толщиной 0,3-3 мм и площадью до 25 мм² и разрушенных гранул перги, проходя вниз по наклонной поверхности влагозащитного конического отражателя 13, направляется в камеру 2, где подвергается интенсивному перемешиванию в воде, при этом водорастворимые примеси переходят в раствор, а частицы перги и органических загрязнений диспергируются. По окончании процесса очистки водяную смесь воскового сырья сливают через сливной патрубок 14 на фильтровальное сито и подготавливают к перетопке или высушивают для хранения.

Предлагаемые способ и установка позволяют получать очищенное восковое сырье с количеством примесей перги и органических загрязнений, не превышающем 1-3 %, которое подлежит дальнейшей переработке на паровой или водяной воскотопке [66, 70].

Основная идея предлагаемого технического решения заключается в совмещении двух устройств – измельчителя и устройства для перемешивания.

При вертикальном расположении двух устройств одно над другим решается вопрос загрузки камеры для диспергирования органических загрязнений. Отпадает необходимость в создании второго электропривода и системы крепления рабочего вала, что в целом значительно упрощает инженерное воплощение запатентованных технических решений [268, 269]: 1) сократить время, необходимое для перезагрузки измельченного материала из измельчителя в перемешивающий аппарат; 2) удешевить стоимость оборудования (один привод на два процесса); 3) более рационально

использовать производственную площадь благодаря вертикальной компоновке агрегата.

4.2. Теоретическое исследование измельчения воскового сырья

4.2.1. Оценка рациональной линейной скорости штифтов

Произведем оценку предельной скорости рабочих органов рабочего вала, при которой восковая структура сотов эффективно измельчается. Восковая структура сота неоднородна, центральная пластина (вошина) в наиболее прочной части имеет толщину от 1,5 до 3 мм, при этом дополнительную прочность ей придает ячеистая структура – стенки ячеек сота имеют толщину, равную десятым долям миллиметра [103]. Измельчитель должен измельчать все составляющие сота, при этом гранулометрический состав измельченного продукта должен иметь высокую однородность, так как иначе возникнут сложности с последующей его очисткой [96].

Вычислить значение объемной массы возможно по формуле:

$$\gamma = \frac{m}{V_{com}}, \quad (4.1)$$

где m – вес опытной навески, кг; V_{com} – объем куска сотов, м³.

При расчете параметров измельчающего устройства необходимо учитывать то, что значительная часть ячеек сотов заполнена пергой. Измельчитель должен по возможности не разрушать так называемые перговые комочки. Следует помнить, что измельчение будет происходить только в том случае, если ударная нагрузка, оказываемая рабочими органами на продукт, превысит значение критической прочности восковых структур [219, 227, 228, 239].

В месте нанесения разрушающего удара по продукту рабочий орган должен воздействовать так, чтобы превысить границу прочности хрупкого разрушения продукта. Сила F (Н) со стороны рабочего органа будет определяться произведением прочности σ (Па) на площадь ε (м²) соприкосновения с разрушаемым телом при ударе [13, 204]:

$$F = \sigma \cdot \varepsilon, \quad (4.2)$$

Работа, предполагающая увеличение поверхности измельчаемых тел, представляет собой следствие преобразования кинетической энергии рабочего штифта (била), определить величину, которой можно путем сопоставления, нормальной составляющей линейной скорости к поверхности штифта. Так как в момент соударения взаимное положение куса сотов и штифта случайно, определим среднюю составляющую скорости.

Пусть v – мгновенное значение скорости рабочего органа в момент контакта с измельчаемым телом. Тогда нормальная составляющая будет равна $v \cdot \cos \alpha$. С учетом отклонений, величину скорости воздействия можно подсчитать по выражению [219]:

$$v_{cp} = \frac{2}{\pi \cdot d} \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} v \cdot \frac{d}{2} \cdot \cos(\alpha) \partial \alpha = \frac{2 \cdot v}{\pi} \quad (4.3)$$

Для построения адекватной аналитической модели процесса измельчения структурированной воскоперговой системы примем некоторые допущения. Построим теорию путем рассмотрения основных действующих факторов. Допустим, что импульс силы количественно переходит энергию упругой деформации W :

$$W = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}, \quad (4.4)$$

где k – показатель, учитывающий масштабирование процесса; Δx – величина, количественно характеризующая показатель деформации;

Показатель k , определяемая как числовой показатель упругой деформации (4.2):

$$k = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{\Delta x} \quad (4.5)$$

Путем сложения предыдущих выводов определим выражение, приводящее к равенству энергий:

$$\frac{m \cdot \left(\frac{2 \cdot v}{\pi}\right)^2}{2} = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta x}{2}, \quad (4.6)$$

где m – количество вещества, на которое оказывается воздействие непосредственно в рассматриваемый момент времени.

$$m = x \cdot \varepsilon \cdot \gamma = \frac{\Delta x \cdot \varepsilon \cdot \gamma}{\delta} \quad (4.7)$$

На основании результатов проведенного теоретического исследования получим формулу для расчета значения скорости воздействия рабочих органной на продукт:

$$v = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} \quad (4.8)$$

Следует помнить, что выведенное аналитическое выражение является достоверным при ограничении свойств подвергающегося измельчению материала. Введенные величины σ и δ весьма лабильны при изменении свойств измельчаемого материала в результате изменения внешних воздействий. Оценочные значения приведенных величин нетрудно определить из выводов ранее выполненных работ [219] в специализированных исследованиях [38, 39, 40].

Приравнивая полученное выражение (4.8) и определенное ниже выражение для средней линейной скорости штифтов (4.33), получим:

$$2 \cdot \pi \cdot \left(l - \frac{b}{2}\right) \cdot n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}}$$

Из уравнения выражаем оптимальный диаметр рабочей камеры измельчителя, который приблизительно равен удвоенному значению длины штифта $D_{II} \approx 2 \cdot l$ (пренебрегаем зазором между стенкой камеры и краем штифта):

$$D_{II} = \frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b \quad (4.9)$$

4.2.2. Теоретическое исследование эвакуации измельченных частиц из измельчителя

Основная задача проводимого исследования заключается в определении рационального соотношения действующих факторов, суммарный эффект от которых заключался бы в наиболее быстрой эвакуации измельченного продукта из рабочей камеры измельчителя. Поскольку в виде решета выполнена только часть рабочей камеры, процесс эвакуации измельченной массы носит случайный характер. На характер течения процесса будут оказывать влияния ряд конструктивных факторов, определяющих параметры измельчителя, и ряд параметров, определяющих свойства измельчаемого материала.

Процесс эвакуации возможен в том случае, если габаритные размеры измельченных частиц продукта меньше диаметра отверстий, ограничивающего рабочую камеру решета. Значение имеет как состояние поверхности решета, так и скорость циркуляции воздушно-продуктового слоя, а также направление движения измельченных частиц [11, 16].

Сформулируем общие положения модели выхода измельченной массы из рабочей камеры измельчителя.

1. Сепарация осуществляется через днище корпуса, которое представляет собой чередующиеся отверстия прямоугольной формы (щелевые отверстия), расположенные радиально на периферии относительно оси рабочего вала, примыкая короткой стороной к стенке рабочей камеры.

2. Эвакуацию продукта через решето возможно исследовать путем масштабирования процесса прохождения измельченных частиц через бесконечно малый участок поверхности. Из этого положения вытекает возможность рассмотрения бесконечно малых участков поверхности. Кольцевая поверхность сепарации относительно потока подводимых к ней частиц может быть представлена вытянутой в прямоугольную полосу шириной b (длина щелевого отверстия) и длиной $(a+c) \cdot N_{оме}$, где a и c – соответственно средние значения ширины отверстий и промежутка между ними, $N_{оме}$ – количество отверстий/промежутков. На всем протяжении длины

отверстия b отношение $a/c = \text{const}$. При относительно большом значении N_{ome} площадь поверхности сепарации приближенно равна $S_{cen} = (a+c) \cdot b \cdot N_{ome}$.

3. Общее количество измельченных частиц, образующихся внутри рабочей камеры в результате дробления, конечно и равно некоторому числу N_0 . С течением времени это число уменьшается за счет той их части, которая выгружается через поверхность сепарации. Объемная масса всех частиц воздушно-продуктового слоя в момент времени t равна $N(t)$.

4. Частицы воздушно-продуктового слоя подвоятся к поверхности сепарации за счет собственной скорости v под углом β к поверхности, при этом они либо проходят через отверстия, либо отражаются обратно в воздушно-продуктовый слой и через некоторое время возвращаются к поверхности с той же скоростью [54].

Следует помнить об интенсивности воздействия со стороны внешних сил на частицы в воздушно-продуктовом слое. За пределами решета, ограничивающего активную зону рабочей камеры, интенсивность внешнего воздействия многократно падает. В связи с вышесказанным, наиболее точно рассматриваемый процесс можно описать уравнением, характеризующим исследуемый процесс баланса наиболее значимых величин:

$$N(t + \Delta t) = N(t) - \Delta N(t) \quad (4.10)$$

где $N(t)$ – вес всех твердых составляющих, циркулирующих в воздушном потоке рабочей камеры при осуществлении измельчения; Δt – убывающая величина времени, за которое осуществляется часть рабочего процесса.

Для использования полученного уравнения примем следующие допущения. Объем продукта стремится к прохождению через площадь окна (математически определяемую площадь поверхности Δs) за период продолжительностью Δt . При этом количество частиц можно подсчитать как их наличие в объеме геометрической фигуры $k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot \Delta t \cdot \Delta s$. При этом часть из них, равная $k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot \Delta t \cdot \Delta s$, где k_{cen} – коэффициент сепарации, пройдет через отверстия решета, а остальные отразятся обратно в воздушно-продуктовый

слой и через некоторое время возвратятся к поверхности решета с той же скоростью. Уравнение баланса примет вид:

$$N(t + \Delta t) = N(t) - N(t) \cdot k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot \Delta t \cdot \Delta s \quad (4.11)$$

Первое слагаемое в правой части перенесем в левую и поделим на Δt :

$$\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} = -N(t) \cdot k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot \Delta s$$

Переходя к пределу заданной функции при соблюдении условия, когда $\Delta t \rightarrow 0$, получаем аналитическое описание закона изменения объемной массы частиц воздушно-продуктового слоя, находящихся в рабочей камере:

$$\frac{dN}{dt} = -k_{cen} \cdot N \cdot v \cdot \sin \beta \cdot S_{cen} \quad (4.12)$$

Проинтегрировав это уравнение, получим интегральный закон изменения объемной массы частиц воздушно-продуктового слоя:

$$N(t) = N_0 e^{-k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot S_{cen} \cdot t} \quad (4.13)$$

Знание этого закона позволяет оценить время сепарирования частиц измельченной массы через поверхность сепарации [4]. Условие окончания процесса выхода задается процентом p просеянных частиц от их первоначального количества. Таким образом, переходим к уравнению сепарации:

$$\frac{N_0 - N(t_p)}{N_0} = \frac{p}{100}, \quad (4.14)$$

что равносильно

$$1 - e^{-k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot S \cdot t_0} = \frac{p}{100} \quad (4.15)$$

Решение этого уравнения относительно времени приводит к получению оценки времени сепарации:

$$t_0 = \frac{\ln \frac{100}{100 - p}}{k_{cen} \cdot v \cdot \sin \beta \cdot S} \quad (4.16)$$

Приступим к теоретической оценке параметров полученной модели – линейной скорости частиц v измельченных сотов и коэффициента сепарации k_{cen} .

Предположим, что измельченные куски сотов равномерно распределены внутри воздушно-продуктового слоя толщиной b , прилегающего к стенке цилиндрической рабочей камеры, имеющей радиус R [54]. Тогда момент инерции всех частиц измельченных сотов равен

$$J_{com} = \int_{R-b}^R 2\pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \gamma \cdot r \, dr = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \gamma \cdot \left(R^2 - Rb + \frac{b^2}{2} \right) = M \cdot \left(R^2 - Rb + \frac{b^2}{2} \right), \quad (4.17)$$

где M – масса всех частиц измельченных сотов.

Рассматривая воздух как несжимаемую среду, можно говорить не только об объеме воздуха как об инертной массе:

$$J_{воздух} = \frac{\pi \cdot p \cdot h \cdot \rho \cdot R^4}{2} \quad (4.18)$$

Энергия, подводимая к рабочему валу, убывает сразу в результате нескольких параллельно протекающих процессов, в том числе и на создание аэродинамических эффектов с частицами измельчаемой и уже измельченной массы структуры сотов в рабочей камере измельчителя. Баланс сохранения энергии приводит к следующему уравнению:

$$\frac{\eta \cdot W}{100} = \frac{(J_B + J_C) \cdot \omega^2}{2}, \quad (4.19)$$

где W – средняя полезная мощность, затрачиваемая на измельчение, Вт; η – КПД измельчителя; ω – угловая скорость, рад/с.

Решаем уравнение относительно угловой скорости:

$$\omega = \sqrt{\frac{\eta \cdot W}{50 \cdot (J_B + J_C)}} \quad (4.20)$$

Далее определяем среднее значение линейной скорости частицы:

$$v_{cp} = \left(R - \frac{b}{2} \right) \sqrt{\frac{\eta \cdot W}{50 \cdot (J_B + J_C)}} \quad (4.21)$$

Теперь необходимо оценить коэффициент сепарации k_{cen} .

Коэффициент сепарации по своей сути – ни что иное как вероятность прохождения частицы измельченного продукта, имеющей известный средний геометрический размер, сквозь отверстие решета, точнее – видимую его проекцию, при условии справедливости формулы геометрической вероятности.

При оценке коэффициента сепарации будем исходить из двух возможных моделей.

В рамках первой модели (рис. 4.2) введем следующие допущения [211, 241, 242]:

1) Частица сотов (или перги) аппроксимируется шаром радиусом r .

2) Решето на пути подлета частицы представляет собой чередующиеся щелевые отверстия шириной a с промежутками между ними шириной c . Длина щелевого отверстия равна b . Шаг отверстий одинаков на всей площади решета и равен $(a + c)$.

3) Частица подлетает к решету со скоростью v под углом β к поверхности.

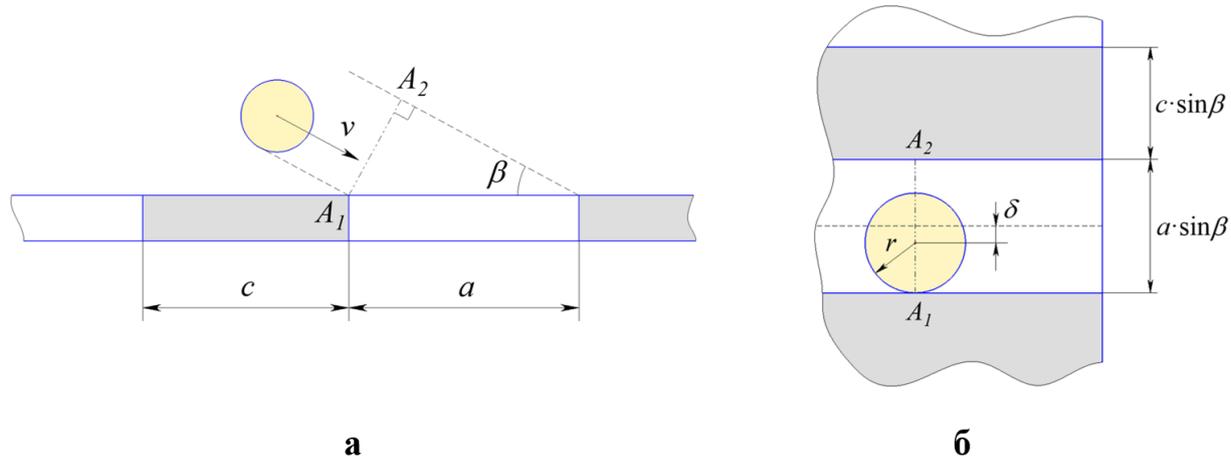


Рисунок 4.2 – Модель выхода частицы измельченного материала, аппроксимируемой шаром, через поверхность сепарации:

а – подлет частицы к поверхности; б – «видимая» для частицы ширина отверстия

При подлете частицы видимая ширина отверстия представляет собой проекцию ширины a на плоскость, перпендикулярную вектору скорости, и

равна $a \cdot \sin \beta$. При этом проекция самой частицы (тень) на видимую часть отверстия представляет собой круг радиусом r (рис. 4.2).

Условие беспрепятственного прохода частицы через отверстие: расстояние δ от центра круга до центральной линии щелевого отверстия не превышает величины

$$\delta \leq \frac{a \cdot \sin \beta}{2} - r \quad (4.22)$$

Площадь, через которую частицы могут пройти, или площадь сепарации S_{cen} равна [15]:

$$S_{cen} = 2 \cdot \delta_{max} \cdot b \cdot N = (a \cdot \sin \beta - 2 \cdot r) \cdot b \cdot N \quad (4.23)$$

Вся видимая площадь поверхности решета равна

$$S_{нов} = (a + c) \cdot \sin \beta \cdot b \cdot N \quad (4.24)$$

Тогда вероятность прохождения (коэффициент сепарации) определяется соотношением:

$$k_{cen} = \frac{S_{cen}}{S_{нов}} = \frac{a \cdot \sin \beta - 2 \cdot r}{(a + c) \cdot \sin \beta} \quad (4.25)$$

В рамках второй модели (рис.4.3) введем следующие допущения:

1) Частица представляет собой плоскую чешуйку и аппроксимируется диском радиусом r . Толщина диска много меньше радиуса.

2) Решето на пути подлета частицы представляет собой чередующиеся щелевые отверстия шириной a с промежутками между ними шириной c . Длина щелевого отверстия равна b . Шаг отверстий одинаков на всей площади решета и равен $(a + c)$.

3) Частица подлетает к решету со скоростью v под углом β к поверхности.

Проекция частицы на видимую часть отверстия в общем случае представляет собой эллипс с большой полуосью, равной радиусу r частицы (рис. 4.3). Ориентация частицы при прохождении через отверстие может быть определена двумя случайными величинами: эксцентриситет ε , принимающий значения от 0 до 1, и угол α поворота большой полуоси относительно

центральной линии отверстия, принимающий значения от 0 до π . Предположим, что значения этих величин в пределах их диапазонов варьирования равновероятны.

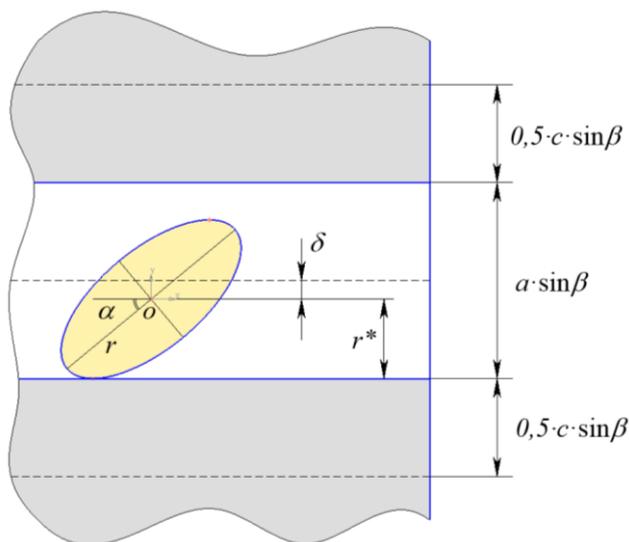


Рисунок 4.3 – Модель выхода частицы измельченного материала, аппроксимируемой плоским диском, через поверхность сепарации («видимая» под углом β часть поверхности)

Проводя аналогию с первой моделью, определим условие прохождения частицы через отверстие. Величина r^* на рис. 4.3 эквивалентна радиусу r в первой модели и зависит от r , ε и α :

$$r^* = \varphi(r, \varepsilon, \alpha) \quad (4.26)$$

Поскольку r^* – случайная величина, для включения ее в формулу геометрической вероятности (4.25) необходимо выполнить усреднение по величинам ε и α :

$$f(r) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \int_0^1 \varphi(r, \varepsilon, \alpha) d\varepsilon d\alpha \quad (4.27)$$

Тогда вероятность прохождения (коэффициент сепарации) определяется выражением:

$$k_{cen} = \frac{a \cdot \sin \beta - 2 \cdot f(r)}{(a + c) \cdot \sin \beta} \quad (4.28)$$

Как следует из полученного выражения, коэффициент сепарации (геометрическая вероятность выхода частицы) зависит от угла β подвода частицы к поверхности сепарации, радиуса частицы r , ширины отверстия a и отношения $a/(a+c)$, и не зависит от длины щелевого отверстия b и количества отверстий $N_{отв}$.

4.2.3. Оценка времени измельчения сотов

Пусть ячейку пчелиных сотов можно аппроксимировать прямой шестиугольной призмой. Объем, занимаемый ячейкой (с учетом стенок), составит:

$$V_0 = 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot h, \quad (4.29)$$

где a – длина ребра основания (сторона правильного шестиугольника), м;
 h – длина бокового ребра (высота ячейки), м.

Площадь полной поверхности структуры измельчаемого продукта равна:

$$S_0 = 6 \cdot a \cdot h + 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \quad (4.30)$$

Образующиеся при измельчении чешуйки восковой основы аппроксимируем кругом, тогда площадь чешуйки будет равна:

$$s = \pi \cdot r^2, \quad (4.31)$$

где r – радиус круга.

Распределение измельчаемого материала внутри рабочей камеры измельчителя определяется его конструктивными параметрами, к которым относятся (рис. 4.1): высота рабочей камеры L , см; диаметр рабочей камеры D , см; количество штифтов N , шт.; длина штифта l , см; диаметр штифта d , см; толщина воздушно-продуктового слоя b , см, вовлекаемого в движение вращающимся ротором; угловая скорость вращения вала ротора n , рад/с.

Линейная скорость ударного элемента у ближайших к стенкам рабочей камеры слоев (максимальная линейная скорость) определяется выражением:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot n \quad (4.32)$$

где l – размер рабочей части ударного элемента, м;

n – круговая частота вращения вала, рад/с.

Средняя линейная скорость, с которой штифт воздействует на измельчаемый материал, определяется как средняя арифметическая линейных скоростей конца штифта и той его части, которая расположена на внутренней границе воздушно-продуктового слоя толщиной b [36, 250]:

$$v_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot \left(l - \frac{b}{2} \right) \cdot n \quad (4.33)$$

Величина b определяется экспериментально.

Оценим общую (эффективную) поверхность восковой основы, содержащейся в куске агломерата объемом V .

Суммарное число элементарных объемов в навеске продукта загружаемой одной порции:

$$k_0 = \left[\frac{V}{V_0} \right], \quad (4.34)$$

где V – совокупный объем, представляющий собой часть воскового сырья перед измельчением, м³;

Общая площадь (без учета граничных эффектов) будет равна $S_0 \cdot k_0$.

Так как каждая грань поверхности разделяет две ячейки, то полученную величину следует разделить на два. Таким образом, общая эффективная площадь всех чешуек, полученных при измельчении куска сотов объемом V , составит:

$$S = \frac{1}{2} \cdot S_0 \cdot \left[\frac{V}{V_0} \right] \quad (4.35)$$

Оценим количество ударов штифтов по измельчаемому материалу, достаточное для образования чешуек восковой основы заданной средней площади (4.31). Для этого предположим, что при одном ударе кусок делится на две равные части, каждая из которых в свою очередь при ударе также делится на две части.

Требуемое количество воздействий со стороны одного рабочего органа составит:

$$N_y = S/s - 1 \quad (4.36)$$

Учитывая процесс разрушения и приращение числа частиц, заново образующихся, примем за допущение продолжительность процесса.

Допустим, что каждый акт дробления на две части не зависит от результатов предыдущих ударов. Допустим также, что при ударе штифта по куску сотов скорость вращения вала ротора не изменяется (масса штифта значительно превышает массу куска сотов) [159].

Произведем расчет вероятности соударения куска сотов со штифтом на одном обороте вала измельчителя. Этот показатель весьма зависим от геометрических показателей соударяющихся тел, в частности неподвижно закрепленных рабочих органов на валу, частиц разрушаемого ударными воздействиями продукта, и геометрии циркулирующего в рабочей камере газового потока.

Объем воздушно-продуктового слоя в рабочей камере определяется выражением:

$$V_c = \pi \cdot L \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} - b \right)^2 \right) \quad (4.37)$$

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

Объем части воздушно-продуктового слоя, в которой вращается один штифт, равен:

$$V_{c1} = \pi \cdot d \cdot \left(l^2 - \left(l - \left(\frac{D}{2} - b \right) \right)^2 \right) \quad (4.38)$$

Предположим, что процесс разрушения сложной ячеистой структуры протекает путем уменьшения объемов измельчаемых тел, тогда в каждый момент времени у нас присутствует k тел. Примем допущение, что объем нового тела V/k , а его форма шароподобна, тогда радиус будет равен:

$$\rho(k) = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4 \cdot \pi \cdot k}} \quad (4.39)$$

Условие столкновения штифта с куском сотов – удаление центра куска от края штифта на расстояние, не превышающее радиуса $\rho(k)$. Объем слоя с учетом этого удаления определяется выражением:

$$V_{c2} = \pi \cdot (d + \rho(k)) \cdot \left((l + \rho(k))^2 - \left(l + \rho(k) - \left(\frac{D}{2} - b \right) \right)^2 \right) \quad (4.40)$$

Тогда, при условии справедливости формулы геометрической вероятности, вероятность $P_1(k)$ соударения одного штифта с куском на одном обороте вала определяется выражением:

$$P(k) = \frac{V_{c2}}{V_c} = \frac{(d + \rho(k)) \cdot \left((l + \rho(k))^2 - \left(l + \rho(k) - \left(\frac{D}{2} - b \right) \right)^2 \right)}{L \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} - b \right)^2 \right)} \quad (4.41) [54].$$

При установке на рабочем валу N штифтов геометрическая вероятность $P_p(k)$ столкновения куска хотя бы с одним из штифтов (вероятность разрушения) составит [54].:

$$P_p(k) = 1 - (1 - P_1(k))^N \quad (4.42)$$

Далее найдем значение количества оборотов вала, за которое кусок сотов раздробится до частиц с заданными размерами, и определим необходимое для этого время.

Для упрощения построения теории примем следующие допущения, что взаимодействия между продуктом и рабочим измельчающим органом зависят исключительно от числа первоначальных объектов измельчения. При таком факторном воздействии число взаимодействий продукта будет равно [127, 145] вероятности, определяемой по формуле:

$$M(k) = k \cdot P(k) \quad (4.43)$$

Примем допущение, что распределение продукта по камере измельчителя однородно.

Среднее количество ударов с одним штифтом на одном обороте вала составит

$$N_{cp} = \frac{1}{k_0} \cdot \sum_{i=1}^{k_0} M(i) \quad (4.44)$$

Требуемое число оборотов вала определяется выражением

$$N_{об} = \left[\frac{N_y}{N_{cp}} \right] \quad (4.45)$$

Тогда среднее время измельчения куска сотов объема V определяется величиной

$$t_{cp} = \left[\frac{N_y}{N_{cp}} \cdot \frac{1}{n} \right] \quad (4.46)$$

Для измельчения требуемого количества воскового сырья полное время работы измельчителя составит [54]:

$$t = \frac{M_c}{\gamma \cdot V} \cdot \left[\frac{N_y}{N_{cp}} \cdot \frac{1}{n} \right], \quad (4.47) [54]$$

где M_c – масса измельчаемого сырья, кг; γ – плотность сырья, кг/м³.

4.2.4. Численное моделирование процесса измельчения сотов

Результат численного моделирования времени измельчения пчелиных сотов (выражения (4.42), (4.47)), выполненного в среде Mathcad 14.0 (приложение В), представлен графически на рис. 4.4-4.5.

Из анализа зависимости, приведенной на рис. 4.4, следует, что при небольшом значении количества кусков в рабочей камере, то есть при больших их размерах, вероятность соударения максимальна. При увеличении числа кусков, а значит, уменьшении их размера, с течением времени вероятность удара монотонно уменьшается.

Из установленной путем математического табулирования закономерности (рис. 4.5), вытекает следующее заключение: время процесса измельчения монотонно уменьшается при нарастании числа оборотов вала в единицу времени. Количество установленных на рабочем валу штифтов существенно

влияет на продолжительность рабочего процесса лишь при небольшом их количестве (рис. 4.5).

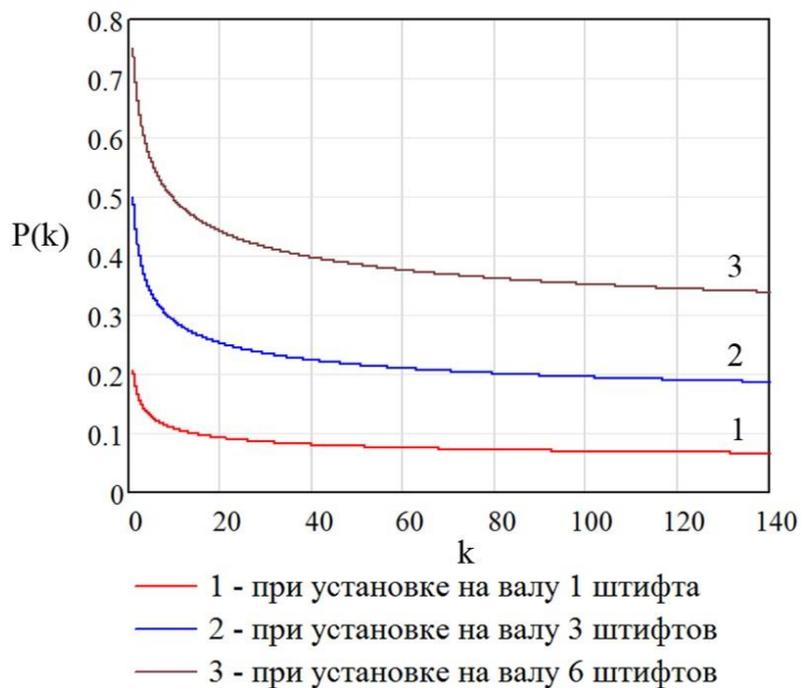


Рисунок 4.4 – Вероятность взаимодействия штифта и продукта в конкретных условиях момента времени (конечное число измельчаемых объектов и бил (штифтов)).

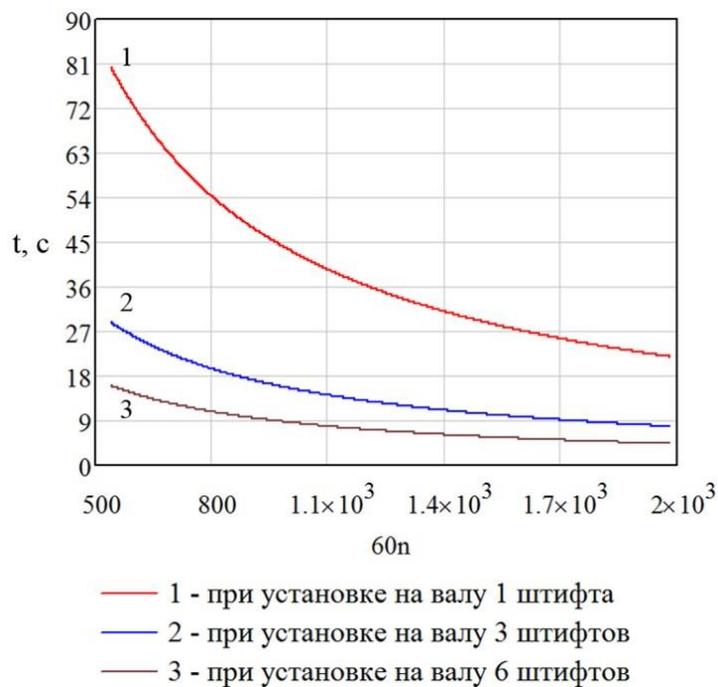


Рисунок 4.5 – Изменение продолжительности измельчения от частоты рабочего вала и числа бил (штифтов).

На основании множественного моделирования параметров математической модели стало возможным установить рациональные параметры конструкции рабочего вала. В частности, достоверно определено, что вал должен иметь не более 6 бил. Увеличение числа бил не дает статистически значимого приращения производительности установки для измельчения.

Эксперимент также позволил установить рациональный режим измельчения. Так, при частоте рабочего вала 1250 Об/мин и трех билах, расположенных на валу, время измельчения куска сотов до необходимого гранулометрического состава составит 13 секунд.

Результаты численного моделирования показали, что снабжение рабочего вала более 6 штифтами не является целесообразным, поскольку время рабочего процесса уменьшается при этом не значительно

4.3. Экспериментальные исследования измельчения воскового сырья

4.3.1. Программа экспериментального исследования процесса измельчения воскового сырья

Как следует из результатов предварительно проведенных экспериментов, одним из значимых факторов, влияющих на скорость и степень растворения загрязняющих примесей воскового сырья в воде, является гранулометрический состав перерабатываемого материала. Чем меньше средний размер частиц загрязнений в измельченном восковом сырье, тем быстрее они диспергируются при перемешивании, тем эффективнее протекает процесс очистки [21].

Как правило, при измельчении перговых сотов посредством существующих в настоящее время средств механизации целые гранулы перги в получаемой воскоперговой массе остаются заключенными в органические, или восковые, оболочки, представляющие собой неразрешенные стенки ячеек пчелиных сотов [122, 123, 125, 128]. В таком состоянии растворение перги в воде происходит очень медленно даже при значительной интенсивности перемешивания, так как эти оболочки препятствуют проникновению воды к поверхности гранул со всех сторон, и поток жидкости омывает только открытый торец гранулы.

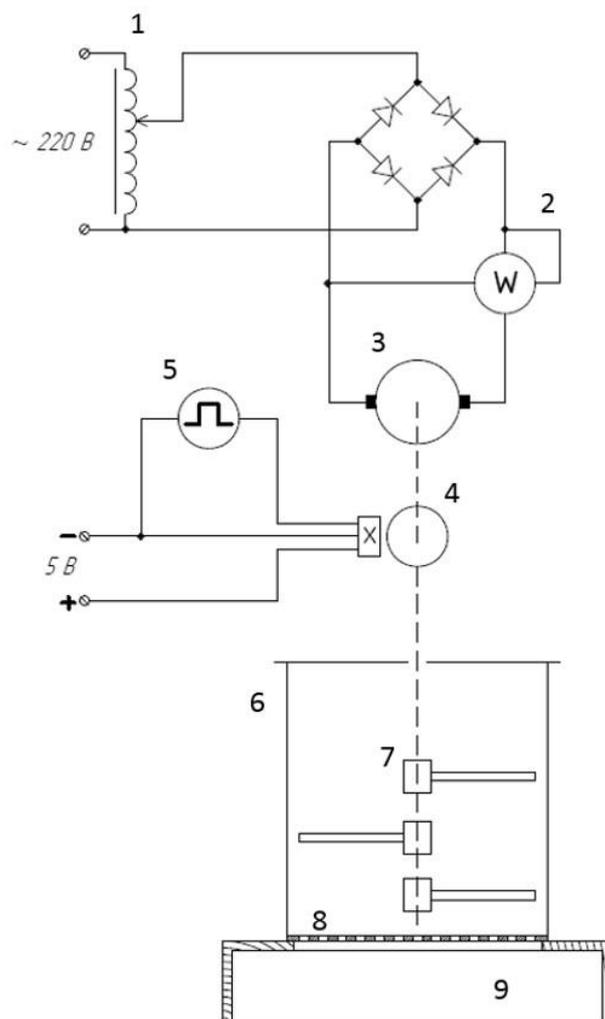
В связи с вышесказанным, необходимо обеспечить достаточную степень предварительного измельчения сотов, при которой в измельченной массе будет присутствовать минимальное количество целых перговых гранул. За условие достаточности примем дробление перговой гранулы на две части, при котором восковая оболочка будет гарантированно удалена с ее поверхности. Поскольку, как показывают ранее проведенные исследования [119, 129], средний линейный размер гранулы перги составляет около 6 мм, то в качестве критерия оптимизации в исследовании рациональных условий измельчения и оптимальных конструктивно-технологических параметров измельчающего аппарата примем содержание частиц воскового сырья размером 3 мм и более в конечном гранулометрическом составе измельченной массы. При поиске рациональных сочетаний исследуемых факторов критерий оптимизации должен быть минимизирован.

Принимая во внимание результаты предварительно проведенных исследований, обозначим факторы, наиболее значимо влияющие на рабочий процесс штифтового измельчителя:

- диаметр рабочих органов цилиндрического вида, мм;
- расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия рабочих органов, мм;
- линейная скорость движения штифтов, м/с.

4.3.2. Лабораторная установка, предназначенная для исследования процесса измельчения воскового сырья

Для установления рациональных соотношений параметров измельчающего устройства была разработана и изготовлена лабораторная установка, структурная схема которой приведена на рис. 4.6. Более наглядное изображение рабочей камеры измельчителя представлено на рисунке 4.7. Расположение рабочих узлов установки во время проведения исследования представлено на рисунке 4.8.



Условные обозначения: 1 – ЛАТР; 2 – ваттметр; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – электронный тахометрический генератор; 5 – прибор для измерения частоты импульсов; 6 – камера измельчения; 7 – втулки для закрепления штифтов на рабочем валу с возможностью регулирования высоты расположения; 8 – решето; 9 – емкость для накопления измельченного продукта.

Рисунок 4.6 – Структурная схема лабораторной установки для измельчения
воскового сырья

Рабочая камера лабораторной установки (рис. 4.7) состоит из цилиндрического основания, выполняющего функции камеры измельчения 2, расположенного на корпусе сборочной емкости 1. Конструкция сборочной емкости предполагает размещение специального извлекаемого ящика для накапливания продуктов измельчения 3. Нижняя часть конструкции рабочего корпуса выполнена в виде сетчатой поверхности, состоящей из прямоугольных отверстий 4. Вертикально в рабочей камере находится вал 7, зона

расположений которого может регулироваться в двух плоскостях. На валу в требуемом для проведения опытов порядке неподвижно закрепляются ударные рабочие органы 5. Расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия ударных элементов определяется расположением и длиной втулок 8, а схема закрепления бил выдерживается посредством резьбовых крепежных элементов 6.

Предложенная конструкция установки позволяет варьировать следующими факторами: диаметр ударных рабочих органов; расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия штифтов; линейная скорость движения ударных рабочих органов. На основании результатов ранее проведенных исследований [34, 65, 129, 133] было решено фиксировать значения следующих факторов на рациональных уровнях: количество установленных на валу штифтов (3 шт.); расстояние между зоной действия нижнего ударного рабочего органа и решетом рабочей камеры (5 мм).

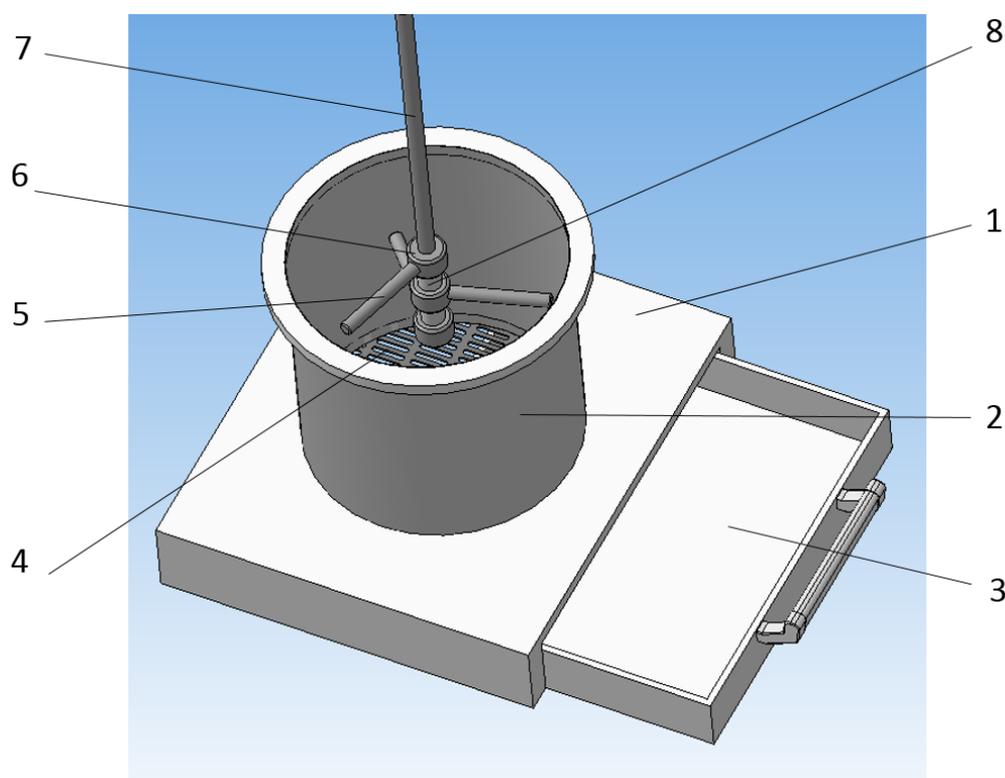


Рисунок 4.7 – Изометрическое изображение рабочих органов лабораторной установки для исследования процесса измельчения воскового сырья

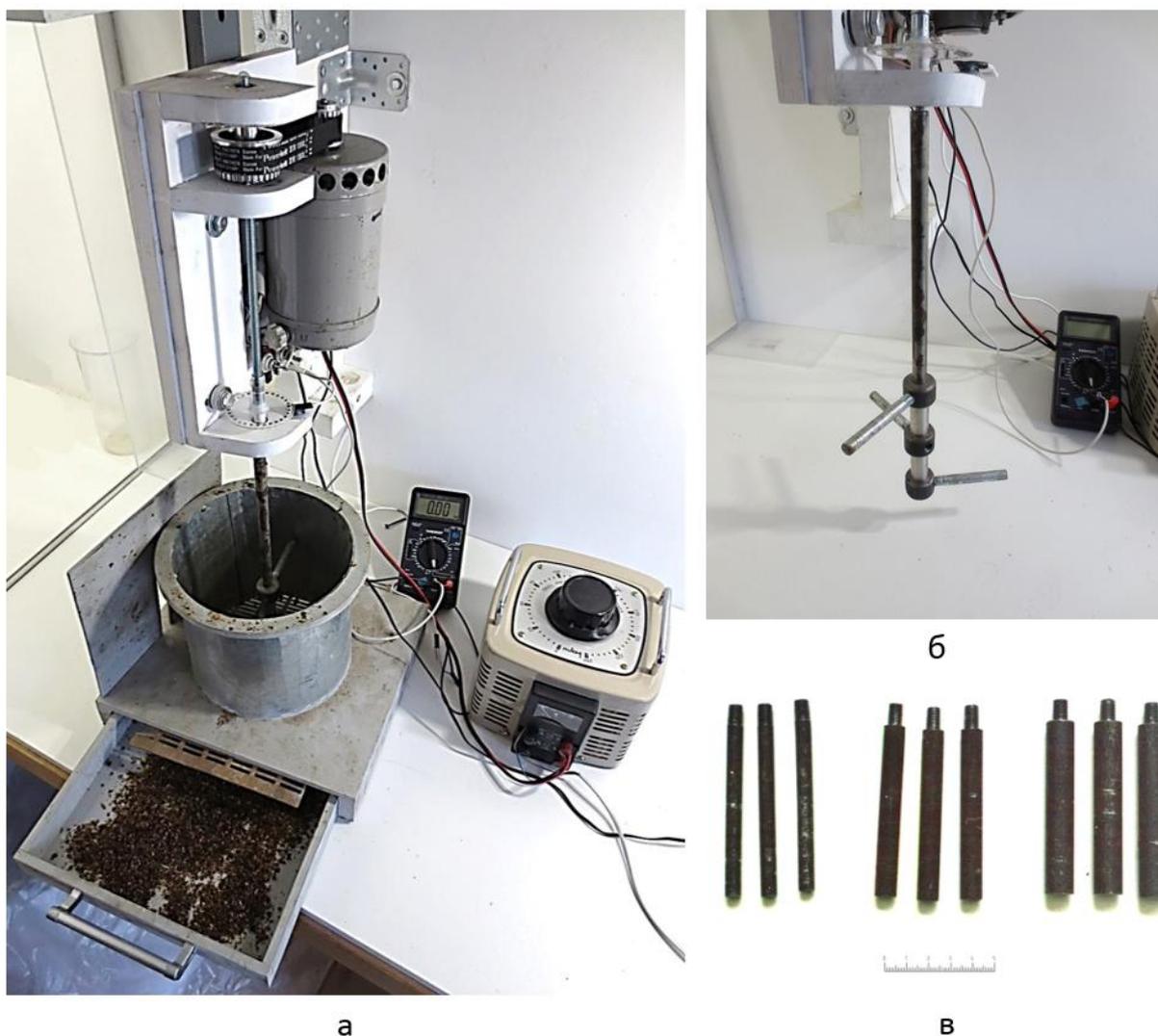


Рисунок 4.8 – Общий вид экспериментальной установки во время проведения опытов:

а – измельчающее устройство и система дифференцированного привода рабочих органов; б – рабочий вал с установленными посредством резьбовых крепежных элементов билами; в – группы ударных рабочих органов (бил) диаметром 10, 12 и 14 мм.

Установка снабжена электроприводом, позволяющим изменять частоту оборотов и снабженного ударными рабочими органами вала (билами, или штифтами), в диапазоне величин от 100 до 3000 Об/мин, что обеспечивает возможность варьирования исследуемым фактором «линейная скорость штифтов». Частоту вращения вала измеряли посредством цифрового мультиметра марки M890F с точностью до $\pm 3\%$. Для измерения частоты

вращения вала на нем был закреплен диск с регулярно расположенными по окружности вблизи от края диска постоянными магнитами в количестве 60 штук. Ориентация магнитов по их полярности одинаковая. Непосредственно над окружностью, по которой расположены магниты, на небольшом расстоянии от поверхности диска (1-1,5 мм) неподвижно закреплен датчик Холла, сигнал с которого поступает на цифровой мультиметр М890F, включенный на режим измерения частоты импульсов в Гц. При этом показания мультиметра соответствуют единицам измерения частоты вращения в оборотах в минуту.

Изменение частоты вращения рабочего вала лабораторной установки до необходимой в процессе проведения опытов величины осуществляли путем регулирования величины питающего напряжения электродвигателя [192]. Величину электрического напряжения регулировали ЛАТРом марки TDGC2 (3 KVA), рассчитанным на мощность 3 кВт.

4.3.3. Методика экспериментального исследования измельчающего рабочего органа

Анализ проведенных ранее исследований штифтового измельчающего рабочего органа, была выбрана рациональная схема проведения исследования путем реализации трехфакторного трехуровневого ротатабельного плана эксперимента. Диапазоны варьирования факторами выбирали из следующих соображений [308, 309].

Первым фактором «диаметр штифтов» (X1) варьировали в диапазоне 10...14 мм на трех уровнях с шагом 2 мм. Нижний уровень выбран на основании результатов исследования [34, 42, 129, 133], в котором установлен максимальный изучаемый габарит.

Второй исследуемый фактор – «расстояние между ближайшими билами, установленными на рабочем валу» (X2). Опыт предполагал варьирование этого параметра от 25 мм до 55 мм. Диапазон исследования фактора выбирали на основе априорной информации, основанной на результатах серии предварительно проведенных опытов [219].

Третий фактор «линейная скорость конца ударных рабочих органов» (X3) исследовали при его изменении от 9 м/с до 12 м/с. Нижний уровень – значения скорости являлся пограничным значением, при котором начинается процесс хрупкого разрушения восковых ячеистых структур [219], установленная в ранее проведенном исследовании [34, 42, 133], верхний уровень ограничен значением оборотов (1200 мин⁻¹) при заданном диаметре рабочей камеры измельчителя (0,19 м), исходя из известного соотношения линейной скорости u (м/с), расстояния d (м) и частоты вращения n (мин⁻¹):

$$u = \pi \cdot n \cdot d$$

Для анализа гранулометрического состава измельченного воскопергового вороха использовали одно сито из набора ситового классификатора, с диаметром отверстий 3 мм. [53, 58, 61]. Критерий оптимизации определяли по формуле:

$$W = \frac{m_3}{M_0} \cdot 100, \quad (4.48)$$

где m_3 – масса частиц диаметром ≥ 3 мм, г; M_0 – общая масса навески, г.

Анализ факторного пространства позволяет утверждать, что наилучшим образом рассматриваемый процесс возможно оптимизировать трехфакторным трехуровневым планом близким к D-оптимальному [79, 193]. В таблице 4.1 представлены исследуемые факторы, уровни и интервалы их варьирования.

Таблица 4.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни			Интервал
			(-1)	(0)	(+1)	
Диаметр штифтов	X1	мм	10	12	14	2
Расстояние между плоскостями вращения штифтов	X2	мм	25	40	55	15
Линейная скорость	X3	м/с	9	10,5	12	1,5

Для проведения эксперимента подготавливали экспериментальный материал: из сотов, содержащих пергу в количестве 5...32% [63], вырезали куски массой 50...70 г, которые охлаждали до температуры 0...-3°C.

Опыты проводили следующим образом. Включали лабораторную установку на заданном режиме при требуемых значениях факторов, приведенных в табл. 4.1, и загружали подготовленные куски сотов в рабочую камеру, где они подвергались эффективному разрушению под внешним воздействием бил, закрепленных на валу. Измельченная масса воско-пергового вороха скапливалась под решетом в выдвижном лотке. По завершении процесса измельчения установку отключали, извлекали содержимое лотка и подвергали ситовому анализу описанным выше способом, далее по формуле (4.48) определяли значение критерия оптимизации при установленных значениях факторов. Повторность испытаний в каждой точке плана при равном комплексе условий составляла 3 единицы.

4.3.4. Методика исследования производительности измельчения воскового сырья

Изготовленная лабораторная установка по основным конструктивным параметрам является измельчителем воскового сырья. Исследование производительности данной установки позволит сформулировать требования к загрузке камеры измельчения.

Перед началом исследования установку настраивали на рациональный режим работы, определенный ранее по результатам трехфакторного эксперимента [34, 42, 129, 133]. При этом диаметр рабочих органов составлял 14 мм, расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия бил 25 мм, частота вращения рабочего вала 1200 об/мин⁻¹. Настроенную установку приводили в действие. Из кусков перговых сотов формировали экспериментальные навески весом 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 1,35; 0,45 кг. Каждую навеску загружали в измельчительную камеру непосредственно в зону действия штифтов. Началом измельчения считали момент увеличения мощности, потребляемой электродвигателем установки. Окончанием процесса

измельчения считали момент снижения тока, потребляемого электроустановкой, до уровня холостого хода. Повторность опытов в каждой точке была трехкратной. После сбора статистической информации определяли величину производительности Q , кг/с в каждой точке опытов по формуле [307, 310]:

$$Q = \frac{M_H}{t}, \quad (4.49)$$

где M_H – масса навески, кг; t – время измельчения, с.

4.3.5. Методика определения энергоемкости процесса измельчения воскового сырья

Основная задача исследования энергетических показателей процесса измельчения воскового сырья заключается в необходимости определения мощности, требуемой для измельчения. Мощностные показатели необходимы для подбора электродвигателя установки, обеспечивающего безаварийную длительную работу [5]. В связи с вышесказанным, наибольшую значимость представляла величина мощности, затрачиваемой на процесс измельчения.

Рабочий процесс исследуемого измельчителя носит периодический характер, поскольку измельчаемый материал загружается порционно. Поэтому электропривод установки должен гарантированно справляться с загрузкой установки. Процесс измельчения в установке проводили в соответствии с методикой, описанной в п. 4.4.

Мощность, потребляемую электродвигателем установки, измеряли в соответствии со схемой (рис. 4.6), посредством ваттметра марки Д539 (класс точности 0,5). В основу данного типа ваттметров положена электромагнитная система измерения. При загрузке в измельчитель различных по массе порций продукта рабочий вал подвергается быстроменяющимся тормозным нагрузкам, при этом обороты электродвигателя изменяются. Таким образом, возникают флуктуации $\cos\phi$ [18]. Поэтому мощность измеряется благодаря использованию ваттметра, имеющего электромагнитную систему измерения. Результирующие показатели мощности определяются с точностью $\pm 1,5\%$.

Энергоемкость процесса измельчения, определяли по формуле [10, 109]:

$$E = \frac{N}{Q}, \quad (4.50)$$

где N – потребляемая измельчителем мощность, Вт; Q – производительность процесса измельчения, кг/ч.

4.4. Результаты экспериментального исследования процесса измельчения воскового сырья

4.4.1. Результаты исследования рациональных параметров штифтового измельчителя

Результаты трехфакторного эксперимента [219], устанавливающего влияние диаметра ударных элементов d (мм), расстояния между ближайшими точками рабочих зон действия штифтов l (мм) и линейной скорости рабочих ударных органов u (м/с) [219] на гранулометрический состав получаемого измельченного воскового сырья представлены в приложении Г. Регрессионный анализ экспериментальных данных представлен в виде Mathcad-документа в приложении Г.

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

$$P(d, l, u) = 602.03 - 50.33 \cdot d + 1.54 \cdot l - 45.46 \cdot u + 1.88 \cdot d^2 - 0.018 \cdot l^2 + 1.98 \cdot u^2 \quad (4.51) [219].$$

Минимизация функции отклика позволила определить следующие рациональные значения факторов:

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

Полученная регрессионная зависимость (4.51) представлена графически на рис. 4.9-4.11.

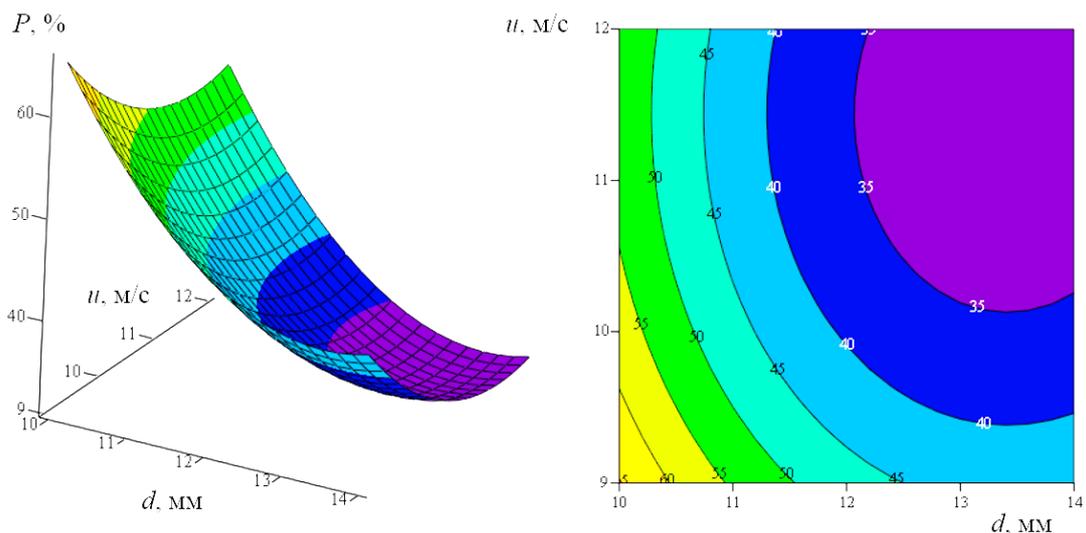


Рисунок 4.9 – Выход из измельчителя частиц воскового сырь (≥ 3 мм) в измельченной массе в зависимости от диаметра ударных рабочих органов d , мм и линейной скорости воздействия u , м/с (расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия штифтов стабилизировано)

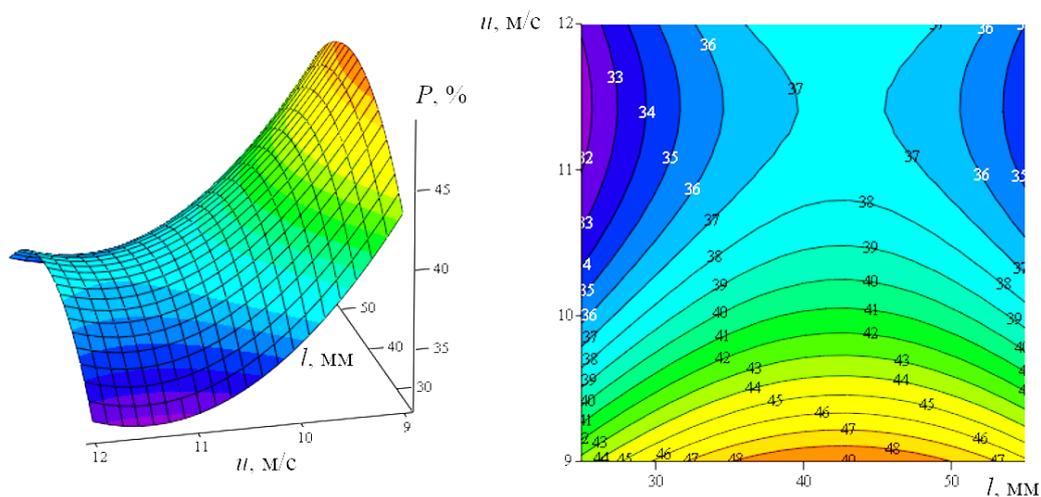


Рисунок 4.10 – Выход из измельчителя частиц воскового сырь (≥ 3 мм) в измельченной массе восковых частиц в зависимости от расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия штифтов l , мм и линейной скорости движения u , м/с (диаметр ударных рабочих органов стабилизирован на рациональном уровне)

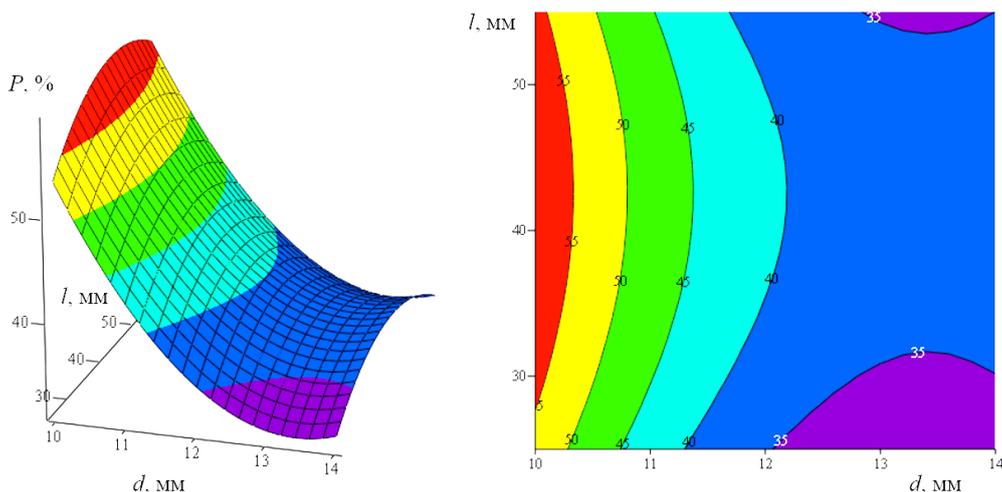


Рисунок 4.11 – Выход из измельчителя частиц воскового сырья размером (≥ 3 мм) в измельченной массе восковых частиц от диаметра ударных рабочих органов d , мм и расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия штифтов l , мм (линейная скорость движения ударных рабочих органов стабилизирована на рациональном уровне)

Из анализа полученных результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

Исследуемый процесс адекватно описывается квадратичной моделью после исключения вырождающихся членов и пересчете модели (4.51) при статистически не значимых эффектах $x1x2$, $x1x3$, $x2x4$.

Минимальное содержание крупных фракций (3 мм и более) в измельченном материале достигается при диаметре ударных рабочих органов 14 мм, и расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия рабочих органов 25 мм, линейной скорости концов ударных рабочих органов 12 м/с (найденные рациональные значения факторов округлены сверху). При данном сочетании исследуемых факторов значение критерия оптимизации не превышает 32%.

Проведенное экспериментальное исследование позволяет определить основные конструктивные параметры штифтового измельчающего аппарата, обеспечивающие измельчение воскового сырья до требуемого гранулометрического состава.

Последующие исследования проводили на измельчителе имеющим рациональные конструктивные параметры.

4.4.2. Результаты исследования производительности измельчения воскового сырь

Полученные опытные данные продолжительности процесса измельчения в зависимости от массы измельчаемой навески проходили статистическую обработку в соответствии с методикой, описанной в п. 3.1.4. В результате анализа опытных данных оценивали величину времени, затраченного на измельчение и показатель производительности измельчающего аппарата.

Результаты статистической обработки приведены на рисунке 4.12-4.13 и в виде эмпирической зависимости производительности от массы навески:

$$Q(M) = 17.48 + 114.22 \cdot M - 149.07 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.97 \quad (4.52)$$

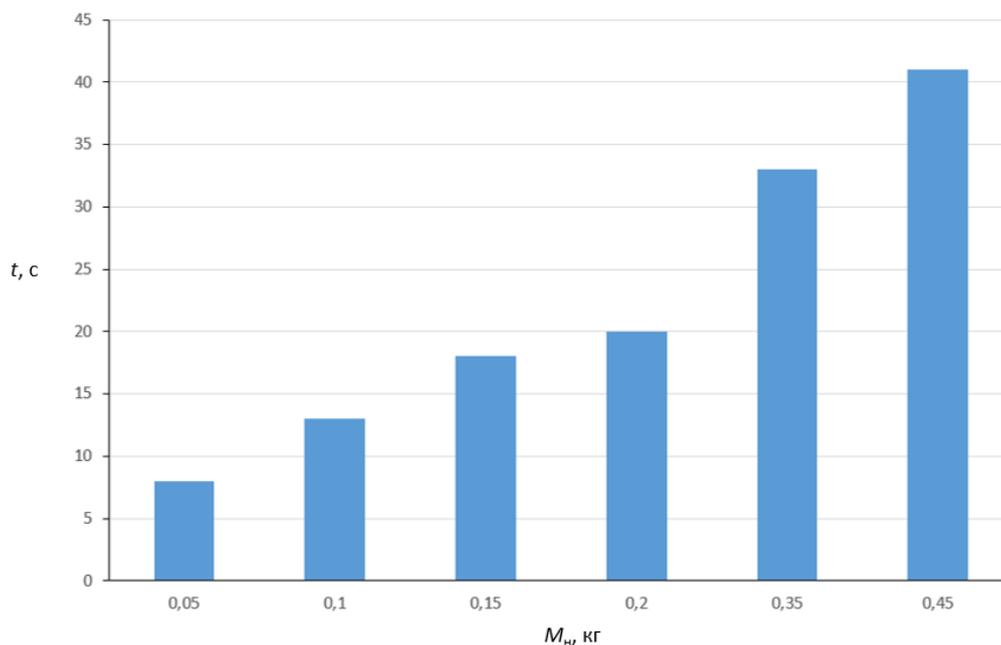


Рисунок 4.12 – Время t , с, затраченное на измельчение, в зависимости от массы навески M_n , кг при величине оборотов вала 1200 мин^{-1}

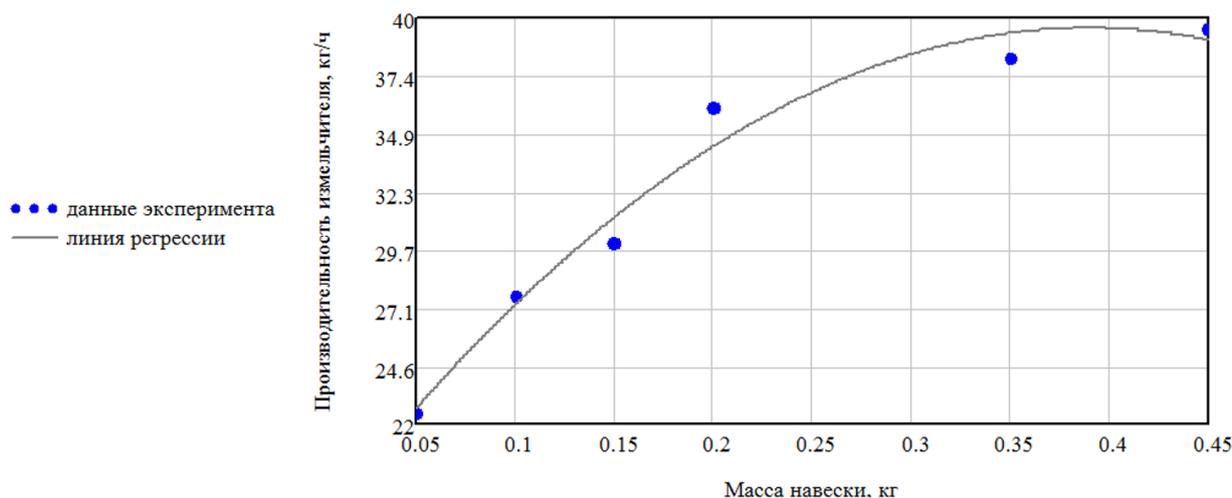


Рисунок 4.13 – Производительность измельчителя Q , кг/ч в зависимости от массы навески M_n , кг при величине оборотов вала 1200 мин^{-1}

Возможно, заключить, что величина производительности зависит от конструктивных параметров измельчителя и стабилизируется на уровне 37-40 кг/ч при значении массы загружаемого продукта 0,25-0,3 кг. Дальнейшее увеличение навески на производительность измельчения практически не влияет.

4.4.3. Результаты определения энергоёмкости процесса измельчения воскового сырья

Полученные опытные данные влияния массы измельчаемой навески сотов на мощность потребляемую электродвигателем лабораторной установки подвергали статистической обработке в соответствии с описанной методикой в п. 3.4. Экспериментальные данные представленные в результате их статистической обработки приведены в виде математических моделей (4.53) - (4.54), определяющих зависимость потребляемой измельчителем мощности и энергоёмкости процесса измельчения:

$$N(M) = 41.81 + 543.94 \cdot M + 626.29 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.998; \quad (4.53)$$

$$E(M) = 2.85 + 6.2 \cdot M + 24.49 \cdot M^2, \quad R^2 = 0.995. \quad (4.54)$$

Полученные зависимости представлены на рис. 4.14-4.15 в виде графических аппроксимаций с нанесением точек, характеризующих средние значения функций.

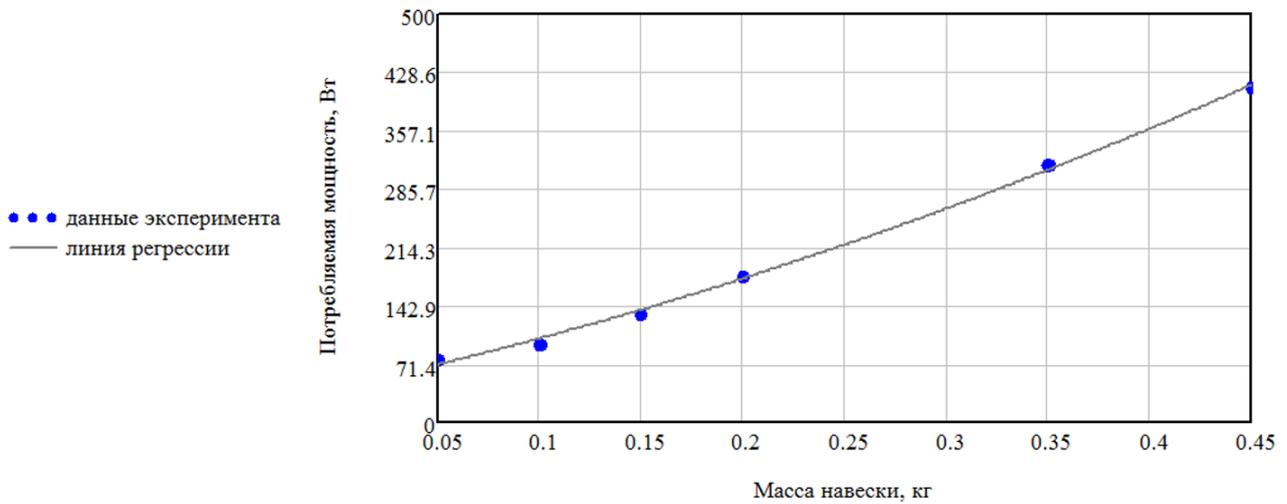


Рисунок 4.14 – Мощность N , Вт, потребляемая измельчителем, в зависимости от массы навески M_n , кг при величине оборотов вала 1200 мин^{-1}

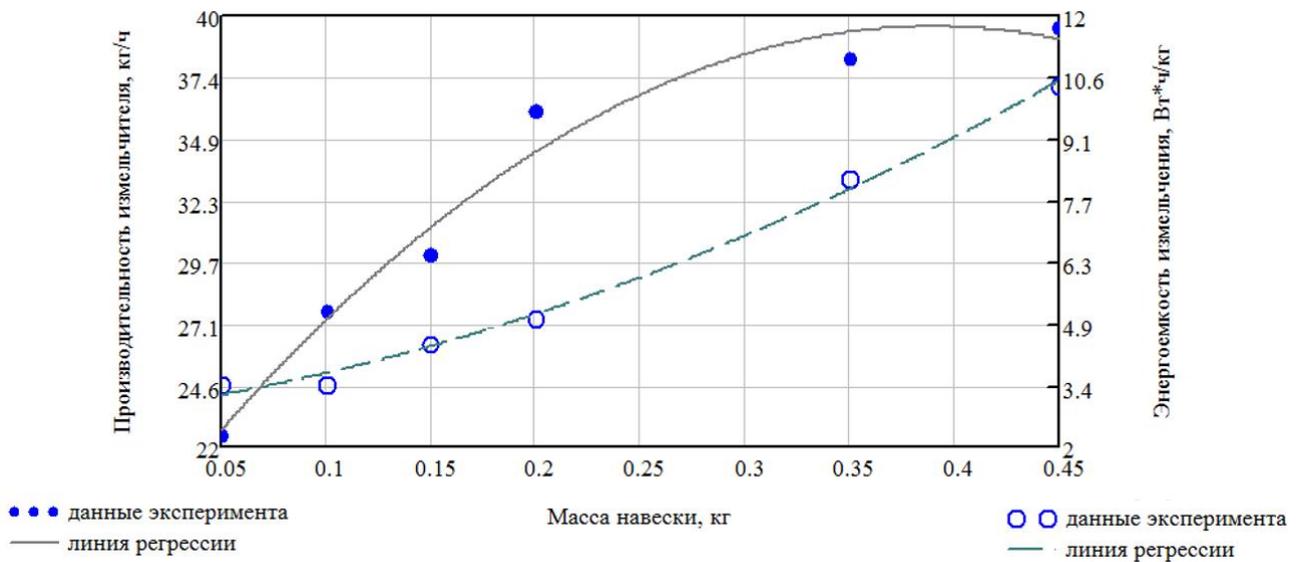


Рисунок 4.15 – Производительность измельчителя Q , кг/ч и энергоёмкость процесса измельчения E , Вт·ч/кг в зависимости от массы навески M_n , кг при величине оборотов вала 1200 мин^{-1}

Установленная зависимость показывает, что при увеличении количества измельчаемого материала, превышающего 0,4 кг происходит застой продукта в

камере измельчения, что приводит к дополнительному затормаживанию рабочего вала, а как следствие – нерациональному использованию энергии измельчителем.

В связи с установленной закономерностью наиболее целесообразным представляется эксплуатация измельчителя при уровне его загрузки 35 кг/ч.

Выводы по главе 4

1. Установлено, что высокоэффективным устройством измельчения воскового сырья выбракованных пчелиных сотов является штифтовый измельчающий аппарат, представляющий собой рабочий корпус, внутри которого расположен вал с неподвижно закрепленными штифтами, при этом штифты расположены по винтовой линии под некоторым углом друг к другу, а под нижним штифтом располагается решето, диаметр отверстий которого обеспечивает требуемый гранулометрический состав измельчаемому продукту.

2. В результате теоретического исследования получена аналитическая модель, описывающая рабочий процесс штифтового измельчителя, которая позволяет определить время измельчения сотов в зависимости от частоты вращения рабочего вала и числа установленных на нем штифтов. Результат численного моделирования показал, что при увеличении частоты вращения вала свыше 1100 Об/мин продолжительность процесса измельчения падает. Установлено, что количество ударных рабочих элементов, используемых при формировании измельчающего устройства, оказывает выраженный эффект на описываемый процесс, их максимальное число составляет три единицы. Снабжение рабочего вала шестью и более ударными рабочими элементами приводит к негативному эффекту, так как не обеспечивает значимого прироста производительности. При частоте вращения рабочего вала 1250 Об/мин и числе бил на рабочем валу, составляющем 3, время измельчения куска сотов до усредненного гранулометрического состава в получаемой массе 1,5 мм будет достигать 13 секунд.

3. В результате проведения экспериментального исследования штифтового измельчителя установлена адекватная математическая модель, связывающая показатели крупности частиц в измельченной массе, получаемой в результате измельчения выбракованного воскового сырья от диаметров ударных рабочих органов, расстояния между ближайшими точками рабочих зон действия рабочих органов и их линейной скорости. Проведенное математическое моделирование процесса позволило установить, что минимальное содержание крупных фракций (3 мм и более) в измельченном материале, достигается при следующих конструктивных параметрах штифтового измельчающего аппарата: диаметр рабочих органов 14 мм, расстояние между ближайшими точками рабочих зон действия рабочих органов 25 мм, и линейная скорость их движения 12 м/с (найденные рациональные значения факторов округлены в большую сторону). При данном сочетании исследуемых факторов содержание крупных фракций не превышает 32%.

4. Экспериментально установлено, что количество воскового сырья, загружаемое в измельчитель, оказывает значимое влияние на его производительность при загрузке продукта в количестве менее 200 г, при большей загрузке производительность стабилизируется на уровне 35 кг/ч.

5. Установлено, что при изменении порции загружаемого продукта от 0,05 кг до 0,45 кг энергоемкость измельчения повышается от 3,4 до 10,6 Вт·ч/кг.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ В ВОДЕ

5.1. Программа исследований

Предложенный способы очистки воскового сырья патент РФ №2656968 [231] и установка для очистки воскового сырья патент РФ №2672403 [235] предполагают, что диспергирование и растворение органических загрязнений из измельченной восковой массы будит проходить в воде во время активного перемешивания. Образующиеся в водной среде очищенные восковые частицы будут отделяться от загрязненной воды посредством фильтрования.

На первом этапе исследования необходимо построить аналитическую модель растворения и диспергирования различного рода загрязняющих восковое сырье компонентов в воде при перемешивании.

Математическая модель должна связывать следующие параметры [30, 32]:

- интенсивность механического перемешивания;
- продолжительность процесса;
- остаточную концентрацию твердой фазы в воде (процент не растворившихся загрязнений).

На следующем этапе исследований – провести математическое моделирование процесса для обоснования параметров камеры для диспергирования загрязнений.

На основе полученных теоретических результатов экспериментально исследовать:

- влияние геометрических параметров камеры диспергирования на интенсивность процесса перемешивания;
- способность перги к растворению при интенсивном механическом перемешивании от следующих факторов: интенсивности перемешивания, времени процесса и начального гранулометрического состава загрязнений;

- влияние концентрации загрязнителей воскового сырья, диспергируемых в водный раствор на удельные и прямые затраты мощности, требуемые для поддержания интенсивности перемешивания, а также определение рационального соотношения компонентов в камере диспергирования, с позиций минимизации количества остаточных загрязнений.

5.2. Теоретическое исследование процесса диспергирования твердых органических загрязнений воскового сырья в воде

5.2.1. Основные положения для построения математической модели процесса диспергирования

Установка для очистки воскового сырья, содержащая камеру для диспергирования загрязнений, подробно описана в пункте 4.1.

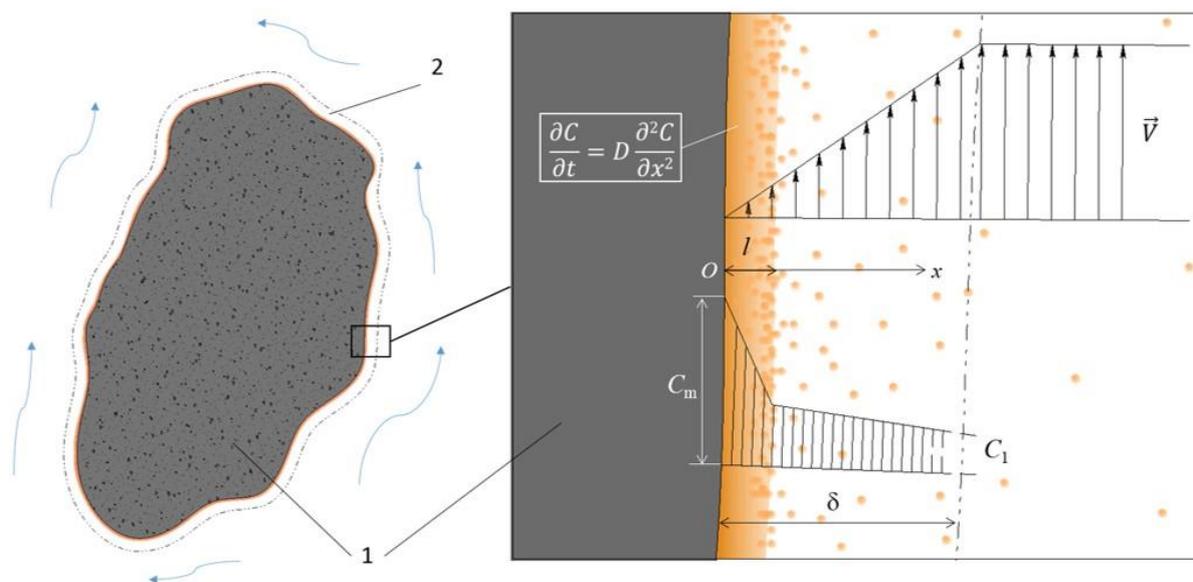
Аналитическое описание процессов, происходящих при растворении твердых тел в жидкости, представляется достаточно трудоемкой задачей, ввиду сложности явлений, происходящих на поверхности раздела фаз, а также влиянием множества факторов, латентных по своей природе, как например, шероховатость поверхности частиц твердого вещества, динамика микропотоков на этой поверхности и др. [54, 55, 64, 83]. Все эти латентные факторы, вероятно, способствуют субмикронному распаду растворяющихся компонентов, когда от частицы твердого вещества отщепляются микроскопические элементы. В качестве таких частиц микроскопических размеров, отделяющихся от частицы перги, будем рассматривать ее структурный элемент – зерна пыльцы. Размер пыльцевых зерен примем в соответствие с их среднестатистическим размером равным нескольким микронам [77, 78].

Изучение явлений и процессов при растворении твердых тел в жидкости являлось предметом исследований многих ученых [76, 115, 117]. Они пришли к выводу, что процесс массоотдачи растворяющейся твердой фазы в жидкость происходит через т.н. «пограничный слой», существующий на поверхности раздела фаз. Пограничный слой представляет собой очень тонкую область

течения, в пределах которой существуют резкие сосредоточенные изменения концентрации растворимо твердого вещества и скорости потока [116, 137].

Для построения адекватной аналитической теории примем следующие допущения. Частица диспергируемого продукта подвергается равномерному обтеканию жидкости со всех сторон. Физическая концепция процесса предполагает следующую схему его протекания: на твердое тело, помещенное в жидкость, действуют внешние силы со стороны жидкости, при этом от поверхности твердого тела отщепляются частицы. Поскольку скорость потока жидкости в непосредственной близости от поверхности тела весьма мала формируется так называемый диффузионный слой [274]. Состав диффузионного слоя представляет собой нечто среднее между составом твердого тела и жидкостью, но так как на наиболее удаленные точки этого слоя от поверхности тела действует внешний поток жидкости, возникает четкая граница изменения концентрации твердых частиц в жидкости, после которой поверхностный слой называют конвекционным.

Рисунок 5.1 иллюстрирует изменение удельной концентрации энергии в закрытой системе, приводящее к изменению соотношения толщин, описанных выше слоев. Так при ламинарном режиме перемешивания диффузионный слой преобладает, а конвекционный истончается.



1 – частица твердой фазы; 2 – пограничный слой

Рисунок 5.1 – Твердая частица, растворяемая в потоке жидкости

Если количество вбрасываемой энергии увеличивается, то размеры слоев могут приблизительно уравниваться [174].

Рассмотрим маленький участок поверхности растворения и проведем ось OX вдоль нормали к этой поверхности (рис. 5.1) [174, 176].

Сформулируем основные положения математической модели одномерной диффузии (модели диспергирования), описывающей процесс отделения зерен пыльцы от частицы перги и переход их в раствор [272].

1. Зерна пыльцы покидают поверхность массообмена вдоль нормали к ней, влиянием соседних зерен на процесс перехода частиц из пограничного слоя пренебрегаем.

2. Процесс массообмена возможен при обтекании поверхности частицы потоком жидкости. При отсутствии движения среды происходят лишь диффузионные процессы.

3. Уравнение диффузии, описывающее процесс массообмена, следующее [218, 289]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (5.1)$$

где x – координата исследуемой частицы; t – продолжительность процесса; C – величина концентрации диспергируемого продукта в растворе; D – коэффициент, характеризующий значение диффузии.

4. Элементарные (не уменьшаемые) частицы твердого вещества в жидкости подвержены неуправляемому хаотическому движению, по своим характеристикам весьма схожему с тепловым. Наиболее целесообразным представляется описать данный процесс таким показателем, как коэффициент диффузии [289]:

$$D_A = \frac{k_b \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d_r}, \quad (5.2)$$

где k_b – постоянная величина Больцмана, Дж/К; T – температура компонентов, К; η – значение динамической вязкости, Па·с; d_r – среднестатистические габариты диспергируемых тел, м.

5. Принимая во внимание процессы, происходящие в пограничном слое, возможно заключить, что наиболее близкая к поверхности тела зона (примыкающая к поверхности частицы) неподвижна относительно нее, а во внешней границе скорость потока совпадает со скоростью движения жидкости, омывающей частицу. Толщина пограничного слоя оценивается выражением вида [218, 289]:

$$\delta = \sqrt{\frac{\eta \cdot L}{\rho \cdot V}}, \quad (5.2^*)$$

где L – характерный геометрический размер частицы, м; ρ – показатель плотности исследуемого раствора, кг/м³; η – показатель вязкости исследуемого раствора; V – линейная скорость потока жидкости относительно омываемой частицы, м/с.

Основной вывод, который возможно сделать в результате детерминированного описания исследуемого процесса и полученной функциональной зависимости $\delta = f(L, \rho, \eta, V)$, заключается в том, что: между толщиной пограничного слоя частицы и линейной скоростью потока жидкости, омывающей частицу, существует связь. Чем выше скорость омывающего потока, тем активней происходит процесс микроразрушения поверхности частицы и переноса ее массы в жидкость.

6. Скорость омывающего потока V напрямую связана с энергией, а следовательно, и мощностью, затрачиваемой на перемешивание, то есть полезной мощностью. Увеличение полезной мощности влечет повышению скорости V , уменьшение толщины δ , и в итоге ведет к нарастанию интенсивности массообмена при растворении.

5.2.2. Постановка краевой задачи

Процесс диффузии пылицы с поверхности твердого материала в ядро жидкости (растворение, или диспергирование) можно описать одномерным уравнением распределения частиц $C(x, t)$ во времени и пространстве [17]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \\ \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad t > 0 \\ -D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=l} = k(C|_{x=l} - C_1), \quad t > 0 \\ C|_{t=0} = C_0(x), \quad 0 < x < l \end{array} \right. \quad (5.3)$$

Первая строка системы – дифференциальное уравнение диффузии (ограничимся одной пространственной переменной, так как рассматривается удаление зерен пылицы на достаточно большое расстояние от поверхности массообмена). Сам процесс массообмена является необратимым и происходит в непосредственной близости от частицы (или на ее поверхности), где нет влияния движения омывающего потока.

Вторая строка в системе (5.3) – граничное условие на левой границе. Это либо «дно» частицы, либо ось симметрии. Массообмен в этом направлении не происходит.

Третья строка в системе (5.3) – граничное условие на правой границе. Здесь существует пограничный слой, и происходит переход частиц растворяемого твердого компонента в жидкость. Интенсивность массообмена пропорциональна разности концентраций пылицы в частице растворяемого компонента (перги) и в растворителе (воде): $k(C|_{x=l} - C_1)$, где k – коэффициент массоотдачи [17, 132]. При достижении равенства концентраций $C|_{x=l} = C_1$ наступает динамическое равновесие, и массообмена больше не происходит. При прочих равных условиях величина k зависит от скорости омывающего потока. Если движение жидкости вокруг частицы отсутствует (скорость равна нулю), вокруг частицы образуется облако пылицы, которая либо оседает поблизости от нее, либо беспорядочно движется под действием теплового движения (броуновское движение). Когда существует направленное движение жидкости вокруг частицы, образуется пограничный слой, скорость в котором изменяется от нуля на поверхности частицы до максимальной на внешней

границе слоя. Концентрация пылицы внутри слоя уменьшается за счет перехода пылицы в раствор, а ее восстановление происходит за счет диффузии с поверхности растворяемой частицы. Увеличение общего уровня энергии в закрытой системе изменяет условия течения процесса в пограничном слое, в конечном случае активность распада тела и его перехода в жидкость увеличиваются. Поэтому числовая величина показателя k наиболее значимо зависит от скорости движения омывающей жидкости, которая в свою очередь определяется полезной мощностью, затрачиваемой на перемешивание, то возникает возможность управления процессом растворения.

Если производную аппроксимировать разностным отношением, то это граничное условие можно интерпретировать следующим образом:

$$-D \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=l} \approx D \frac{C_1 - C|_{x=l}}{\delta} = k (C|_{x=l} - C_1), \quad (5.4)$$

где $k = D/\delta$.

Четвертая строка в системе (5.3) – начальное условие распределения зерен пылицы на поверхности растворяемой частицы.

Для аналитического решения задачи перейдем от абсолютных величин к безразмерным, в частности, вместо величины, характеризующей уровень концентрации C , ($\text{кг}/\text{м}^3$), в расчетах будем использовать безразмерную величину U .

$$U = \frac{C - C_1}{C_m - C_1} \quad (5.5)$$

где C – концентрация загрязнений, оставшихся в исследуемой системе по завершении процесса очистки (оптимизируемый параметр); C_1 – текущая величина концентрации (концентрация загрязнений в жидкости); C_m – предельная величина концентрации (величина, сопоставимая с физическим состоянием загрязнений).

Для построения адекватной модели примем как допущение то, что $C_1 = \text{const} = 0$.

Система уравнений после введения описанных выше допущений примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} = D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, & 0 < x < l, \quad t > 0 \\ \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, & t > 0 \\ -D \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=l} = kU \Big|_{x=l}, & t > 0 \\ U \Big|_{t=0} = U_0(x), & 0 < x < l \end{cases} \quad (5.6)$$

где l – длина траектории, при которой диффузия является преобладающей над процессом конвекции.

Теперь необходимо произвести разделение переменных.

Пусть неизвестное решение задачи (5.6) можно представить в виде произведения $U(x, t) = X(x) \cdot T(t)$. Каждый сомножитель этого произведения зависит только от одной переменной. Подставим данное произведение в первое уравнение системы (5.6):

$$\frac{\partial}{\partial t} (X(x) \cdot T(t)) = D \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} (X(x) \cdot T(t)) \quad (5.7)$$

и продифференцируем его

$$X(x) \cdot \frac{dT(t)}{dt} = D \cdot \frac{d^2 X(x)}{dx^2} \cdot T(t) \quad (5.8)$$

Проведем разделение независимых переменных:

$$\frac{1}{D \cdot T(t)} \cdot \frac{dT(t)}{dt} = \frac{1}{X(x)} \cdot \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = -\lambda^2 \quad (5.9)$$

Каждая часть полученного равенства зависит от одной переменной. Поэтому данное равенство справедливо тогда, когда каждая из дробей постоянна.

Получаем следующие уравнения:

$$X'' + \lambda^2 X = 0 \quad (5.10)$$

$$T' + \lambda^2 D T = 0 \quad (5.11)$$

Предполагаемый вид решения подставим в левое краевое условие:

$$\left. \frac{\partial(X \cdot T)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$$

или

$$T \cdot \left. \frac{dX}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (5.12)$$

Так как для нас интерес представляют только нетривиальные решения, то для координатной составляющей имеем:

$$X'(0) = 0 \quad (5.13)$$

Аналогичные действия проведем с правым граничным условием:

$$-D \left. \frac{\partial(X \cdot T)}{\partial x} \right|_{x=l} = k(X \cdot T)|_{x=l},$$

или

$$-D \left. \frac{dX}{dx} \right|_{x=l} \cdot T = k \cdot X|_{x=l} \cdot T \quad (5.14)$$

Требование нетривиальности решения приводит к следующему уравнению:

$$X'(l) + h \cdot X(l) = 0, \quad h = \frac{k}{D} \quad (5.15)$$

Теперь, для решения краевой задачи необходимо перейти к последовательному нахождению неизвестной функции $X(x)$ и неизвестного числа λ из краевой задачи Штурма-Лиувилля:

$$\begin{cases} X'' + \lambda^2 X = 0, & 0 < x < l, \\ X'(0) = 0, \\ X'(l) + h \cdot X(l) = 0 \end{cases} \quad (5.16)$$

Неизвестная временная функция $T(t)$ находится из уравнения (5.11):

Решение сформулированных задач начнем с пространственной функции $X(x)$. Общее решение запишем в следующей форме:

$$X(x) = A \cdot \cos \lambda x + B \cdot \sin \lambda x \quad (5.17)$$

где A, B – произвольные константы.

Для определения A и B общее решение подставим в левое граничное условие:

$$(A \cdot \cos \lambda x + B \cdot \sin \lambda x)' \Big|_{x=0} = 0$$

или

$$A \cdot (-\lambda) \cdot \sin \lambda 0 + B \cdot \lambda \cdot \cos \lambda 0 = 0$$

Упростив полученное выражение, запишем:

$$B \cdot \lambda \cdot \cos \lambda 0 = B \cdot \lambda = 0$$

Исходя из требования нетривиальности решения, положим $B = 0$. Теперь общее решение примет вид

$$X(x) = A \cdot \cos \lambda x \tag{5.18}$$

Те же действия проделаем с правым граничным условием:

$$\left((A \cdot \cos \lambda x)' + h \cdot A \cdot \cos \lambda x \right) \Big|_{x=l} = 0$$

или

$$A \cdot (-\lambda) \cdot \sin \lambda l + h \cdot A \cdot \cos \lambda l = 0$$

Если положить $A = 0$, то получим тривиальное решение. Поэтому справедливо равенство

$$\lambda \cdot \sin \lambda l - h \cdot \cos \lambda l = 0 \tag{5.19}$$

Уравнение (5.19) используется для нахождения неизвестной величины λ . Оно является характеристическим трансцендентным уравнением. Обозначим последовательность его собственных значений (корней) как λ_k . Для каждого собственного значения λ_k получаем последовательность частных решений:

$$X_k(x) = \cos \lambda_k x, \tag{5.20}$$

При этом каждая последовательность имеет отличные от других характеристики:

1) частные значения создают возможность решения задачи Штурма-Лиувилля;

2) значения величин перпендикулярны в диапазоне $[0, l]$:

$$(X_k, X_m) = \int_0^l \cos \lambda_k x \cdot \cos \lambda_m x \, dx = 0 \quad (5.21)$$

3) квадрат нормы элемента последовательности равен

$$\|X_k\|^2 = (X_k, X_k) = \int_0^l \cos^2 \lambda_k x \, dx = \frac{l \cdot (\lambda_k^2 + h^2) + h}{2 \cdot (\lambda_k^2 + h^2)} \quad (5.22)$$

Для временной составляющей $T(t)$ решение вытекает из уравнения (5.11)

с учетом параметра λ путем интегрирования каждого его значения λ_k :

$$T_k(t) = e^{-\lambda_k^2 D t} \quad (5.23)$$

Перемножив пространственную и временную составляющую, получим:

$$u_k(x, t) = X_k(x) \cdot T_k(t) = \cos \lambda_k x \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \quad (5.24)$$

5.2.3. Общее решение краевой задачи

Так как исходная краевая задача является линейной, то общее ее решение можно представить в виде ряда:

$$U(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \cdot \cos \lambda_k x \quad (5.25)$$

Произвольные константы A_k , ($k = 1, 2, \dots$) определяются начальными условиями.

Если в общее решение (5.25) подставить $t = 0$ и приравнять начальному распределению концентрации, получим:

$$U(x, 0) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot e^{-\lambda_k^2 D \cdot 0} \cdot \cos \lambda_k x = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos \lambda_k x = C_0(x) \quad (5.26)$$

Если левую часть (5.26) рассматривать как разложение начальной концентрации в ряд Фурье, то можно найти выражения для A_k :

$$A_k = \frac{1}{\|X_k\|^2} \cdot (C_0, X_k) = \frac{1}{\|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi \, d\xi \quad (5.27)$$

Подставляя их в ряд, найдем выражение для определения концентрации пылицы в произвольной точке в произвольный момент времени:

$$U(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi \right) \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \cdot \cos \lambda_k x \quad (5.28)$$

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

$$\begin{aligned} \bar{C}(t) &= \int_0^l U(x, t) dx = \int_0^l \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi \right) \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \cdot \cos \lambda_k x dx = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\sin^2 \lambda_k l}{l \lambda_k^2 \|X_k\|^2} \cdot \int_0^l C_0(\xi) \cdot \cos \lambda_k \xi d\xi \right) \cdot e^{-\lambda_k^2 D t} \end{aligned} \quad (5.29)$$

В итоге получим выражение для средней остаточной концентрации нерастворенной перги по истечении определенного времени процесса перемешивания:

$$\bar{C}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cdot e^{-\lambda_k^2 D t}, \quad (5.30)$$

где

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

5.2.4. Определение значений толщины пограничного слоя и коэффициента массоотдачи

Как было отмечено выше, управлять процессом растворения, точнее его скоростью, представляется возможным посредством регулирования полезной мощностью, подводимой к мешалке. При различных скоростях потока массоотдача будет разной. Коэффициент массоотдачи k имеет размерность [м/с] и может быть выражен через толщину пограничного слоя [27, 273]:

$$k = \frac{D}{\delta}, \quad (5.31)$$

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

По данным Аксельруда, Бруннера и Толлочко, значение толщины пограничного слоя δ варьирует в пределах 5...100 мкм при различных значениях скоростей омывающего потока [256]. Однако, возможна и его аналитическая оценка при введении безразмерного критерия – диффузионного числа Нуссельта:

$$\text{Nu} = \frac{l_{\text{п}}}{\delta}, \quad (5.32)$$

где $l_{\text{п}}$ – линейный размер растворяемой частицы, м.

Сам критерий Nu можно определить по методике, предложенной Аксельрудом, Плановским и Свиначевым [289]:

$$\text{Nu} = A \cdot \sqrt[3]{\text{Pr}} \cdot \sqrt{\text{Re}}, \quad (5.33)$$

где $A = 0,8...0,95$;

Pr , Re – безразмерные критерии Прандтля и Рейнольдса соответственно.

Критерий Прандтля Pr определяется только физическими свойствами среды и выражается отношением:

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{D}, \quad (5.34)$$

где ν – кинематическая вязкость раствора, м²/с;

D – коэффициент диффузии, м²/с.

Второй безразмерный критерий в выражении (5.33) – число Рейнольдса Re , является важным фактором, влияющим на толщину диффузионного слоя, поскольку в определение этого числа входит скорость потока, значением которой мы можем управлять, изменяя подводимую мощность.

Существует множество подходов к определению этого критерия [289]. Например, для характеристики потока в замкнутых сосудах, предназначенных для перемешивания жидкостей, применяют центробежный критерий Рейнольдса Re_m :

$$\text{Re}_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\eta}, \quad (5.35)$$

где n – обороты мешалки, Об/с; d – диаметр мешалки, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; η – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с.

Для процессов перемешивания и растворения твердых частиц в жидкости характерно то, что скорость движения потока в аппарате не эквивалентна скорости обтекания самой растворяемой частицы. При перемешивании, особенно в ламинарном режиме, обладающие инерцией растворяемые частицы движутся вместе с потоком, и скорость движения жидкости относительно поверхности частицы будет значительно меньше скорости движения потока в аппарате [138]. В связи с этим, целесообразно применить иную модификацию Re , в которой основным параметром является не скорость движения потока в аппарате, а локальные турбулентные пульсации в области, соизмеримой с размерами частицы [170]:

$$\text{Re} = \frac{d_r^{\frac{4}{3}} \cdot \rho^{\frac{2}{3}}}{\eta} \cdot \left(\frac{N}{V} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5.36)$$

где d_r – характерный линейный размер частицы, м; $N/V = I$ – интенсивность перемешивания, Вт/м⁴.

Преимуществом данного определения критерия Рейнольдса является независимость коэффициента массоотдачи от габаритов перемешивающего аппарата, так как входящая в определение Re величина интенсивности $N/V = I$ учитывает геометрические параметры устройства.

5.2.5. Численное моделирование процесса диспергирования твердых органических загрязнений воскового сырья в воде

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

Исходные данные для численного моделирования и расчет представлены в Mathcad-листинге (приложение Д). Результаты моделирования представлены на рис. 5.2 - 5.8.

На рис. 5.2 представлены трехмерная поверхность и график изолиний, построенные по сетке с количеством шагов, равным 50, и изображающие зависимость остаточной концентрации от интенсивности и времени процесса растворения.

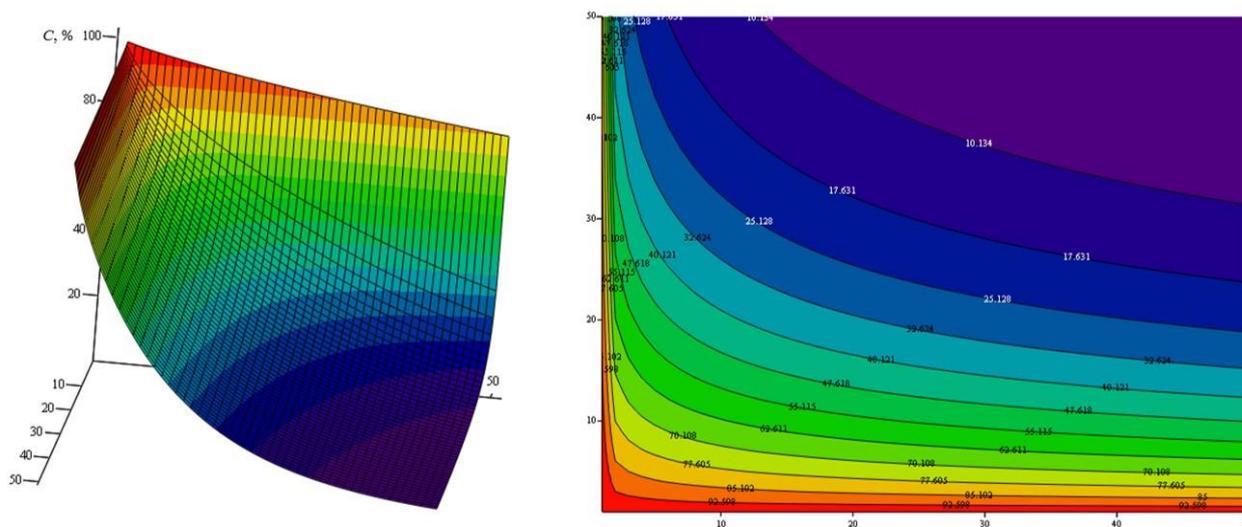


Рисунок 5.2 – Зависимость относительного количества нерастворённой перги от интенсивности и длительности процесса перемешивания

Градация оси OX 1...50 соответствует изменению интенсивности перемешивания в диапазоне 1...20000 Вт/м³. Градация оси OY 1...50 соответствует изменению времени процесса перемешивания в диапазоне 1...600 с. На оси OZ отложены значения остаточной концентрации в относительном выражении – от 1 до 100%. Относительная остаточная концентрация интерпретируется как количество (масса или объем) нерастворенной перги в произвольный момент времени перемешивания по отношению к первоначальному ее количеству.

На рис. 5.3, 5.5, 5.7 представлены результаты численного моделирования в виде двухмерных графиков, изображающих зависимости относительной остаточной концентрации от времени растворения при разных значениях

размера частиц органических загрязнений и количества энергии, подводимой к системе.

На рис. 5.4, 5.6, 5.8 приведены результаты численного моделирования в виде двухмерных графиков, изображающих зависимости относительной остаточной концентрации от интенсивности перемешивания при трех фиксированных значениях времени перемешивания и трех фиксированных значениях начального гранулометрического состава перги.

По координатным осям (рис. 5.3 - 5.8) отложены натуральные значения величин.

Из анализа результатов моделирования, представленных на графиках (рис. 5.2 - 5.8), следует, что в полученной математической модели явно проявляется нелинейный характер зависимости относительной остаточной концентрации от количества энергии, подаваемой в систему и продолжительности диспергирования. Дальнейшее увеличение подачи энергии уменьшает продолжительность процесса. При подаче энергии то 0 Вт/м³ до 2000 Вт/м³ процесс диспергирования быстро увеличивается, дальнейшее увеличение подачи энергии не дает такого же значимого прироста интенсивности процесса (рис. 5.4, 5.6, 5.8). Вместе с тем, перемешивание с интенсивностью более 15000 Вт/м³ не оказывает существенного влияния на увеличение скорости растворения.

Начальный гранулометрический состав растворяемого материала является существенным фактором, влияющим на время полного растворения перги. Численный эксперимент показал, что при фиксированном значении интенсивности $I = 10000$ Вт/м³ и значении начального гранулометрического состава $d_r = 2$ мм, навеска полностью растворяется через 6-8 мин, а для полного растворения крупных фракций ($d_r \geq 6$ мм) требуется более 10 мин.

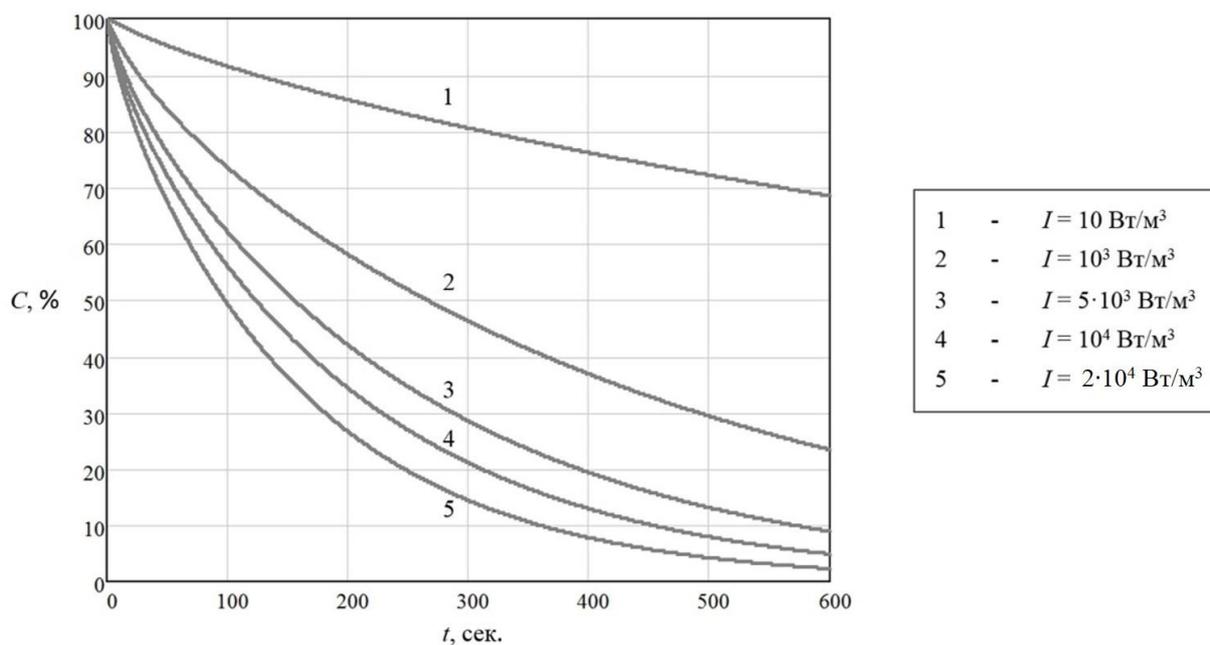


Рисунок 5.3 – Результаты численного моделирования зависимости процента не диспергированных органических загрязнений $C, \%$ от продолжительности процесса $t, \text{сек.}$ при размере частиц $d_r = 6 \text{ мм}$ и энергетическом состоянии системы $I, \text{Вт/м}^3$

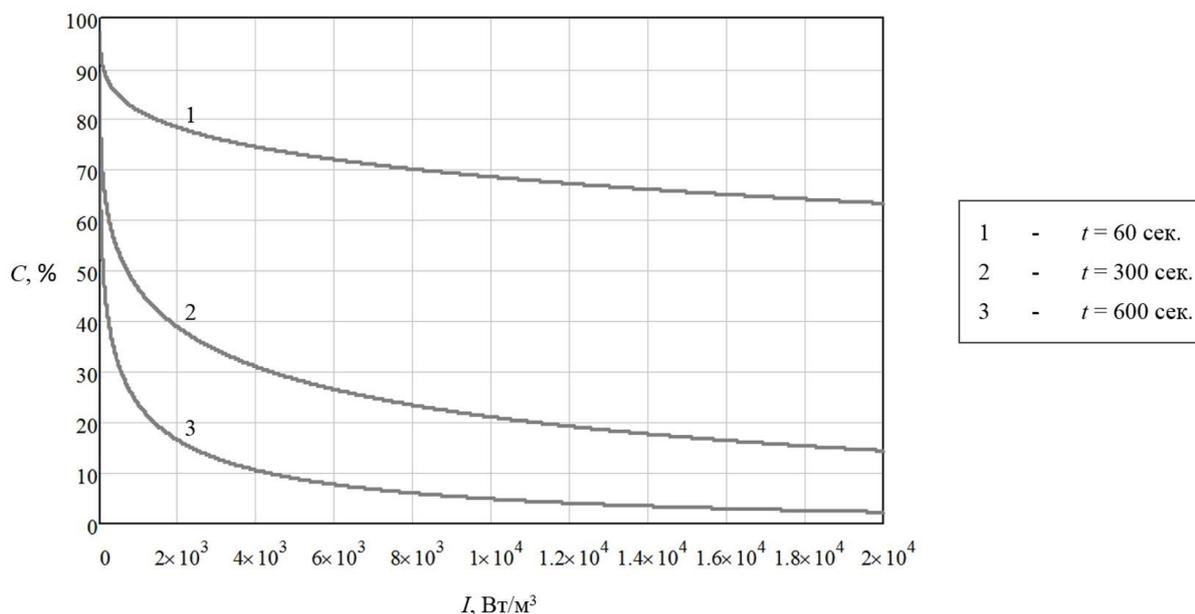


Рисунок 5.4 – Результаты численного моделирования зависимости процента не диспергированных органических загрязнений $C, \%$ при энергопотреблении системы $I, \text{Вт/м}^3$, среднем размере частиц продукта $d_r = 6 \text{ мм}$ и различных значениях продолжительности процесса $t, \text{сек.}$

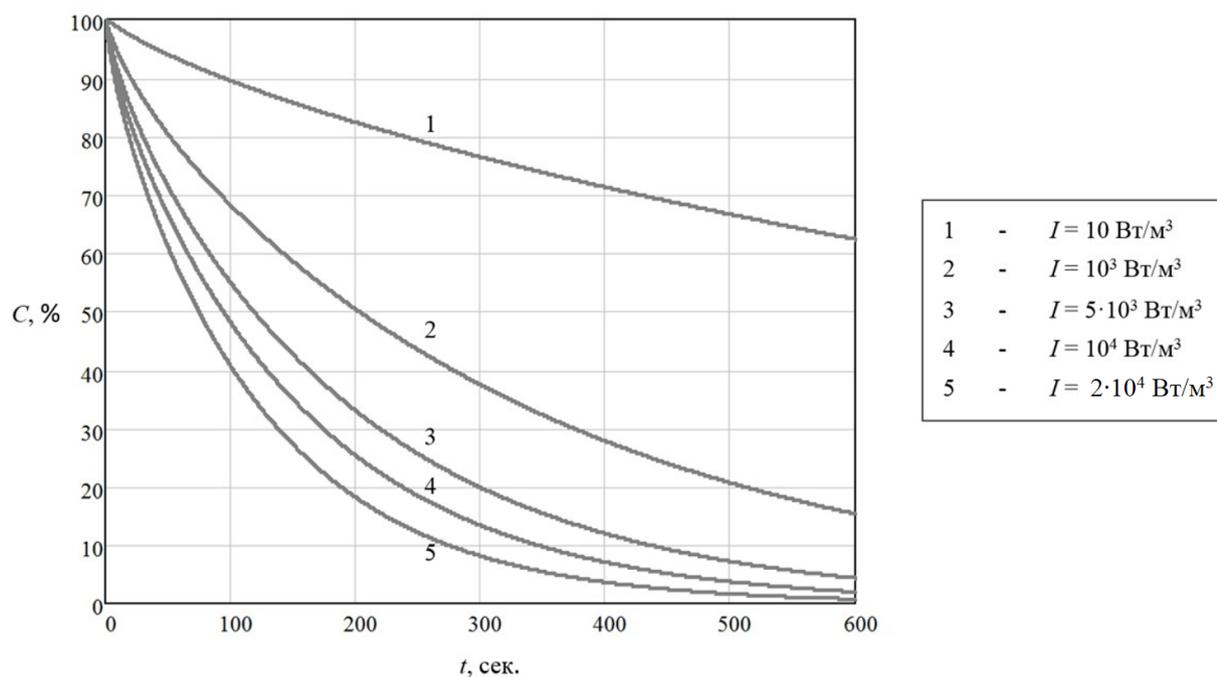


Рисунок 5.5 – Результаты численного моделирования зависимости процента нерастворенных загрязнений C , % от продолжительности процесса t , сек. при размере частиц $d_r = 4$ мм и при различных значениях энергопотребления системы I , Вт/м³

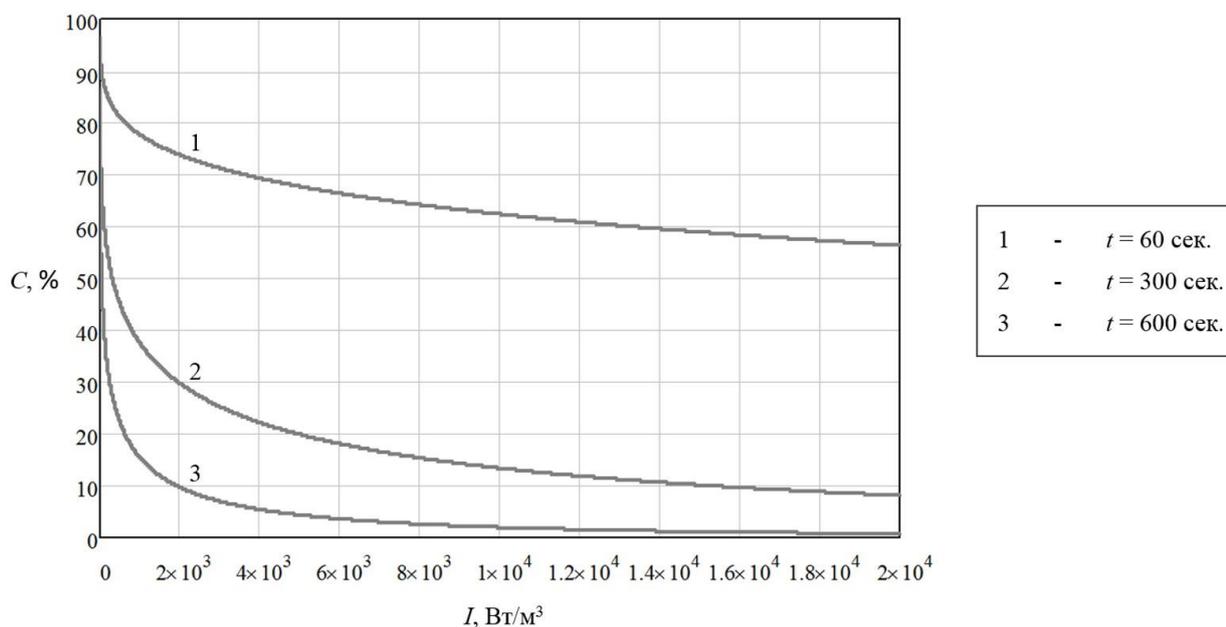


Рисунок 5.6 – Результаты численного моделирования процесса не диспергированных органических загрязнений C , % от энергопотребления системы I , Вт/м³ при среднем размере частиц $d_r = 4$ мм и продолжительности процесса t , сек.

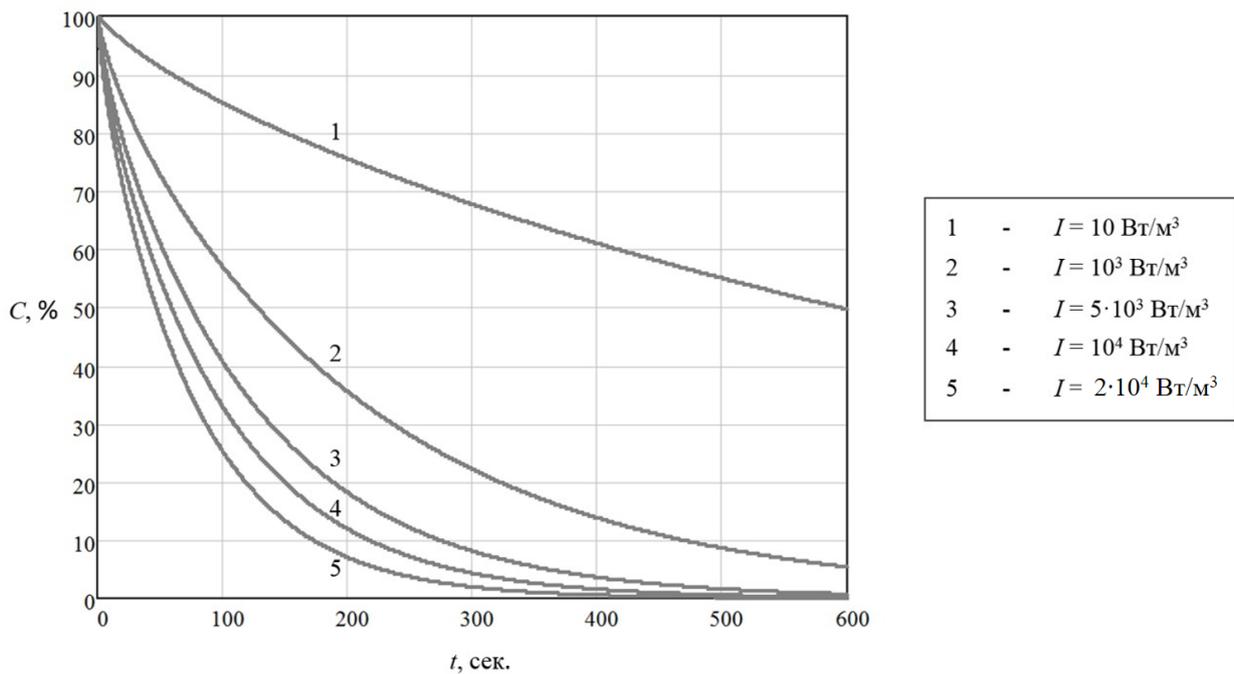


Рисунок 5.7 – Результаты численного моделирования зависимости процента не диспергированных органических загрязнений C , % от продолжительности процесса t , сек. при среднем размере частиц продукта $d_r = 2$ мм и различных значениях энергопотребления системы I , Вт/м³

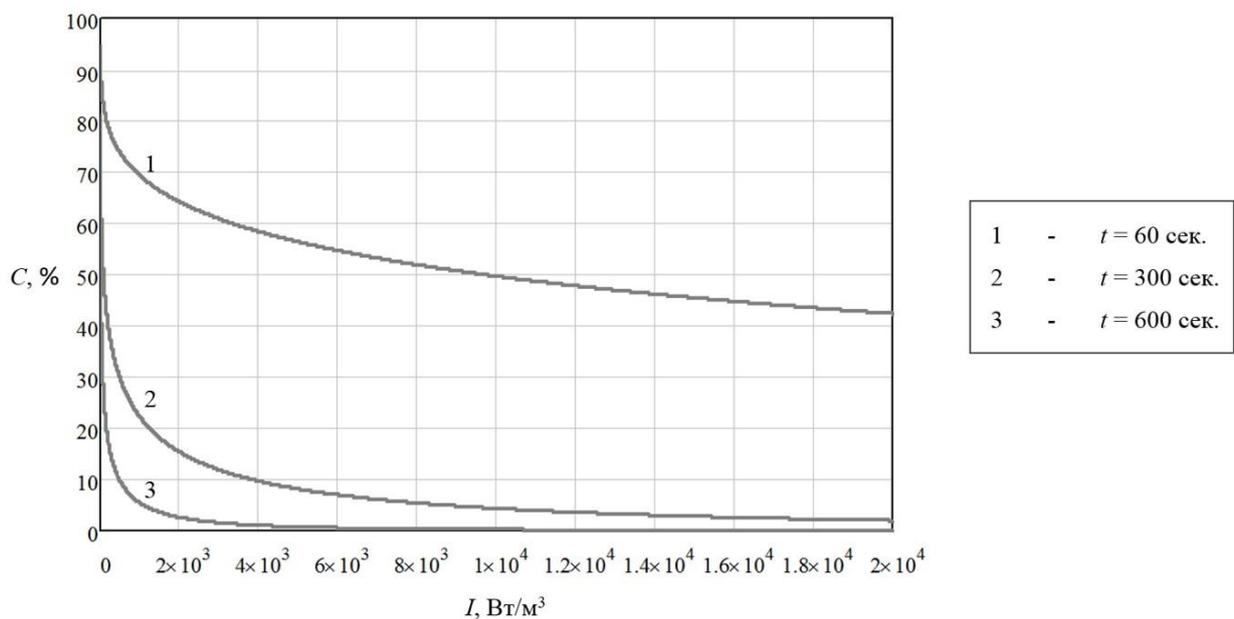


Рисунок 5.8 – Результаты численного моделирования зависимости процента не диспергированных органических загрязнений C , % от энергопотребления системы I , Вт/м³ при начальном гранулометрическом составе частиц $d_r = 2$ мм и различных значениях времени перемешивания t , сек.

5.2.6. Теоретическое обоснование геометрических параметров камеры для диспергирования органических загрязнений воскового сырья

Эффективность перемешивания жидкостей в аппаратах с мешалкой определяется достигнутым за определенное время конечным результатом. В качестве конечного результата рассматривают растворение или диспергирование твердой фазы, гомогенизацию нерастворимых жидкостей и т.п. [137, 210]. При этом качество и время достижения конечного результата зависит от интенсивности перемешивания. Под интенсивностью перемешивания в аппаратах с мешалкой будем понимать отношение полезной мощности, потребляемой мешалкой, к объему перемешиваемой среды:

$$I = \frac{N}{V} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right] \quad (5.37)$$

Для получения точных результатов необходимо иметь данные о полезной мощности, потребляемой перемешивающим устройством во время рабочего процесса. Следует принять во внимание, что энергетические параметры электродвигателя зависят от частоты его вращения, а также от суммы потерь ряда электромеханических факторов, которые варьируют довольно значительно при изменении уровня его загрузки. Для получения высокой точности расчетных данных было проведено измерение мощности во время работы и на холостом ходу, а после нашли их разность.

Если в исследовании при изменении геометрических параметров системы необходимо обеспечить постоянство интенсивности

$$I = \frac{N}{V} = \text{const} ,$$

то необходимо обеспечить соотношение:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{\frac{1}{3}} , \quad (5.38)$$

то есть, при увеличении внутреннего диаметра геометрически подобного аппарата ($D_2 > D_1$) необходимо увеличить окружную скорость конца лопасти

его мешалки ($u_2 > u_1$). При этом, учитывая, что $u = \pi \cdot d \cdot n$, значение частоты вращения вала уменьшится ($n_2 < n_1$):

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (5.39)$$

Большое влияние на полезную мощность оказывают отражательные перегородки в сосуде для перемешивания. Их наличие приводит к значительному увеличению полезной мощности в турбулентном режиме [138, 170]. Наибольший эффект оказывает расположение вертикальных отражательных перегородок непосредственным примыканием к стенке сосуда, при этом рациональное соотношение их ширины к диаметру сосуда (B/D) должно составлять 0,11...0,14 для различных соотношений диаметра сосуда к диаметру мешалки (D/d).

Снабжение рабочей камеры дополнительными пластинами, расположенными радиально, способствует возникновению множественных турбулентных завихрений при прохождении лопастей мешалки в непосредственной близости от краев пластин. При высокой интенсивности работы мешалок этот нарастание этого процесса обнаруживает степенную зависимость.

В результате проведения многочисленных исследований установлено, что наилучший эффект по совокупности показателей позволяет получить отношение ширины лопасти к диаметру сосуда в диапазоне $b/D = 0,11...0,14$ для различных значений D/d [138, 170].

Несмотря на лабильность факторов в широком диапазоне наиболее точно описываемый процесс удается описать формулой:

$$N = 23 \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho \cdot \left(\frac{b}{D} \right)^{1,27} \cdot \left(\frac{D}{d} \right), \quad (5.40) [54].$$

где n – скорость вращения лопастей мешалки, об/сек; d – величина, характеризующая диаметр лопастей мешалки, м; b – ширина лопасти мешалки

перемешивающего устройства, м; D – диаметр рабочего корпуса, м; ρ – плотность перемешиваемого вещества, кг/м⁴. [54].

Отношения b/D и D/d в выражении (5.40) называются инвариантами геометрического подобия, обозначим их i_1 и i_2 соответственно.

Объем жидкости в перемешивающем устройстве с цилиндрическим сосудом равен

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}, \quad (5.41)$$

где H – высота столба жидкости, м.

С учетом (5.37), (5.40) и (5.41), а также обозначенных инвариантов подобия i_1 и i_2 , запишем выражение для интенсивности перемешивания:

$$I = \frac{N}{V} = \frac{92 \cdot n^3 \cdot D^3 \cdot \rho \cdot i_1^{1.27}}{\pi \cdot H \cdot i_2^4}, \quad (5.42)$$

Введем третий инвариант подобия $i_3 = H/D$ и запишем выражение для диаметра рабочей камеры аппарата для перемешивания [219]:

$$D_{II} = \sqrt{\frac{\pi \cdot I}{92 \cdot n^3 \cdot \rho} \cdot \frac{i_2^4 \cdot i_3}{i_1^{1.27}}}, \quad (5.43) [219]$$

Используя полученные выражения (4.9) и (5.43), найдем искомое соотношение диаметров D_{II}/D_{II} :

$$\frac{D_{II}}{D_{II}} = \left(\frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b \right) \cdot \sqrt{\frac{92 \cdot n^3 \cdot \rho \cdot i_1^{1.27}}{\pi \cdot I} \cdot \frac{i_2^4 \cdot i_3}{i_2^4 \cdot i_3}} \quad (5.44)$$

Полученное соотношение – безразмерная величина.

5.2.7. Численное моделирование габаритных размеров рабочих камер

Моделирование производили путем табулирования числовых значений x относительно значений функции y , используя систему результирующих формул (4.9), (5.44).

Результаты численного моделирования рационального соотношения диаметров рабочих камер измельчителя и перемешивающего устройства

(приложение Е) представлены в виде графических зависимостей на рис. 5.9 - 5.10 [219].

На рис. 5.9 представлена зависимость диаметра камеры измельчителя от необходимой частоты вращения рабочего вала [219].

На рис. 5.10 представлена зависимость соотношения D_{II}/D_{II} от требуемой частоты вращения вала при различных значениях энергетического состояния замкнутой системы [219]. Из анализа графиков следует, что при фиксированном значении интенсивности и увеличении требуемой частоты вращения вала соотношение D_{II}/D_{II} монотонно возрастает [219]. При меньшем значении интенсивности монотонное возрастание этого соотношения происходит быстрее [219]. Горизонтальной пунктирной линией на графике рис. 5.10 обозначено равенство диаметров двух устройств: $D_{II} = D_{II}$. Область ниже этой линии соответствует соотношениям $D_{II} < D_{II}$. Такие соотношения проявляются при значениях требуемой интенсивности перемешивания более 8500 Вт/м^3 в области варьирования частотой вращения вала от 500 до 2000 Об/мин. Для перемешивания в ламинарных потоках жидкости (т.е. при маленькой интенсивности) диаметр измельчителя D_{II} должен в несколько раз превосходить диаметр аппарата с мешалкой D_{II} [86, 93].

Увеличение требуемой частоты вращения рабочего вала влечет за собой уменьшение рационального диаметра измельчителя D_{II} (рис. 5.9), при этом необходимо еще в большей степени уменьшение диаметра камеры аппарата с мешалкой D_{II} . Этот эффект объясняется необходимостью уменьшения оборотов вала при увеличении размеров аппарата с мешалкой при соблюдении условия $I = N/V = \text{const}$ (см. выражения (5.37)-(5.38)).

Пример. При использовании измельчающего устройства с внутренним диаметром 0,19 м частота вращения вала с закрепленными ударными элементами составит [219] 1250 мин^{-1} (рис. 5.9). Если при этом требуется обеспечить интенсивность перемешивания 10^4 Вт/м^3 , соотношение $D_{II} / D_{II} = 0,62$ (рис. 5.10). То есть, необходимо подобрать емкость для

перемешивающего аппарата диаметром $0,19/0,62 = 0,31$ м. При $I = 1,5 \cdot 10^4$ Вт/м³ $D_{II} / D_{II} = 0,497$. Тогда диаметр емкости для перемешивания $0,19/0,497 = 0,38$ м.

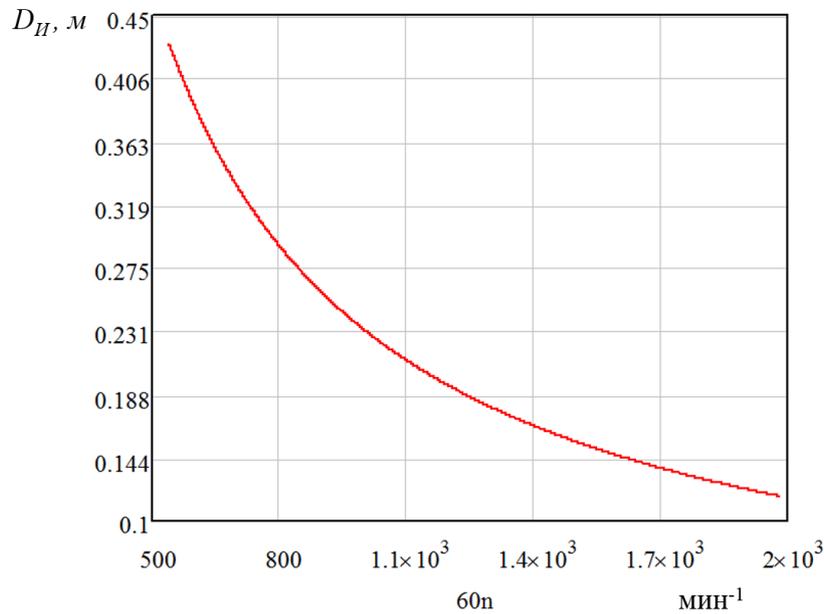


Рисунок 5.9 – Результат моделирования зависимости диаметра рабочей камеры измельчающего устройства D_{II} от оборотов вала с закрепленными ударными элементами [219].

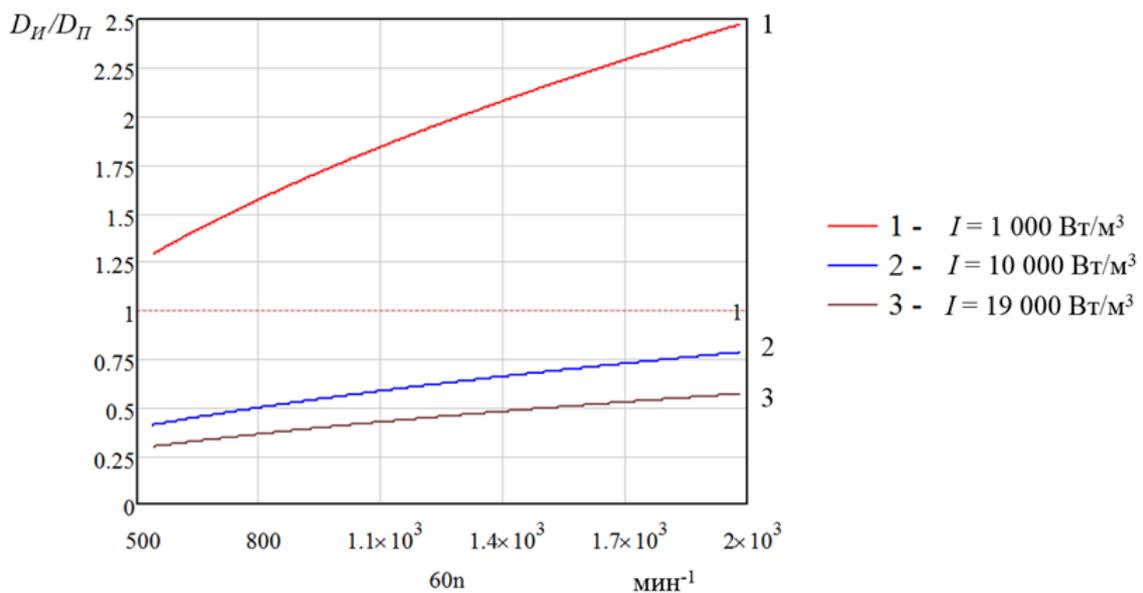


Рисунок 5.10 – Соотношения размеров рабочих камер измельчения и диспергирования D_{II}/D_{II} в зависимости от оборотов вала с закрепленными ударными элементами [219]

5.3. Экспериментальное исследование диспергирования органических загрязнений воскового сырья в лабораторных условиях

5.3.1. Конструкция лабораторной установки

Для выполнения плана экспериментальных исследований, представленного в п. 5.1, была изготовлена специальная лабораторная установка, которая позволяет в процессе проведения опытов варьировать следующими параметрами [240, 253, 254]:

- тип используемой мешалки и конструкция отражательных перегородок камеры перемешивания;

- место расположения мешалки на рабочем валу [87];

- интенсивность процесса перемешивания;

- температура перемешиваемой жидкости;

- соотношение перемешиваемых компонентов;

- продолжительность процесса перемешивания;

При проведении исследования возможно контролировать:

- температуру перемешиваемой жидкости;

- частоту вращения рабочего вала.

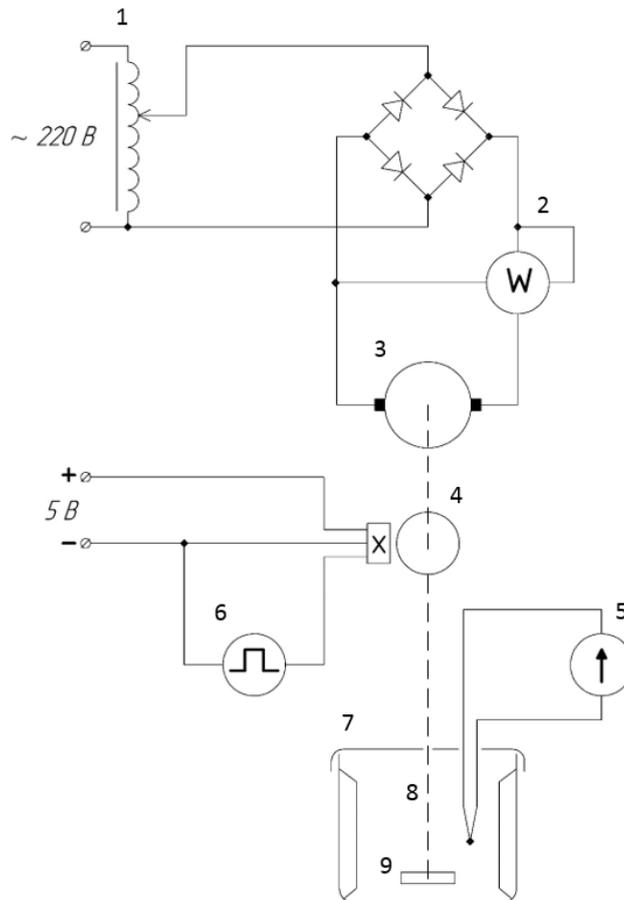
Особенностью электропривода рабочего вала является возможность изменять частоту его вращения в широком диапазоне: 100 - 3000 Об/мин.

На рис. 5.11 представлена функциональная схема лабораторной установки.

На рис. 5.12 - 5.13 представлено расположение контрольно-измерительных приборов во время опытов, а также модель рабочей камеры при выполнении программы исследования [219].

В состав лабораторной установки (рис. 5.11) входят следующие элементы: регулятор переменного напряжения 1 (ЛАТР марки TDGC2 3 KVA), на выходе которого через выпрямительный мост подключен электродвигатель постоянного тока 3; ваттметр 2 для измерения потребляемой электроприводом мощности; электронный тахометр 4 с датчиком Холла; прибор для измерения частоты импульсов 6, генерируемых датчиком Холла; подсоединяемые

лабораторные устройства: емкость 7, оборудованная мешалкой 9, установленной на рабочем валу 8, и датчиком температуры 5.

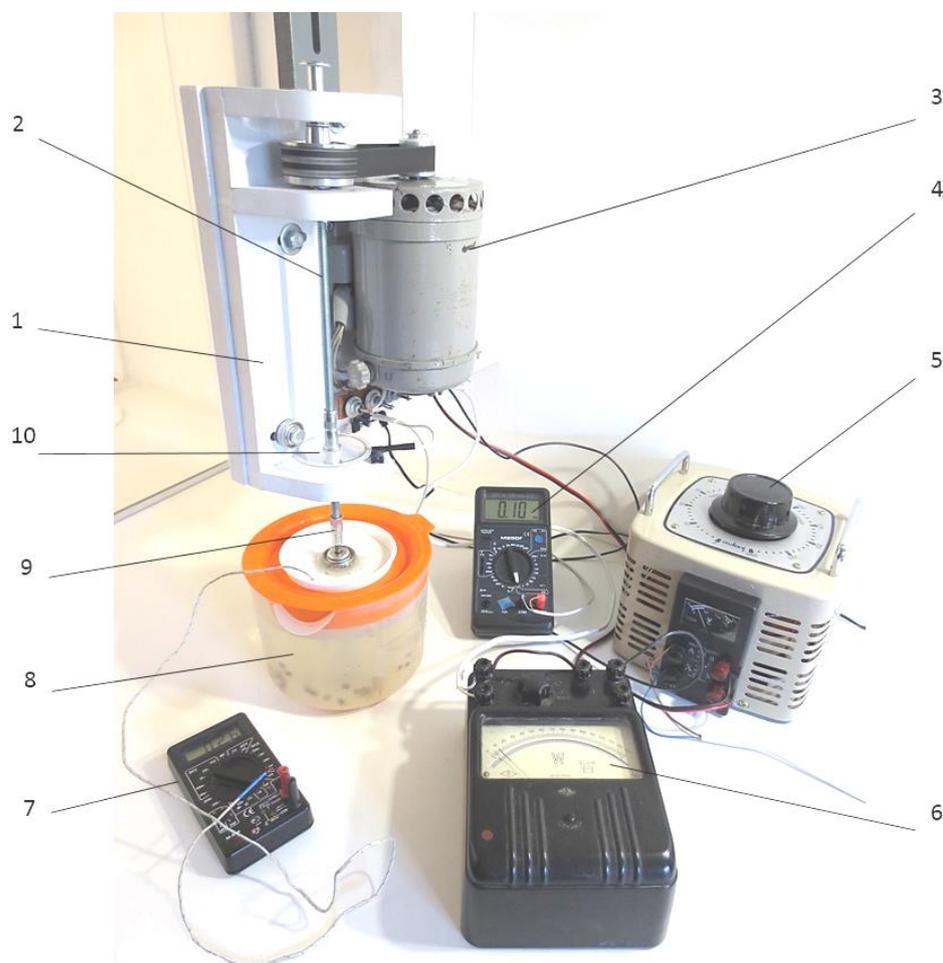


1 – ЛАТР; 2 – ваттметр; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – электронный тахометрический генератор; 5 – термометр; 6 – прибор для измерения частоты импульсов; 6 – камера измельчения; 7 – емкость для перемешивания, снабженная отражательными перегородками; 8 – вал с закрепленными рабочими органами; 9 – мешалка

Рисунок 5.11 – Функциональная схема лабораторной установки

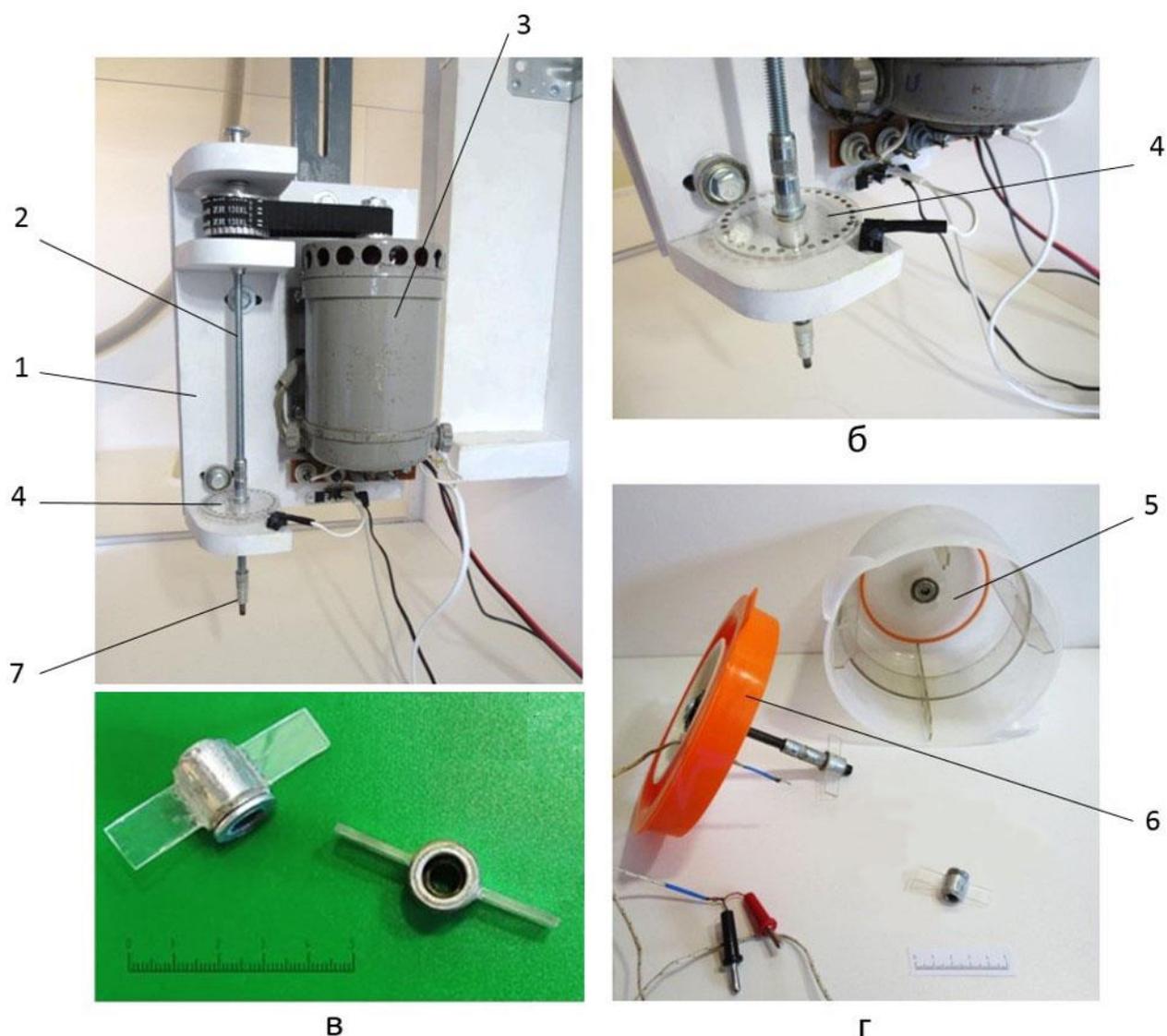
Лабораторная установка (рис. 5.12 - 5.13) состоит из основания 1, расположенного на вертикальном кронштейне с регулировкой высоты положения относительно плоскости стола. На основании 1 закреплен электродвигатель 3 постоянного тока УХЛ-4, снабженный редуктором, диодный выпрямитель, установлен вал 2, снабженный тахометрическим генератором, состоящим из диска 10 и датчика Холла [219]. На диске 4

расположены постоянные магниты, и при его вращении на датчике Холла [219] генерируются импульсы, регистрируемые мультиметром 4 марки M890F, имеющим встроенную функцию частотомера.



1 – электропривод, смонтированный на перемещаемой платформе; 2 – вращаемый вал; 3 – электропривод; 4 – оборудование, позволяющие измерять частоту вращения вала; 5 – регулируемый трансформатор; 6 – прибор, измеряющий активную мощность; 7 – электронный термометр; 8 экспериментальная рабочая камера, полностью воспроизводящая расчетные (требуемые для проведения опыта) параметры; 9 – изменяемая надставка; 10 – устройство для преобразования механической частоты вращения в электрическую частоту.

Рисунок 5.12 – Экспериментальная установка для исследования диспергирования органических компонентов воскового сырья



1 – подвижное основание; 2 – основной вал, передающий вращение; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – тахометрический генератор с датчиком Холла; 5 – емкость для перемешивания с отражательными перегородками и подшипниковой опорой; 6 – верхняя часть экспериментальной камеры, снабженная измерительной термопарой и опорным устройством; 7 – крепежный механизм.

Рисунок 5.13 – Экспериментальная установка для исследования диспергирования органических компонентов воскового сырья, представленная элементами:

а – электропривод, снабженный измерительными устройствами; б – формователь сигналов; в – рабочие элементы; г – камера исследования процесса диспергирования

Потребляемая электродвигателем 3 мощность измеряется ваттметром Д539. В верхней части вала 2 имеется наконечник с углублением для подсоединения штока механического тахометра ТЧ10-Р, предназначенного для калибровки и контроля точности показаний электронного тахометрического генератора. В нижней части вал 2 снабжен цанговым наконечником для подсоединения различных лабораторных устройств: 1) емкости для перемешивания, снабженной крышкой, валом с мешалкой, отражательными перегородками и термодатчиком, 2) лабораторного штифтового измельчителя.

5.3.2. Методика исследования интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в камере диспергирования

В п. 5.2.6. приведено эмпирическое уравнение (5.40), устанавливающее зависимость подводимой полезной мощности от частоты вращения мешалки, свойств жидкости и геометрических параметров перемешивающего аппарата с полными отражательными перегородками [138, 170].

При фиксированных значениях плотности жидкости, диаметра мешалки, а также соотношений D/d , b/D , выразим зависимость полезной мощности от величины оборотов $N(n)$ [216, 247, 248]:

$$N(n) = k \cdot n^3,$$

(5.45)

Для сосуда диаметром $D=160$ мм с четырьмя отражательными перегородками шириной B , при высоте столба жидкости $H=85$ мм, по справочным данным [138, 170] определим геометрические инварианты: $D/d=3,07$; $b/D=0,07$; $h/H=0,11$; $B/D=0,11$, где h – высота от дна сосуда до нижнего края мешалки. При данных значениях параметров получим значение коэффициента k в выражении (5.45):

$$N(n) = (4,149 \cdot 10^{-9}) \cdot n^3 \quad (5.45^*)$$

С целью экспериментальной проверки данной зависимости проведем исследование с использованием описанной выше лабораторной установки, и будем определять полезную мощность при работе мешалки в воде с

температурой 20 °С при значениях частоты вращения вала n (Об/мин) на 5 уровнях: от 400 до 2000 мин⁻¹ с шагом 400 мин⁻¹. Диапазон варьирования фактором ограничен снизу значением 400 мин⁻¹, ниже которого, по данным предварительных экспериментов, перемешивание не способствует полному погружению относительно легкого воскового материала в толщу воды [216, 293]. Ограничение диапазона варьирования сверху значением 2000 мин⁻¹ объясняется тем, что превышение этого порога не способствует дальнейшему увеличению эффективности растворения, а лишь вызывает выплескивание воды через стенки камеры.

Системы, построенные на основе электропривода, всегда имеют ряд характерных особенностей. Так, активная и реактивная мощность в процессе работы регулируемой системы часто зависят от многих внешних и внутренних факторов. При варьировании тормозящего момента на валу электродвигателя реактивная мощность также изменяется в широком диапазоне [218, 219].

Поэтому измерение энергетических показателей во время проведения опытов выполняли следующим образом. Основные параметры камеры диспергирования были определены в полном соответствии с ранее найденными рациональными значениями, таким образом, во время опытов регулируемым параметром осталась только частота вращения рабочего вала. Поэтому перед постановкой каждого опыта электропривод выводили на требуемую частоту и фиксировали показания прибора, измеряющего величину активной мощности. Во время стабильного режима работы при проведении опыта проводили повторный съем рабочих показателей.

Полезная мощность, расходуемая на процесс перемешивания, определяли по следующей формуле:

$$N_{\text{П}} = N_3 - N_{\text{ХХ}}, \quad (5.46)$$

где $N_{\text{П}}$ – полезная мощность, Вт; N_3 – мощность, измеренная при перемешивании в жидкости при заданной величине оборотов мешалки, Вт; $N_{\text{ХХ}}$ – мощность, измеренная на холостом ходу (без жидкости) при том же значении величины оборотов, Вт.

Интенсивность процесса перемешивания I , Вт/м³ определяли по формуле:

$$I = \frac{N_{II}}{V}, \quad (5.47)$$

где V – объем перемешиваемой жидкости, м³.

Для точного измерения экспериментальных данных использовали ваттметр марки Д539 класса точности 0.5, в основу работы которого положена магнитоэлектрическая система. Количество жидкости в камере перемешивания находили посредством измерения веса на весах марки TEFAL Gourmet с точностью до 1 грамма.

5.3.3. Методика исследования диспергирования органических загрязнений в водной среде под действием мешалки

Для изучения способности перги, как основного загрязняющего компонента воскового сырья, к растворению в воде при интенсивном механическом перемешивании нами был спланирован и проведен многофакторный эксперимент, устанавливающий зависимость степени растворения от трех факторов – интенсивности перемешивания, продолжительности процесса и исходного среднего размера комочков органического загрязнителя. Критерий оптимизации – количественная характеристика не растворившихся органических загрязнений, выраженная в процентах от исходной величины, в пересчете на сухое вещество. Как следует из определения, функция отклика должна быть минимизирована при поиске рационального сочетания исследуемых факторов.

Для определения уровней варьирования фактором «интенсивность перемешивания» (X_1) воспользуемся полученной эмпирической зависимостью (5.50) [219, 280]. С целью обеспечения симметричности плана, отметим на области значений функции $I(n)$ три точки на равном расстоянии друг от друга: в начале диапазона значений, в середине и в конце (рис. 5.14). Они будут соответствовать нижнему, нулевому и верхнему уровням варьирования фактором «интенсивность перемешивания» [219, 280] (приложение Ж).

Соответствующие этим значениям функции значения аргумента отмечены на оси абсцисс – это значения оборотов мешалки, то есть той величины, которой возможно непосредственно управлять для достижения заданной интенсивности. Из графика видно, что нижнему уровню варьирования фактором X_1 , равному 270 Вт/м^3 , соответствует величина оборотов 400 мин^{-1} , нулевому уровню, равному 9520 Вт/м^3 , соответствует величина оборотов 1550 мин^{-1} , а верхнему уровню фактора 18770 Вт/м^3 – величина оборотов мешалки, равная 2000 мин^{-1} .

Интервал варьирования фактором «время перемешивания» (X_2), по данным предварительных визуальных экспериментов [219, 280], ограничили диапазоном 1...10 минут. Продолжительность перемешивания менее 1 минуты является не достаточной для начала разрушения частиц загрязнений, особенно крупных фракций, а за 10 минут при достаточной интенсивности перемешивания практически вся перга растворяется в воде.

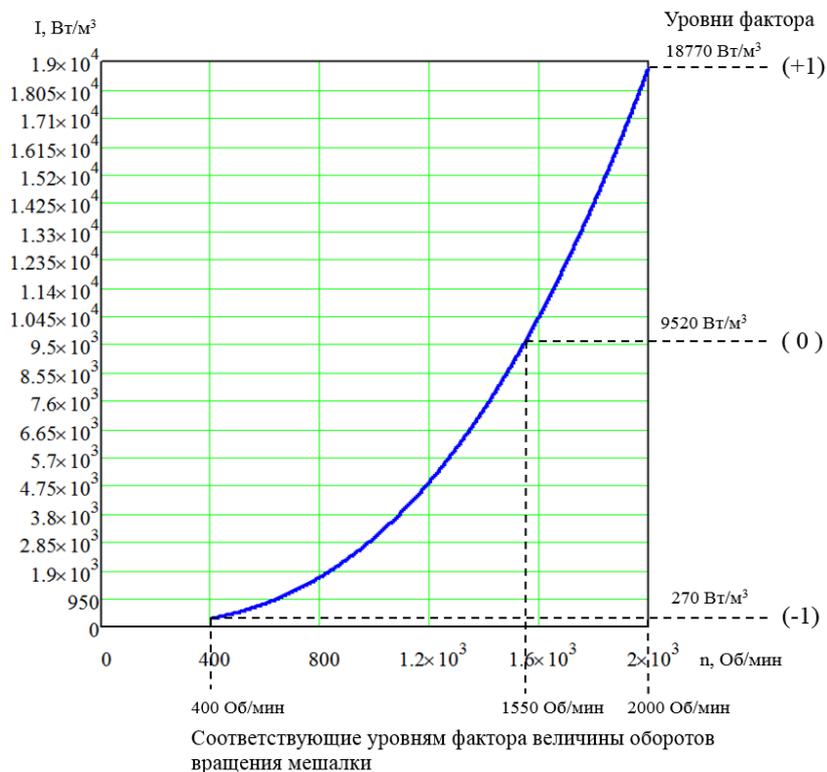


Рисунок 5.14 – Графическое изображение интенсивности перемешивания от частоты вращения перемешивающего устройства приведены уровни выбора фактора

Для проведения исследования органические загрязнения воскового сырья извлекали, подсушивали до влажности, когда они приобретают прочностные свойства. Далее их подвергали замораживанию на протяжении 5...6 часов, после чего продукт становился твердым и хрупким. В устройствах ударного действия материал подвергали измельчению и рассеивали на ситовом отсеиве образовавшейся измельченную массу. Дальнейшие опыты проводили с тремя фракциями: 5,75 мм, 3,75 мм, 1,75 мм, которые использовали как уровни варьирования фактора X3 [62, 296] (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			нижний (-1)	нулевой (0)	верхний (+1)	
Интенсивность перемешивания	X1	Вт/м ³	270	9520	18770	9250
Время перемешивания	X2	с	60	330	600	270
Начальный гранулометрич. состав	X3	мм	1,75	3,75	5,75	2

На рисунке 3.2 (глава 3) показаны пробы массы органических загрязнений, полученные в результате разделения общей дробленой массы на ситовом отсеиве. Для исключения изменения параметров продуктов, каждую пробу для хранения запечатывали без доступа к внешней среде.

Исследование проводили при температуре воды +20...+23°C, так как при дальнейшем повышении температуры происходит активное слипание частиц воскового сырья [41, 133].

Опыты выполняли следующим образом. Установку для диспергирования органических загрязнений воскового сырья настраивали по всем изучаемым параметрам на исследуемый режим. Заранее подготовленную навеску органических загрязнений с требуемым для данной точки опыта средним размером частиц засыпали в камеру диспергирования и приводили устройство в действие [294, 296]. После выдерживания требуемой продолжительности воздействия устройство отключали, а образовавшуюся взвесь с не растворившимися частицами незамедлительно фильтровали через специальное

сито, имеющее квадратные ячейки размером 0,5×0,5 мм [294, 296]. Сход с фильтровального сита удаляли и повторно взвешивали в соответствии с методикой, приведенной в главе 3, п. 3.2.2. Разовая масса исследуемого компонента составляла 20±2 г.

Критерием оптимизации является процент перги, не растворившейся при перемешивании, в пересчете на сухое вещество:

$$P = \frac{M_o}{M_{II}} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right)^{-1} \cdot 100, \quad (5.48)$$

где M_o – вес не диспергированных частиц органических загрязнений воскового сырья, г.; M_{II} – вес исследуемой навески перед началом проведения опыта, г.; W – относительное исходное значение влажности органических загрязнений, %; $\left(1 - \frac{W}{100}\right)^{-1}$ – член выражения, позволяющий выполнять пересчет на сухое вещество (ГОСТ 31775-2012).

В каждой точке плана проведения исследования выполняли трехкратную повторность.

5.3.4. Методика исследования зависимости полезной мощности, затрачиваемой на перемешивание, и степени очистки воскового сырья от его концентрации в воде

Предварительно проведенные исследования позволили определить наиболее значимо влияющие на изучаемый процесс управляемые факторы. Проведенная оптимизация определила точные значения факторов, обеспечивающие минимизацию выбранного критерия оптимизации. При этом необходимо учесть, что в реальных производственных условиях на данный процесс также будут значимо действовать два сопутствующих фактора:

- наличие нерастворимых восковых частиц в камере диспергирования;
- соотношение воды и растворяемых компонентов.

В связи с вышесказанным, проводимое исследование было направлено на обосновании максимальной концентрации погруженного в воду измельченного воскового сырья, при которой его очистка является эффективной. Полученные данные могут служить основой для определения производительности предлагаемой технологии.

Для решения поставленной 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 – количество извлеченных органических загрязнений рассчитывали в соответствии с формулой [133, 219, 297]:

$$\Delta m_{\%} = \left(1 - \frac{m_k \cdot (1 - W_k / 100)}{m_n \cdot (1 - W_n / 100)} \right) \cdot 100, \quad (5.49)$$

где $\Delta m_{\%}$ – количество извлеченных органических загрязнений, % [219]; m_n – вес пробы сырья, подлежащего исследованию, г. [219]; m_k – вес пробы сырья, оставшийся не диспергированным после проведения опыта, г. [219]; W_n – исходное значение влажности пробы воскосырья, подлежащего исследованию, %; W_k – конечное значение влажности пробы 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) [219].

Для сужения границ доверительного интервала кратность повторения опытов составляла 10.

Исследование выполняли следующим образом. Лабораторную установку настраивали на необходимый режим работы, выбранный в соответствии с определенным статистическим планом и приводили ее в действие. В период стабилизации параметров процесса, отслеживаемых по показаниям контрольно-

измерительных приборов под крышку рабочей камеры засыпали заранее подготовленное количество воскового измельченного вороха и измеряли время процесса. По окончании заданного периода времени жидкую массу сливали из рабочей камеры в специально изготовленную рабочую емкость, выполненную из сетки с размером отверстий 0,4×0,4 мм (рис. 5.15) [314].



Рисунок 5.15 – Сетчатые бьюксы с промытым и отфильтрованным восковым ворохом

Отцеженный остаток оставляли сушиться в сушильном шкафу при температуре 40°С...45°С для удаления избыточной влаги. По окончании периода подсушивания остаток и взвешивали с точностью до 0,01 гр. После взвешивания из остатка формировали две пробы весом по два грамма и определяли их влажность путем высушивания (требования ГОСТа 31775-2012). Значение критерия оптимизации в каждой точке плана исследования вычисляли по формуле (5.49), данные заносили в статистическую таблицу результатов исследования. Представленная методика позволяет получить высоко точные данные, так как помимо измерения убыли массы органических загрязнений позволяет учесть изменения веса из-за увлажнения оставшихся загрязнений в очищенном восковом сырье.

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. При повышении концентрации органических загрязнений воскового сырья в воде свыше 250 г/л изменяются физические свойства раствора. Процесс диспергирования многократно замедляется, а энергоёмкость процесса неоправданно возрастает.

Эксперимент проводили при постоянных значениях интенсивности и времени перемешивания, фиксированных на рациональных значениях по результатам предыдущего многофакторного исследования, при температуре воды 22 °С, с пятикратной повторностью выполнения опытов в каждой намеченной точке плана.

Полезную мощность, необходимую для привода перемешивающего устройства, измеряли и вычисляли в соответствии с методикой, описанной в п. 5.3.1.

5.4. Результаты экспериментальных исследований

5.4.1. Результаты исследования интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в камере диспергирования

Выполненная обработка данных, полученных в результате проведения опытов, позволила выбрать вид модели и подобрать для нее коэффициенты:

$$N^*(n) = (6,296 \cdot 10^{-8}) \cdot n^{2,637}, \quad (5.50)$$

где n – частота вращения плосколопастной мешалки, Об/мин.

Данные опыта и их статистическая обработка приведены в приложении 3.

Для анализа точности выполненного нами экспериментального исследования было проведено математическое моделирование исследуемого процесса на основе выражения (5.45*), полученного рядом исследователей [17, 117].

Сравнение полученного уравнения регрессии (5.50) с эмпирическим выражением (5.45*) представлено графически на рис. 5.16 (по вертикальной оси отложено не абсолютное значение полезной мощности в ваттах, а мощность,

отнесенная к объему перемешиваемой жидкости $V = 1,7 \text{ дм}^3$, то есть величина интенсивности перемешивания, Вт/м^3).

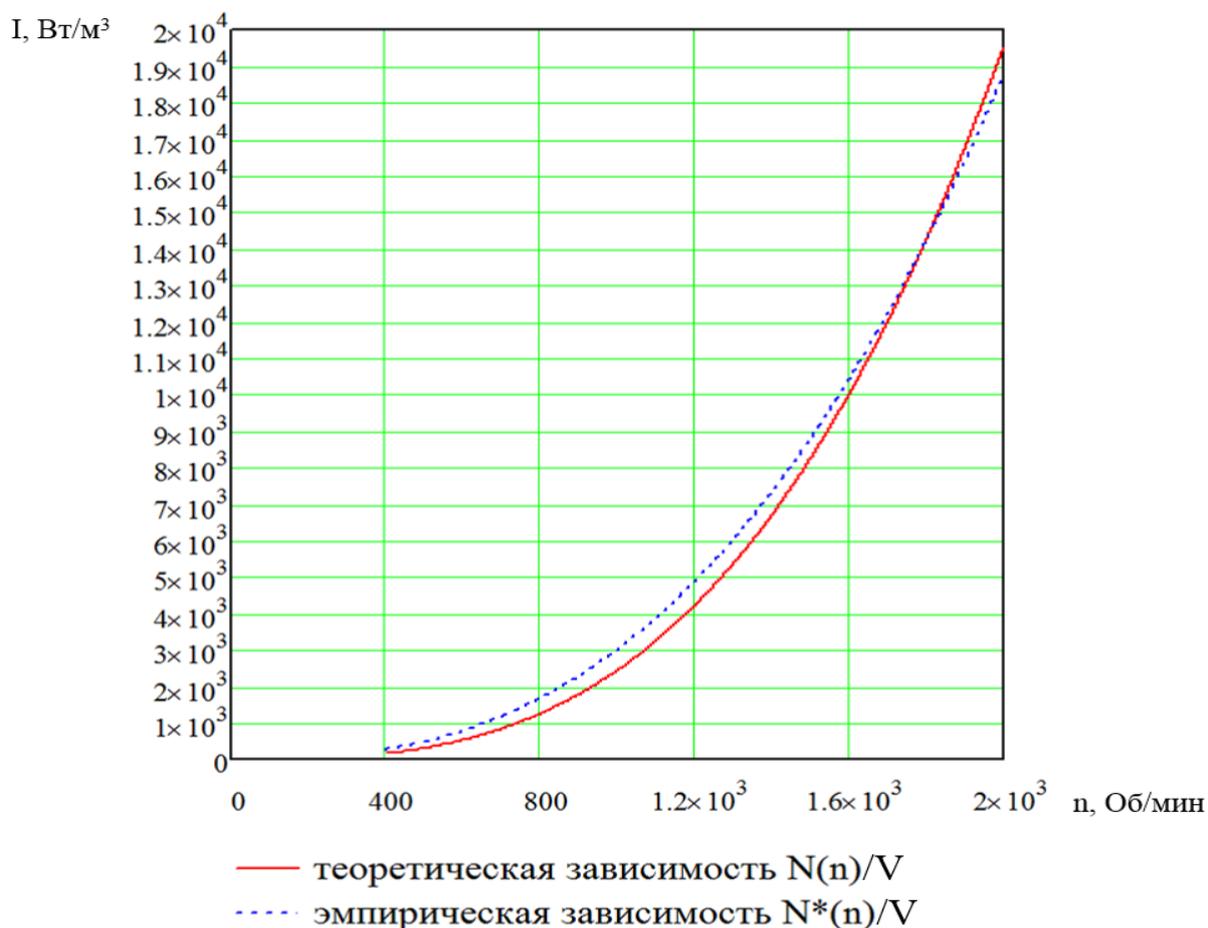


Рисунок 5.16 – Зависимость интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в перемешивающем аппарате с заданными геометрическими параметрами

Как видно из сравнения, кривые практически совпадают. В дальнейшем мы будем использовать данную зависимость для определения факторного пространства при планировании многофакторных экспериментов по изучению процессов перемешивания загрязненного воскового сырья и процессов растворения загрязняющих компонентов в воде.

5.4.2. Результаты многофакторного исследования способности органических загрязнений воскового сырья к растворению в воде при перемешивании

Результаты исследования влияния энергоемкости протекания процесса, продолжительности и среднего размера частиц исследуемого загрязнителя на

относительную остаточную концентрацию в растворяемой навеске представлены в приложении 3. Там же представлены результаты дисперсионного анализа воспроизводимости опытов по G-критерию Кохрена, свидетельствующие о выполнении условия однородности построчных дисперсий. Регрессионный анализ экспериментальных данных представлен в виде Mathcad-документа в приложении 3. На основании результатов этого анализа можно сделать вывод, что все исследуемые факторы являются статистически значимыми на уровне $\alpha = 0,1$. Незначимыми оказались все квадратичные эффекты и линейные эффекты при факторах X1 (интенсивность) и факторе X3 (время). Результатом регрессионного анализа является полученная экспоненциальная эмпирическая модель, адекватно аппроксимирующая данные эксперимента ($\alpha = 0,05$):

$$C(I, t, d) = 1.53 \cdot e^{0.76 \cdot d - 1.24 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot t - 5.66 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot d - 6.06 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot d} \quad (5.51)$$

Установленная регрессионная зависимость (5.51) представлена в виде трехмерных графиков и линий уровня на рис. 5.17-5.18 при фиксированных значениях факторов «гранулометрический состав» и «интенсивность перемешивания».

$$C(I, t, 5.75) = 120.94 \cdot e^{1.24 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot t - 3.25 \cdot 10^{-5} \cdot I - 3.48 \cdot 10^{-3} \cdot t}$$

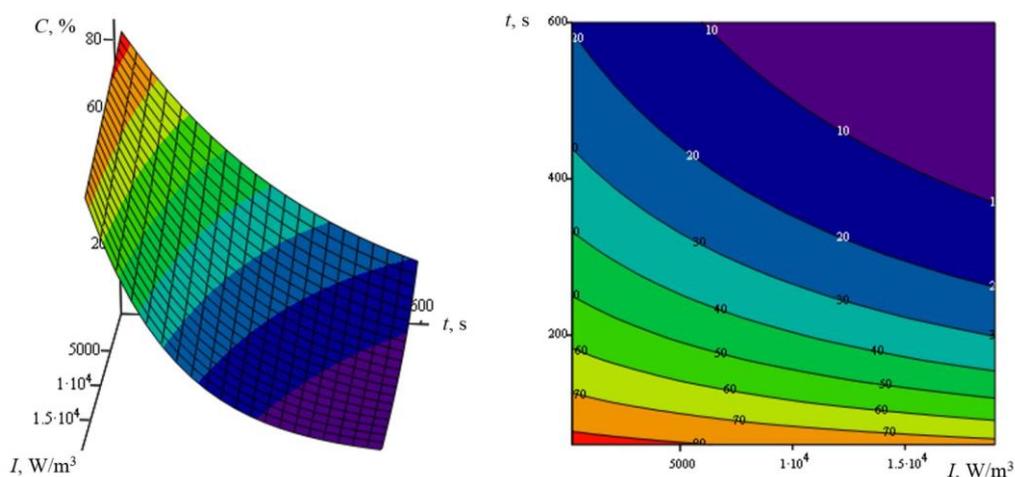


Рисунок 5.17 – Зависимость процента не диспергированных органических загрязнений от интенсивности и времени перемешивания при фиксированном максимальном гранулометрическом составе продукта 5.75 мм [219]

$$C(10^4, t, d) = 1.53 \cdot e^{0.7 \cdot d - 1.24 \cdot 10^{-3} \cdot t - 6.06 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot d} \quad [219]$$

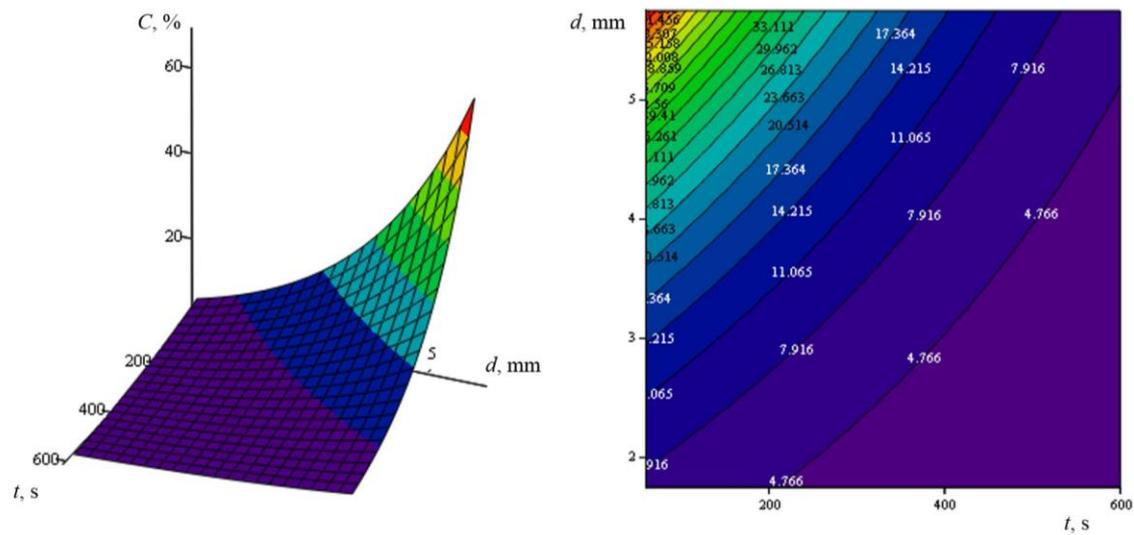


Рисунок 5.18 – Зависимость процента не диспергированных органических загрязнений от времени перемешивания и среднего размера частиц при стабилизированной интенсивности процесса 10^4 Вт/м³ [219]

Минимизация функции отклика (критерия оптимизации) позволила установить рациональные сочетания величин факторов:

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

5.4.3. Результаты исследования зависимости полезной мощности, затрачиваемой на перемешивание, и степени очистки воскового сырья от его концентрации в воде

С учетом положений, изложенных в п. 5.2.5 по результатам теоретического исследования, а также принимая во внимание результаты предыдущего экспериментального исследования (п. 5.4.2), данное исследование проводили при фиксированных значениях интенсивности и времени протекания технологического процесса, при следующих параметрах 15000 Вт/м³ и 10 мин. Эксперимент проводили с использованием описанной выше лабораторной установки (рис. 5.11 - 5.13) при геометрических параметрах перемешивающего устройства, обозначенных в п. 4.4.3. Значению

интенсивности перемешивания 15000 Вт/м^3 для данного объема жидкости (1.7 л) соответствует величина частоты вращения мешалки 1780 мин^{-1} (5.50).

Полученные данные, связывающие энергоемкость и результаты очистки продукта, представлены в приложении И. Регрессионный анализ экспериментальных данных представлен в виде Mathcad-документа в приложении И.

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.

$$N(x) = 16.2 - 0.00026 \cdot x + 0.000083 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.929 \quad (5.52)$$

$$P(x) = 23.16 + 0.078 \cdot x - 0.000537 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.986 \quad (5.53)$$

Данные зависимости изображены в виде графиков на рис. 5.19 - 5.20.

Из анализа представленных графических зависимостей можно констатировать следующие выводы. 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.

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что при увеличении концентрации от 50 до 250 г/л полезная мощность увеличивается от 7,4 Вт/л до 10,2 Вт/л, а степень очистки уменьшается от 25 до 9 % при расчете от величины первоначальной массы. Как следует из представленных графических зависимостей, снижение эффективности очистки начинает проявляться при значении концентрации загруженного в емкость с водой воскового сырья, превышающей 150-160 г/л.

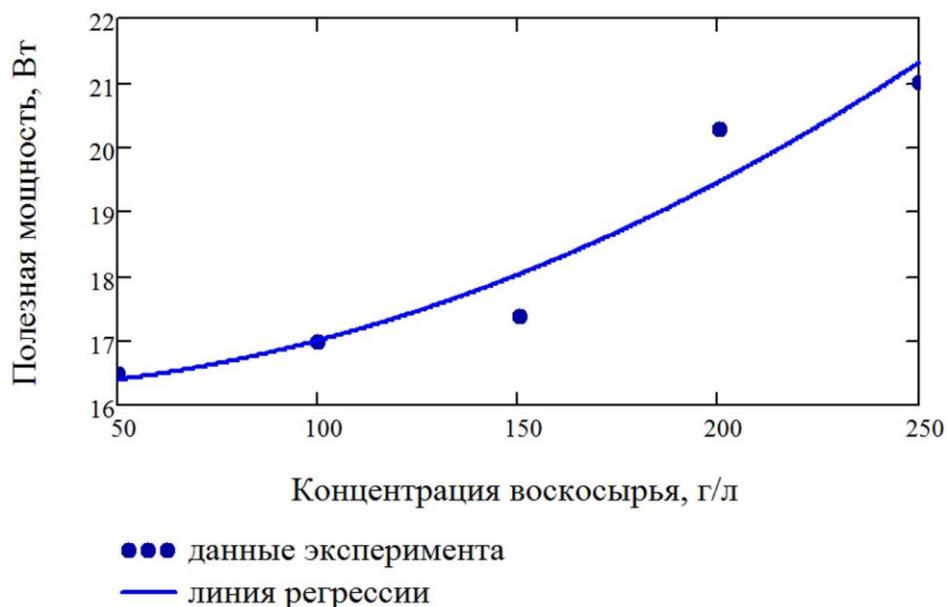


Рисунок 5.19 – Зависимость полезной мощности от концентрации воскового загрязненного вороха в воде

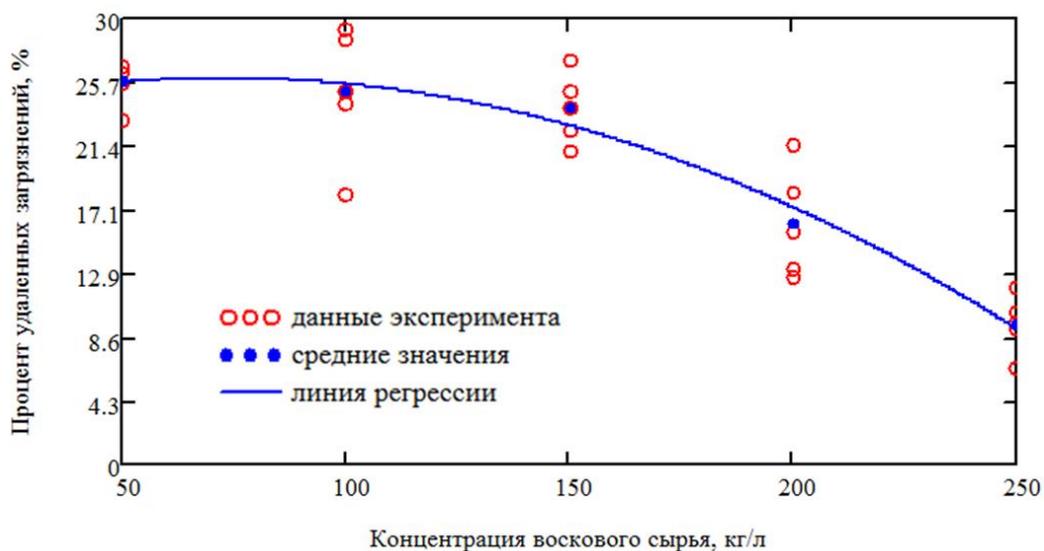


Рисунок 5.20 – Величина, характеризующая уровень диспергирования от степени концентрации загрязненного вороха в воде

Затрачиваемая на перемешивание мощность при данном значении концентрации составит 18 Вт. Таким образом, за рациональную концентрацию очищаемого воскосырья в воде можно принять значение 150-160 г/л, при котором не наблюдается существенного снижения степени очистки (рис. 5.21) и увеличения энергопотребления.



Рисунок 5.21 – Восковый ворох, полученный при лабораторных опытах, практически полностью очищенный от загрязнений

Выводы по главе 5

1. Теоретически установлена математическая 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. В полученной модели явно проявляется нелинейный характер зависимости относительной остаточной концентрации от интенсивности и времени растворения. Теоретически установлено, что увеличение интенсивности процесса приводит к значительному повышению скорости диспергирования органических загрязнений. Наибольшее изменение скорости диспергирования наблюдается при увеличении интенсивности от 0 Вт/м³ до 2000 Вт/м³. Дальнейшее повышение интенсивности перемешивания не приводит к значительному повышению скорости процесса.

2. В результате аналитического исследования доказана значимость продолжительности технологического процесса, так как она оказывает наиболее выраженное влияние на степень диспергирования загрязнений. В результате моделирования установлено, что при фиксированном значении

интенсивности $I = 10000 \text{ Вт/м}^3$ и значении начального гранулометрического состава $d_r = 2 \text{ мм}$, навеска полностью растворяется через 6-8 мин, а для полного растворения крупных фракций ($d_r \geq 6 \text{ мм}$) требуется более 10 мин.

3. В результате проведения экспериментального исследования получена математическая модель, устанавливающая зависимость степени растворения органических загрязнений воскового сырья от следующих факторов: интенсивности перемешивания, времени перемешивания, гранулометрического состава и температуры воды. Оптимизация полученной модели позволила установить, что рациональное сочетание исследуемых факторов находится на границе факторного пространства. Критерий оптимизации достигает минимальной величины 0,58% при $I = 18770 \text{ Вт/м}^3$, $d_r = 1.75 \text{ мм}$, $t = 7 \dots 7,5 \text{ мин}$. Растворение перги до пылевой взвеси происходит по истечении 7...7,5 минут (при рациональных значениях остальных двух факторов), далее критерий оптимизации претерпевает несущественные изменения в области, близкой к нулевому значению. Значительной интенсификации процесса растворения способствует дробление исследуемого материала. Чем меньше размер частиц, тем выше скорость растворения. Получено достаточно точное совпадение результатов экспериментального исследования с теоретической моделью. Расхождение сравниваемых кривых в среднем не превышает 5%.

4. Установлено, что при увеличении концентрации загрязненного воскового сырья в воде от 50 до 250 г/л полезная мощность увеличивается от 7,4 Вт/л до 10,2 Вт/л, а степень очистки уменьшается от 25 до 9 % от первоначальной массы. Установлено, что снижение эффективности очистки начинает проявляться при значении концентрации загруженного в емкость с водой воскового сырья, превышающей 150-160 г/л. Затрачиваемая на перемешивание мощность при данном значении концентрации составит 14 Вт. Таким образом, за рациональную концентрацию очищаемого воско сырья в воде можно принять значение 150-160 г/л, при котором не наблюдается существенного снижения степени очистки и увеличения энергзатрат.

5. Получена математическая модель, определяющая рациональное соотношение габаритных размеров камеры диспергирования и рабочей камеры измельчителя. В результате математического моделирования установлено, что повышение требуемой частоты вращения рабочего вала влечет уменьшение рационального диаметра камеры измельчителя D_{II} , при этом необходимо еще в большей степени уменьшить диаметр камеры аппарата с мешалкой D_{II} . Этот эффект объясняется необходимостью уменьшения оборотов вала при увеличении размеров аппарата с мешалкой при соблюдении условия постоянства интенсивности. Например, для камеры измельчителя диаметром 0,19 м рациональная величина оборотов вала составит около 1250 мин^{-1} . Если при этом требуется обеспечить интенсивность перемешивания $1,5 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^3$, соотношение $D_{II} / D_{II} = 0,497$. То есть, необходимо подобрать емкость для перемешивающего аппарата диаметром $0,19 / 0,497 = 0,38 \text{ м}$.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОВИБРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

6.1. Программа исследований

Очистка воскового сырья в условиях пчеловодческой пасеки предъявляет ряд специфических требований к технологии и оборудованию. В частности, технологических операций должно быть немного, они должны быть минимально трудоемкими и высоко эффективными.

Принимая во внимание изложенные выше требования, был предложен способ очистки пчелиных сотов от загрязнений (пат. РФ № 2662169) [233], для выполнения которого разработана вибрационная установка для очистки пчелиных сотов от загрязнений (пат. РФ № 2634432) [230]. Способ и установка вынесены в схему предложенной классификации (рис. 2.1).

Особенность способа заключается в возможности проводить очистку выбракованных загрязненных пчелиных сотов без разрушения восковой основы в водной среде. Таким образом, появляется возможность не только очищать восковое сырье, но и возвращать в улей часть очищенных сотов.

Способ очистки пчелиных сотов от загрязнений с применением специальной установки представляет собой выполнение в определенном порядке следующих технологических операций:

- сортировка пчелиных сотов по степени загрязнённости;
- замачивание сотов в воде с целью размягчения загрязнений;
- заполнение рабочего корпуса установки водой;
- закрепление подготовленных соторамок в рабочем корпусе установки;
- очистка пчелиных сотов от загрязнений действием вибрации;
- изъятие очищенных соторамок из корпуса установки;
- слив воды и загрязнений из корпуса установки.

Для установления рациональных временных и энергетических параметров режима гидровибрационной очистки сотов, при которых осуществляется наиболее полное извлечение загрязнений из ячеек при

минимальном разрушении восковой основы, необходимо провести соответствующие исследования.

По итогу анализа литературы по теме исследования, были получены некоторые теоретические оценки позволяющие уточнить основные параметры установки для гидровибрационной очистки воскового сырья [25, 26, 47]. В частности, получены приблизительные оценки частоты и амплитуды вынужденных колебаний предельно допустимые для пчелиных сотов.

Для обоснования параметров установки необходимо провести лабораторные исследования с использованием специально изготовленной установки

План лабораторных экспериментальных исследований включает [24, 205]:

- влияния частоты и амплитуды вибрации на полезную мощность, затрачиваемую на колебание сота;
- влияние частоты, амплитуды и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах.

6.2. Вибрационная установка для очистки воскового сырья от загрязнений

Конструктивная схема вибрационной установки, предназначенной для очистки воскового сырья от загрязнений, представлена на рис. 6.1, Предложенное устройство защищено патентом на изобретение РФ № 2634432 [230], приложение О.

Вибрационная установка для очистки воскового сырья от загрязнений состоит из корпуса 1, несущей раме 2 при помощи пружин сжатия 3. Корпус 1 соединен при помощи ребер 4 с электродвигателем 5, который имеет на валу 6 грузы 7 для создания вибрационного воздействия. Пружина 3 находится в полости трубы 8, жестко закрепленной на раме 2. На внутренних сторонах корпуса 1 установлены пластины 9, с помощью которых соторамка 10 жестко устанавливается внутри корпуса. Корпус вибрационной установки снабжен крышкой 11, к которой при помощи пружин сжатия 12 крепится упорная пластина 13 для фиксации соторамки 10 в корпусе 1. Корпус и крышка имеют

жестко установленные стержни 14, которые вместе с запорной пластиной 15 обеспечивают соединение крышки 11 и корпуса 1.

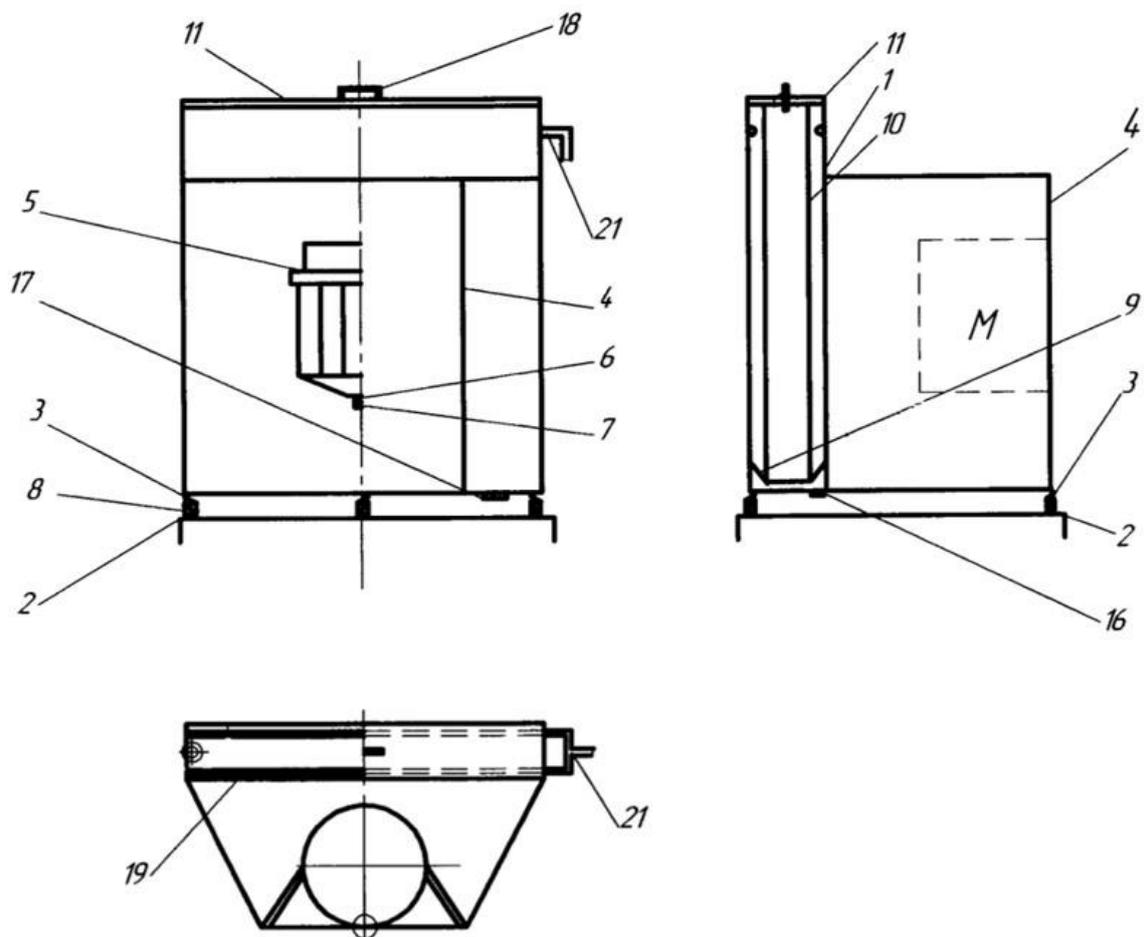


Рисунок 6.1 – Конструктивная схема вибрационной установки для очистки
воскового сырья от загрязнений

Вибрационная установка снабжена сливным отверстием 16, пробкой 17. Крышка 11 оснащена ручкой 18 для открывания и закрывания. Внутри корпуса, по обе стороны соторамки 10, установлены трубки 19, оснащенные отверстиями 20, через которые осуществляется распыление воды. Подача воды для распыления производится через трубку 21 подачи воды, которая соединена с трубками 19 для распыления воды [25, 26, 47].

Вибрационная установка для очистки пчелиных сотов от загрязнений работает следующим образом. Подготовленная соторамка (вымоченная в воде) закрепляется в рабочем корпусе. Корпус вибрационной установки заполняется водой и закрывается крышкой. После закрытия крышки включают

электродвигатель, который оказывает на воду, находящуюся в корпусе и очищаемую соторамку вибрационное воздействие. Под действием вибрации происходит размывание и выход механических и органических загрязнений из ячеек сотов. Извлеченные механические и органические загрязнения скапливаются на дне корпуса и после проведенной очистки вместе с водой удаляются из корпуса.

Вибрационная установка для очистки воскового сырья от загрязнений позволяет получить неповрежденные, очищенные от механических и органических загрязнений пчелиные соты.

6.3. Экспериментальное исследование процесса очистки пчелиных сотов

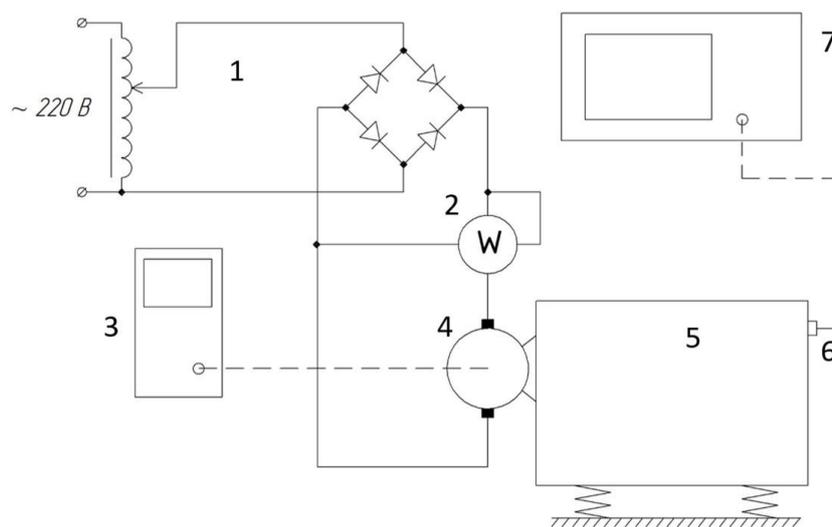
6.3.1. Описание лабораторной установки для очистки пчелиных сотов

Для выполнения предложенной программы исследований в соответствии с патентом РФ №2634432 была изготовлена лабораторная установка, позволяющая исследовать процесс гидровибрационной очистки сотов от загрязнений [25, 26, 47]. Описание патента приведено в п. 6.2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки приведена на рис. 6.2, а ее вид во время проведения исследования – на рис. 6.3; 6.4.

Установка позволяет изменять во время проведения исследования:

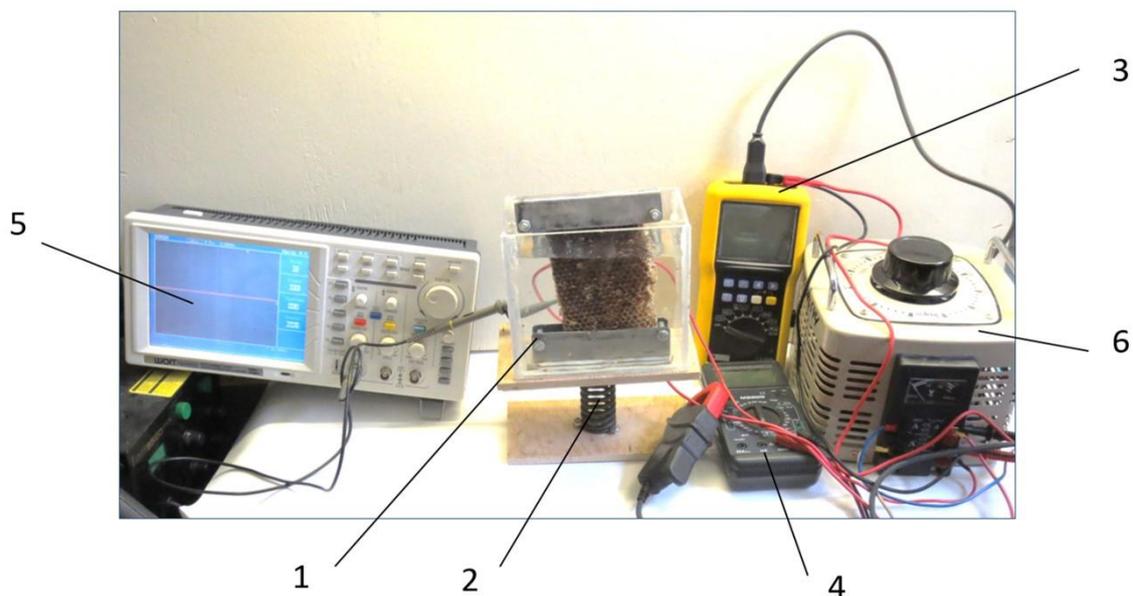
- частоту и амплитуду колебаний рабочей камеры;
- температуру воды в рабочей камере;
- продолжительность процесса очистки воскового сырья.

При проведении исследования возможно регулирование посредством ЛАТРа (рис. 6.3) величину напряжения, подаваемого на двигатель постоянного тока и контролировать ее мультиметром марки М890F (рис. 6.3) [141]. Измерение мощности, потребляемой электродвигателем (поз. 4, рис. 6.4), осуществляли посредством xxx (поз. 3, рис. 6.7), а определение амплитуды и частоты колебаний осуществляли посредством датчика ФОН-1 (поз. 3, рис. 6.4), который подавал генерируемые электрические сигналы на осциллограф (поз. 5, рис. 6.3) [14].



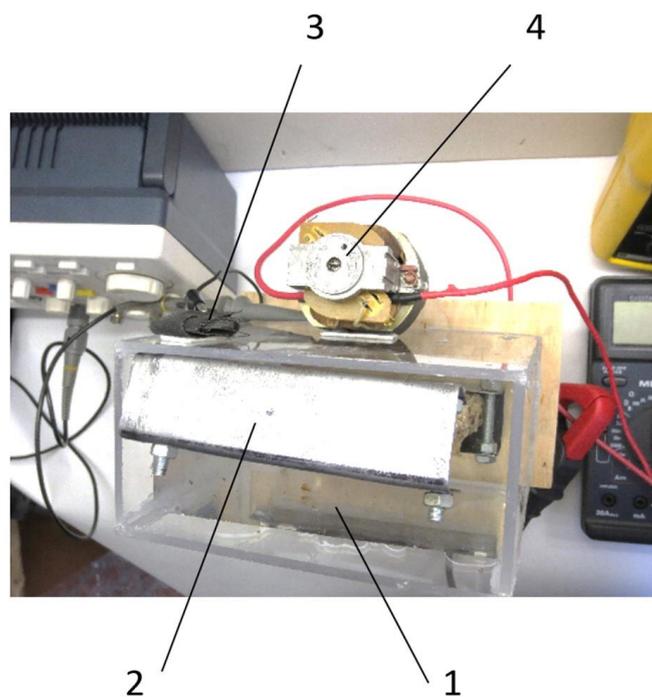
1 – блок питания, имеющий функцию регулирования напряжения; 2, 3 – прибор для определения мощности и частоты вращения СА 8220; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – емкость с водой; 6 – датчик амплитуды и частоты ФОН-1; 7 – цифровой осциллограф марки OWON PDS5022S

Рисунок 6.2 – Схема структурных элементов лабораторной установки



1 – камера испытания воскового сырья комплексным гидро-механическим воздействием; 2 – эластичный элемент, обеспечивающий вибрацию корпуса; 3 – прибор контроля активной мощности СА 8220; 4 – устройства контроля величины механических колебаний; 5 – осциллограф цифровой OWON PDS5022S; 6 – ЛАТР марки TDGC2-3К

Рисунок 6.3 – Оборудование, используемое при проведении предварительного исследования возможности очистки воскового сырья от загрязнений



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 6.4 – Рабочая камера лабораторной установки (вид сверху)

Рабочая камера установки выполнена прозрачной, из органического стекла толщиной 5 мм, для визуального контроля исследуемого процесса.

Лабораторная установка работает следующим образом. Подготовленные куски пчелиного сота (вымоченная в воде при температуре 15-25°C в течении 3-4 часов) закрепляется в пространстве рабочего корпуса между пластин 2 (рис. 6.4). Корпус вибрационной установки заполняется водой, температурой 15-25°C так, чтобы навески сота были полностью погружены в воду. Для работы включают электродвигатель, который оказывает на воду и навески, находящиеся в корпусе, вибрационное воздействие. Под действием вибрации происходит выход механических и органических загрязнений из ячеек сотов. Извлеченные механические и органические загрязнения скапливаются на дне корпуса. После этого электродвигатель вибрационной установки отключают, открывают крышку и извлекают очищенные куски сота. После проведенной

очистки вода вместе с механическими и органическими загрязнениями удаляется из корпуса.

Изменение производительности установки осуществляется за счет изменения величины вибрации, оказываемой на соты. При этом изменяются величины частоты и амплитуды колебаний. При увеличении величины вибрации производительность вибрационной установки увеличивается.

6.3.2. Планирование многофакторного эксперимента

Задачей экспериментального исследования является установление следующих зависимостей:

- влияния частоты и амплитуды вибрации на полезную мощность, затрачиваемую на колебание сота;

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

Диапазон варьирования частотой колебаний выбран исходя из результатов предварительно проведенных исследований [25, 26, 47].

Диапазон варьирования фактором амплитуда колебаний установлен в соответствии с результатами предварительных испытаний, в ходе которых установлено, что при амплитуде менее 1 мм извлечение загрязнений существенно замедляется, а при значении амплитуды более 2.5 мм происходит быстрое разрушение сотов.

Результаты предварительно проведенных исследований показали, что для полного извлечения перги из сотов, после их предварительного вымачивания в воде в течении 12-16 часов, достаточно 7-10 минут при любом режиме вибрации. В связи с выше сказанным, величина варьирования фактором время вибрационного воздействия выбрана в диапазоне 60-420 секунд [173, 321].

Исследование проводили при фиксированном значении температуры рабочей жидкости (воды), рациональное значение которой 20°C установлено по результатам предварительных исследований [72, 121, 124].

Измерение времени проводили секундомером марки ПВ-53Л, а массы загрязнений – при помощи весов марки ВСП-12/2-3К.

Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозн.	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал
			нижний (-1)	нулевой (0)	верхний (+1)	
Частота колебаний	X1	Гц	45	50	55	5
Амплитуда колебаний	X2	мм	1	1.75	2.5	0.75
Время вибрационного воздействия	X3	с	60	240	420	180

6.3.3. Методика экспериментального исследования влияния частоты и амплитуды на полезную мощность, затрачиваемую на колебание пчелиного сота

Полезную мощность, потребляемую приводом электродвигателя при осуществлении какого-либо физического процесса, можно определить, как мощность, потребляемую нагруженным приводом, и мощность, потребляемую на холостом ходу при одинаковых условиях и режимах работы [207].

При погружении куска сота в емкость с водой свойства колебательной системы несколько изменяются. Энергия, затрачиваемая на колебательные движения сота, или полезная мощность, определяется разницей измеренной мощности, потребляемой приводом с погруженным в воду образцом сота и без него при одинаковых значениях частоты и амплитуды колебаний. Требуемое сочетание этих двух факторов (X1 и X2, табл. 6.1) обеспечивали соответствующей регулировкой оборотов электродвигателя и положения эксцентрика на его валу. Контроль частоты и амплитуды колебаний осуществляли датчиком ФОН-1, выводящим сигнал на осциллограф OWON PDS5022S.

Энергетические показатели – силу тока, напряжение, затраченную мощность, определяли при помощи анализатора однофазной мощности СА 8220.

Полезная мощность N , Вт, на приведение рамки с сотами в колебательное движение в каждом i -м опыте определялась выражением:

$$N_i = \left(N_{H_i} - N_{XX_i} \right) \Big|_{\substack{v_i = \text{const}, \\ A_i = \text{const}}}, \quad (6.1)$$

где N_H – потребляемая мощность под нагрузкой, Вт; N_{XX} – мощность, потребляемая на холостом ходу, Вт.

Для обеспечения требуемой точности статистических данных была обеспечена 5-кратная повторность проведения опытов в каждой точке плана.

6.3.4. Методика экспериментального исследования влияния режима и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах и процент разрушения сотов в процессе очистки

Перед началом эксперимента из каждой рамки с сотами выбирали небольшие пробы перги и восковой основы массой по 4 ± 2 г. и определяли их относительную влажность в соответствии с ГОСТ 31775-2012 и ГОСТ 31776-2012.

Массу сота представим суммой массы воскового сырья, состоящего из восковой основы и перги [318, 320]:

$$M_P^H = M_K + M_C^H = M_K + M_{BO}^H + M_{\Pi}, \quad (6.2)$$

где M_P^H – начальная масса исследуемого образца (определяется взвешиванием), кг; M_K – масса металлических держателей в рабочей камере, кг; M_C^H – начальная масса сотов, кг; M_{BO}^H – начальная масса восковой основы сотов, кг; M_{Π} – масса перги в сотах, кг.

В данном выражении неизвестными остаются слагаемые M_{BO}^H и M_{Π} .

По истечении контрольных интервалов времени в соответствии с планом эксперимента (табл. 6.1) из емкости выливали воду с находящимися в ней частицами перги и восковыми частицами, отделившимися от сотов в процессе вибрационного воздействия, и подвергали анализу. Сначала добивались полного растворения находящихся в воде частиц перги до состояния пыльцевой взвеси, затем отделяли их от восковых частиц процеживанием через сито с размером отверстий 0.5×0.5 мм. Оставшиеся на сите восковые частицы

подсушивали на воздухе, взвешивали и определяли их относительную влажность в соответствии с методикой, описанной выше (ГОСТ 31775-2012). Фильтрат с растворенной пергой подвергали вакуумному фильтрованию в соответствии с методикой, описанной в п. 3.3 главы 3. Отфильтрованную таким образом пергу также взвешивали и определяли относительную влажность. Данные измерения проводили для каждого контрольного интервала времени.

По окончании эксперимента исследуемый образец извлекали из емкости, оставшуюся в ячейках пергу извлекали ручным способом и вымывали струей воды. Затем описанным выше способом воду фильтровали и определяли количество перги, оставшейся в сотах после очистки.

Первый критерий оптимизации – остаточная концентрация перги в сотах (степень очистки) по истечении каждого контрольного временного интервала определялась по формуле [118, 119]:

$$C_i = \left(1 - \frac{M_{Pi} (1 - W_{Pi}/100)}{\sum_{i=1}^4 M_{Pi} (1 - W_{Pi}/100)} \right) \cdot 100, \quad (6.3)$$

где M_{Pi} – масса перги, удаленной из сотов по истечении i -го интервала времени, а также в результате ручного удаления оставшейся в сотах перги, кг;

W_{Pi} – относительная влажность отфильтрованной перги, удаленной из сотов по истечении i -го интервала времени, а также в результате ручного удаления, %.

6.4. Результаты экспериментальных исследований

6.4.1. Результаты экспериментального исследования влияния частоты и амплитуды на полезную мощность, затрачиваемую на колебание рамки с сотами

В итоге обработки числовых результатов эксперимента, полученных при исследовании влияния режима вибрации на полезную мощность, затрачиваемую на приведение рамки с сотами в колебательное движение, представленных в приложении К, получено уравнение регрессии (приложение

К), выраженное квадратичным полиномом для натуральных значений факторов:

$$N(\nu, A) = 197.32 - 7.86 \cdot \nu - 12.66 \cdot A + 0.3 \cdot \nu \cdot A + 0.08 \cdot \nu^2 \quad (6.4)$$

где ν – частота колебаний, Гц; A – амплитуда колебаний, мм.

Данная зависимость представлена в виде трехмерной поверхности и изолиний на рис. 6.5.

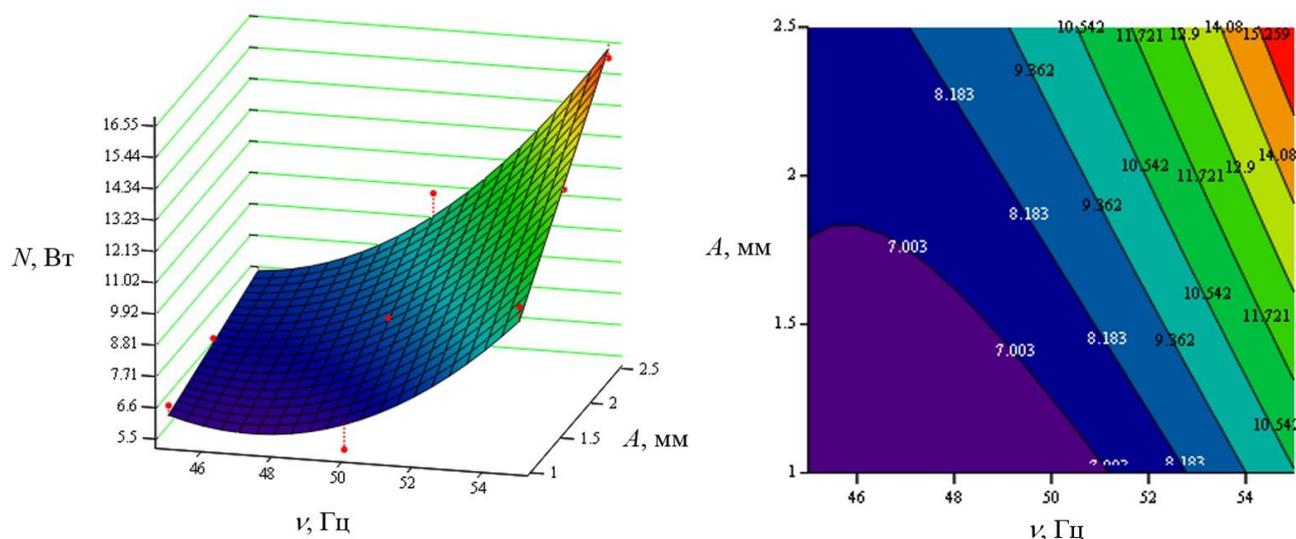


Рисунок 6.5 – Зависимость полезной мощности N , Вт, затрачиваемой на колебание рамки с сотами, от частоты ν , Гц и амплитуды A , мм колебаний

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.

6.4.2. Результаты экспериментального исследования влияния режима и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах

Экспериментальные данные, полученные при исследовании влияния режима и времени вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах и степень разрушения сотов в процессе очистки, выраженную величиной накопленного процента отделившихся восковых частиц, представлены в приложении Л. В результате статистической обработки

(приложения Л) получены уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующие экспериментальные данные экспоненциальной моделью с полиномиальной степенью:

$$C(\nu, A, t) = e^{-27.16 + 1.56 \cdot \nu - 0.02 \cdot t - 0.036 \cdot \nu \cdot A + 5.423 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot t - 0.017 \cdot \nu^2 + 2.53 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} \quad (6.5)$$

Для обеспечения рациональных условий функционирования технологического процесса необходимо провести комплексную мультикритериальную оптимизацию. Оптимизация по двум критериям позволила получить следующие значения факторов:

$$C(55, 2.5, 378) = 0.305 \%;$$

На рис. 6.6-6.8 представлены трехмерные зависимости остаточной концентрации перги в сотах (степени очистки), от двух исследуемых факторов при стабилизации величины третьего на рациональном уровне.

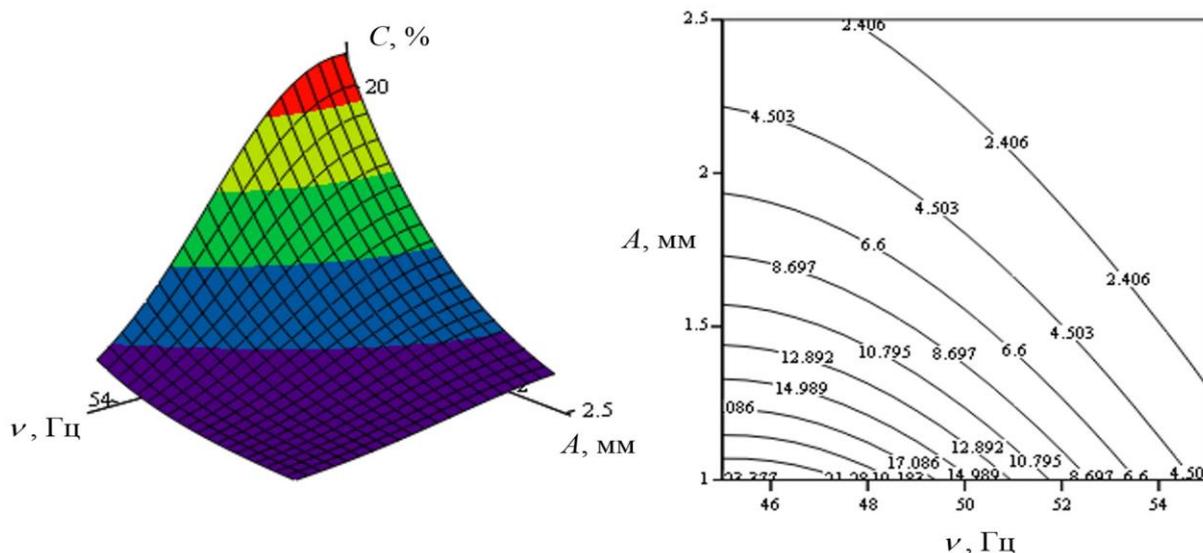


Рисунок 6.6 – Зависимость остаточной концентрации перги в сотах C , % (степень очистки) от частоты ν , Гц и амплитуды A , мм колебаний рамки с сотами при рациональном времени вибрационного воздействия $t = 357$ с

Из полученных закономерностей следует, что при изменении значений факторов от нижнего уровня к верхнему величина остаточной концентрации монотонно уменьшается.

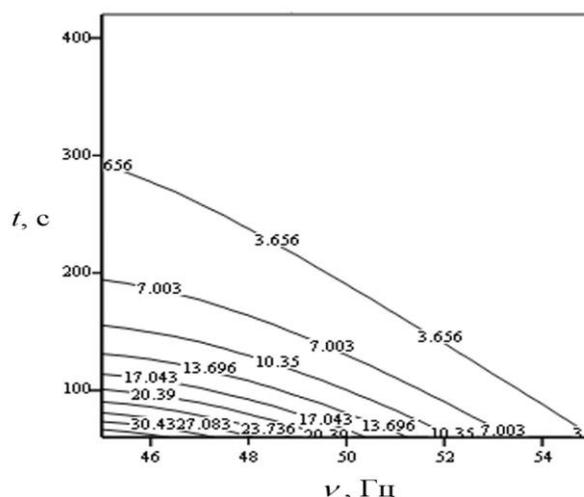
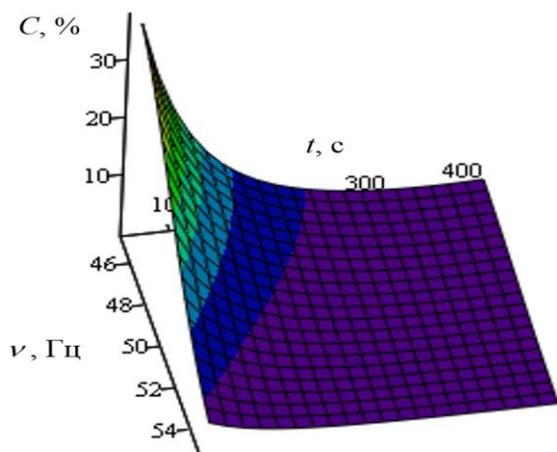


Рисунок 6.7 – Зависимость остаточной концентрации перги в сотах C , % (степень очистки) от частоты колебаний рамки с сотами ν , Гц и времени вибрационного воздействия t , с при рациональной амплитуде колебаний $A = 2.5$

мм

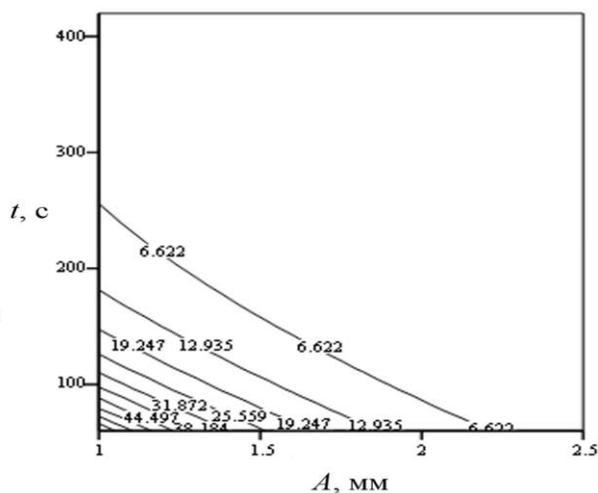
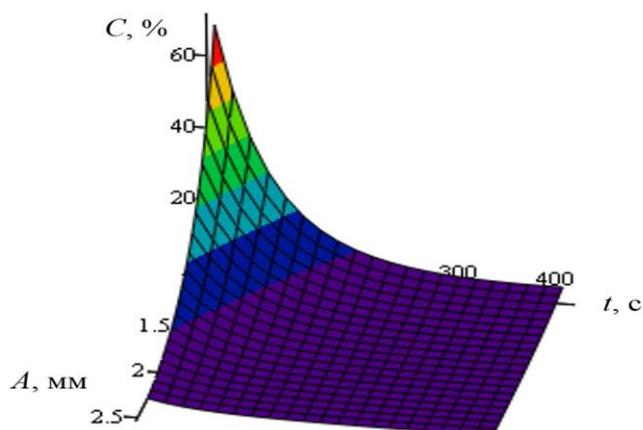


Рисунок 6.8 – Зависимость остаточной концентрации перги в сотах C , % (степень очистки) от амплитуды колебаний рамки с сотами A , мм и времени вибрационного воздействия t , с при оптимальной частоте колебаний $\nu = 55$ Гц

Выводы по главе 6

1. Получена экспериментальная зависимость полезной мощности, затрачиваемой на приведение пчелиного сота в колебательное движение, от частоты и амплитуды колебаний. Значение полезной мощности монотонно возрастает при изменении факторов от нижних уровней к верхним и составляет 5 Вт при минимальных значениях частоты и амплитуды и 16 Вт при максимальных значениях. Полученная эмпирическая модель позволяет

однозначно определить значение полезной мощности для расчета остаточной концентрации по построенной теоретической модели при заданных значениях амплитуды и частоты колебаний.

2. Получена экспериментальная зависимость остаточной концентрации перги в сотах от частоты, амплитуды и времени вибрационного воздействия. Данный процесс адекватно описывается экспоненциальной моделью, оптимизация которой позволила определить, что минимальный остаток перги в сотах 0.31 % достигается при значении частоты 55 Гц, амплитуды колебаний 2.5 мм и времени вибрационного воздействия 375 с.

3. Получены рациональные соотношения исследуемых факторов, при которых следует осуществлять гидровибрационную очистку пчелиных сот с целью достижения приемлемой степени очистки за минимальное время при минимальном разрушении сот. При значении частоты 45 Гц и амплитуды 2.5 мм соты полностью освобождаются от перги по истечении 5-6 минут, при этом остаточная концентрация перги в сотах составляет менее 0.4 %. Сопоставление результатов теоретического и экспериментального исследования показало достаточное соответствие полученных зависимостей.

7. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТРОЙСТВ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

7.1. Программа производственных исследований

В настоящее время пчеловодческая сфера нашей страны развита весьма неоднородно, численность пчелосемей в частных хозяйствах варьирует от десятков до сотен. Поскольку нами предлагается комплекс машин для очистки воскового сырья, необходимо выработать рекомендации по рациональному использованию оборудования в зависимости от частных условий пасеки.

Объективную картину работоспособности оборудования при изменяющихся внешних условиях, то есть при варьировании большого числа управляемых и неуправляемых факторов, возможно получить путем эксплуатации оборудования на протяжении длительного периода времени [177, 178, 183].

В связи с вышесказанным, программа исследований предполагает проведение всесторонних исследований предложенного оборудования в производственных условиях КФХ [235, 236]. Необходимо также выполнить сравнение предложенного оборудования и промышленно выпускаемого для получения объективной картины построения рациональной технологии в условиях отдельно взятого хозяйства [133, 230, 287].

Рассматривая основные результаты исследований зависимости выхода воска от качества и восковитости исходного воскового сырья [46, 48, 49], основным показателем, позволяющим определить целесообразность внедрения в производство предлагаемых технологий и оборудования, является увеличение процента выхода воска с учетом нормы потерь воскосырья при влажной очистке. Таким образом, оценивается предполагаемый процентный выход воска из воскового сырья с различной восковитостью, то есть исходного и очищенного. Годовой экономический эффект оценивается путем умножения этой разницы на среднюю закупочную цену воска [153, 290, 292]. Известная

методика расчета экономической эффективности широко применяется при определении показателей при механизации пчеловодства.

Наиболее точную оценку эффективности оборудования позволяют получить комплексные показатели, такие как [235, 236, 267, 306]:

- годовые затраты (издержки) на эксплуатацию оборудования;
- затраты труда;
- стоимость оборудования;
- производительность и т. д.

В исследовании не принимается во внимание существенная разница в рыночной стоимости воска различного качества, полученного с использованием различных технологий (цена на воск варьирует в диапазоне от 200 до 1000 рублей за килограмм в зависимости от качества) [165, 167]. Качество воска характеризуется комплексом физико-химических и биологических показателей, приведенных в ГОСТ 21179-2000 «Воск пчелиный. Технические условия» [299, 300]. Также не учитывается эффект от повторного использования очищенных целых пчелиных сотов, который может быть оценен увеличением медосбора за счет более раннего переключения физиологической активности пчелы с сотостроения на медосбор.

Охарактеризовать основные параметры технологического процесса и механизированных средств, применяемых для очистки воскового сырья и целых пчелиных сотов от загрязнений целесообразно следующими показателями [136, 149, 206, 219]:

- энергоемкость процессов измельчения воскового сырья и последующего отделения из измельченной массы органических загрязнений;
- энергоемкость процесса отделения органических загрязнений из воскового сырья под действием вибрации;
- производительность процесса измельчения воскового сырья и последующего отделения из измельченной массы органических загрязнений;

- производительность процесса гидровибрационной очистки пчелиных сотов;
- трудоемкость технологических процессов очистки;
- восковитость очищенного измельченного воскового сырья и восковитость суши сотов, очищенной посредством вибрации;
- остаточная загрязненность пергой очищенного воскового сырья и целых пчелиных сотов.

В таблице 7.1 приведены последовательности технологических операций, реализуемых при выполнении предложенных нами способов очистки воскового сырья, а также установленные опытным путем диапазоны физического воздействия, оказываемого на продукт при его переработке в процессе реализации операций способов [169, 291].

В результате проведенного исследования должен получиться комплекс экспериментальных данных. Сопоставление полученных результатов на основе конкретных производственных условий должно дать ответ о рациональных схемах использования оборудования [144, 219].

Второе испытание направлено на определение технологических параметров и эффективности технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов [144].

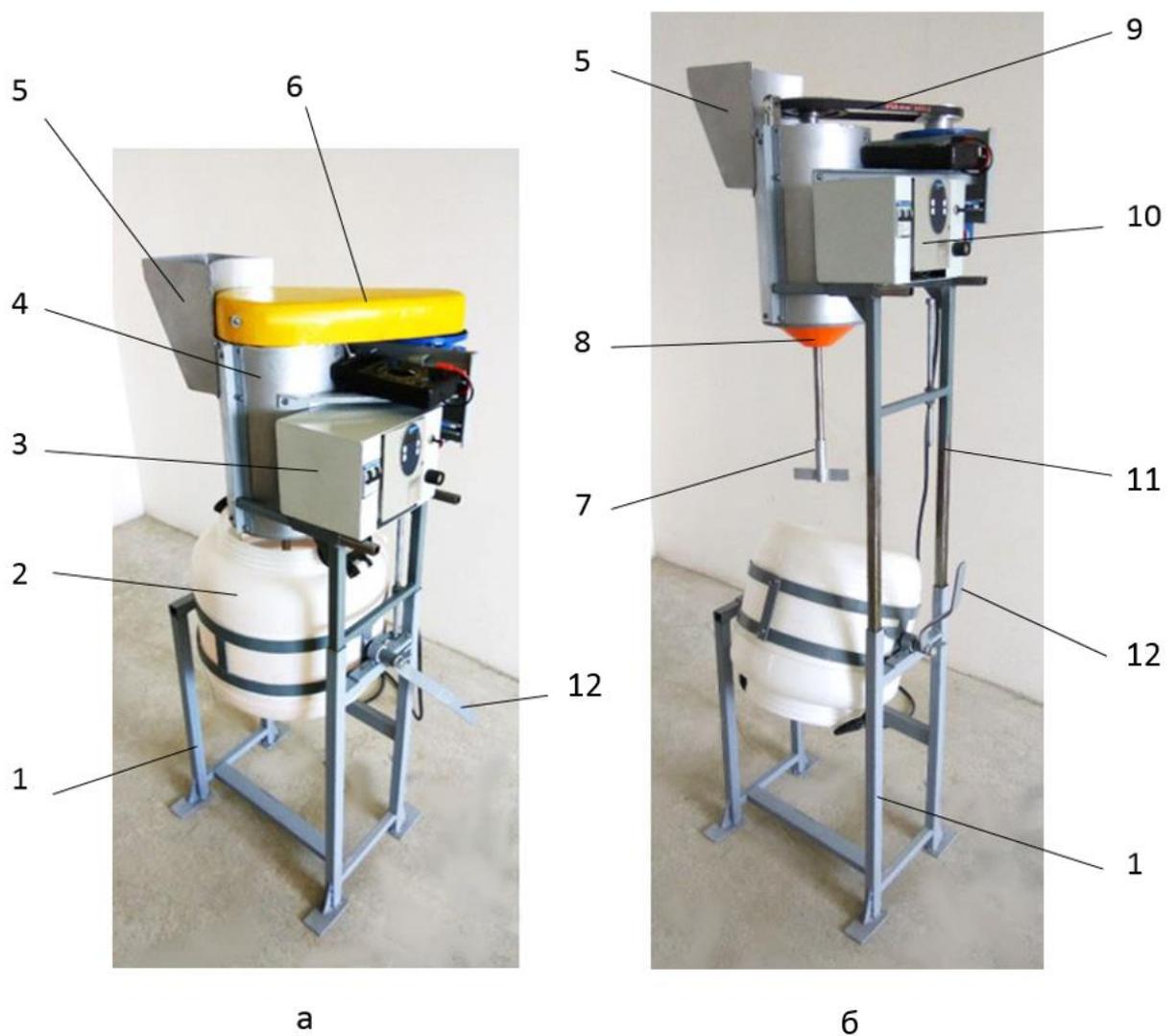
7.2. Опытно-производственный образец устройства для очистки воскового сырья

После проведения серий лабораторных исследований, описанных в главах 4, 5 и оптимизации конструктивных параметров отдельных узлов предложенного оборудования, был сконструирован и изготовлен производственный образец установки в полном соответствии с конструкцией, приведенной в описании (пат. РФ №2672403). На рис. 7.1 представлен общий вид установки, на рис. 7.2-7.3 – ее фрагменты.

На неподвижной раме 1 установлена емкость для перемешивания 2, шарнирно соединенная с ней посредством подшипниковых опор и имеющая возможность опрокидывания поворотом вокруг горизонтальной оси с помощью рукоятки 12 (рис 7.1).

Таблица 7.1 – Реализуемые последовательности технологических операций при выполнении предложенных способов очистки воскового сырья

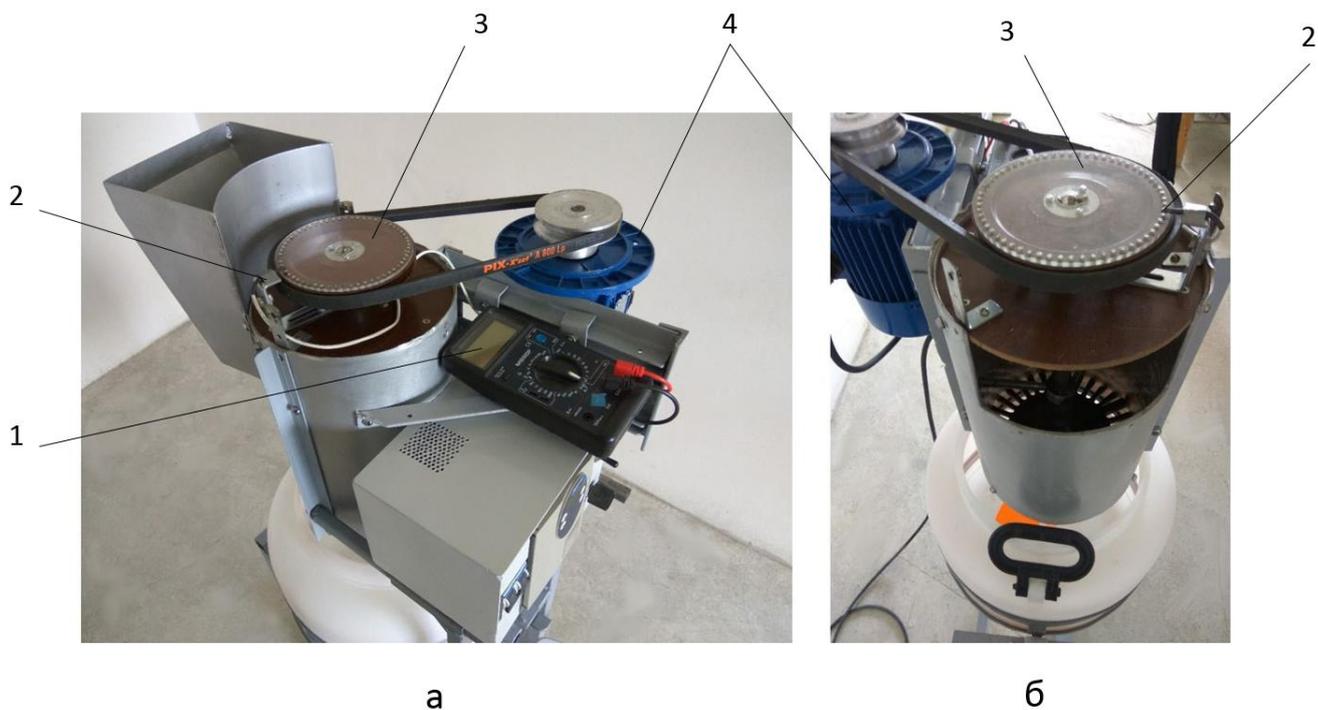
№ технологии	№ патента	Технологические операции				
		Отделение сотов из рамок	Выдержка кусков сотов при температуре -3...+3 °С	Измельчение + очистка	Гидровибрационная очистка	Фильтрация
1	Пат. РФ №2656968	+	+	+	-	+
2	Пат. РФ №2662169	-	-	-	+	-
Используемое оборудование						
Установка для очистки воскового сырья (пат. РФ №2672403)		-	-	+	-	+
Установка для очистки пчелиных сотов (пат. РФ №2634432)		-	-	-	+	-
Морозильная установка		-	+	-	-	-



1 – рама; 2 – камера для диспергирования загрязнений из измельченного воскового сырья; 3 – коммутационное и защитное оборудование электродвигателя; 4 – измельчающее устройство (камера, в которой располагается штифтовой измельчитель); 5 – загрузочная горловина; 6 – защитный кожух рабочего вала; 7 – вал, снабженный штифтовым измельчителем и лопастями перемешивающего устройства; 8 – часть корпуса измельчителя, предотвращающая попадание воды; 9 – привод; 10 – частотный регулятор марки ALTIVAR-31; 11 – перемещаемая часть корпуса установки; 12 – устройство слива образующийся взвеси на фильтрацию

Рисунок 7.1 – Производственный образец устройства для очистки воскового сырья от органических загрязнений:

а – рабочая камера в состоянии измельчения воскового сырья и диспергирования загрязнений; б – рабочая камера в состоянии подачи очищенного продукта на фильтрацию



Условные обозначения: 1 – цифровой мультиметр марки М890F для измерения импульсов от датчика Холла; 2 – датчик Холла; 3 – диск тахометра; 4 – электродвигатель

Рисунок 7.2 – Установка для очистки воскового сырья (фрагменты):
 а – верхняя часть установки с измельчителем, загрузочной горловиной и блоком управления; б – рабочая камера измельчителя со снятой загрузочной горловиной.

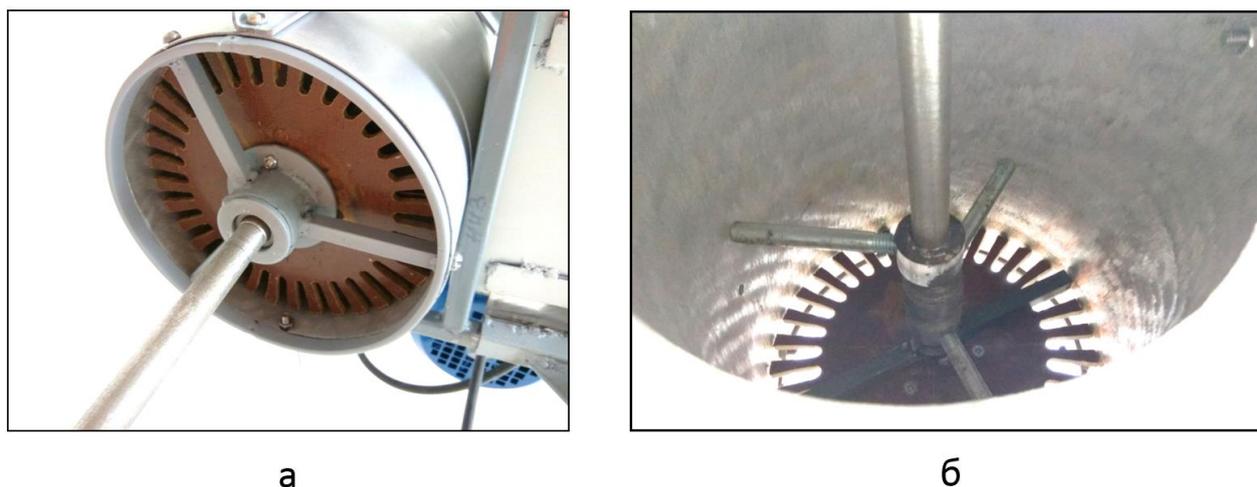


Рисунок 7.3 – Установка для очистки воскового сырья (фрагменты):
 а – рабочий вал и решето измельчителя (влагозащитный конус снят); б – измельчающая камера, внутри которой соосно установлен вал, снабженный билами

В двух стойках неподвижной рамы 1 установлена подвижная рама 11, имеющая возможность вертикального перемещения относительно неподвижной рамы и фиксируемая в верхнем положении при помощи пружинного фиксатора. В верхней части подвижной рамы 11 жестко закреплена вертикальная цилиндрическая камера измельчителя 4 с вертикальным рабочим валом 7, загрузочной горловиной 5, коническим влагозащитным отражателем 8 и электроприводом с клиноременной передачей 9, закрываемой сверху защитным кожухом 6, расположен блок управления 3 с частотным преобразователем 10.

Рабочий вал 7 снабжен рабочими органами: штифтами – внутри камеры измельчителя 4 (рис. 7.3-б) и мешалкой, работающей внутри нижней емкости 2.

Эвакуация частиц измельченной массы, образуемой в результате измельчения воскового сырья в камере 4, осуществляется в емкость 2 через решето (рис. 7.3), установленное в нижней части камеры измельчителя и защищаемое от брызг воды конусом 8.

Частота вращения рабочего вала регулируется блоком управления 3, снабженного преобразователем частоты марки ALTIVAR-31. Контроль оборотов осуществляется при помощи тахометрического генератора, выполненного из расположенных по окружности диска постоянных магнитов и неподвижного датчика Холла, импульсы от которого регистрируются цифровым мультиметром марки M890F, имеющим функцию измерения частоты (рис. 7.2) [168].

Определение конструктивных параметров рабочей камеры.

Для конструирования и изготовления опытно-производственного образца установки для очистки измельченного воскового сырья были использованы полученные в результате проведенного исследования, описанного в главах 4 и 5, опытные данные. В пункте 5.4.3 установлено, что интенсивность перемешивания должна составлять 15000 Вт/м^3 , при этом линейная скорость движения бил, закрепленных на рабочем валу измельчителя, должна быть равна $11,4 \text{ м/с}$, а диаметр рабочей камеры $0,19 \text{ м}$.

Исходя из приведенных данных, на основе изложенной в пункте 4.7 теории установлено, что диаметр перемешивающей камеры может составлять 0,37 м, при этом на валу находятся лопасти диаметром 0,12 м, с перегородками на стенках камеры шириной 0,04 м (рис. 7.2) [219].

Рабочий процесс установки подробно описан в пункте 4.1 главы 4.

7.3. Опытно-производственный образец установки для очистки пчелиных сотов

Для выполнения предложенной программы исследований в соответствии с патентом РФ №2634432 была изготовлена опытно-производственная установка, позволяющая осуществлять процесс гидровибрационной очистки сотов от загрязнений [47, 72]. Полное описание конструкции и принцип работы гидровибрационной установки подробно рассмотрены и описаны в п. 7.2. Общий вид опытно-производственной гидровибрационной установки представлен на рисунке 7.4, элементы конструкции – на рис. 7.5.

Установка (рис. 7.4) состоит из металлической рамы 1, на которой посредством пружинного подвеса 2, закреплен рабочий корпус 3. Рабочий корпус представляет собой емкость для воды, снабженную крышкой 4 и сливным патрубком (рис. 7.5-б). Внутри емкости неподвижно закрепляется очищаемый сот. На рабочем корпусе 3 неподвижно установлен электродвигатель 5, вал которого снабжен дебалансом (рис. 7.5-а). Внутри корпуса 3 выполнены упорные пластины 6, которые обеспечивают надежное крепление соторамки.

Гидровибрационная установка работает следующим образом. Подготовленная пчелиная соторамка (вымоченная в воде при температуре 15-25°C в течении 3-4 часов) закрепляется в пространстве рабочего корпуса между пластин 8. Корпус вибрационной установки заполняется водой, температурой 15-25°C так, чтобы соты соторамки были полностью погружены в воду. Корпус вибрационной установки закрывается крышкой. Для работы включают электродвигатель, который оказывает на воду и соторамку, находящуюся в

отключают, открывают крышку и извлекают соторамку. После проведенной очистки вода вместе с механическими и органическими загрязнениями удаляется из корпуса посредством открытия крана для слива воды. Привод рабочего вала осуществляется от электродвигателя мощностью 0,5 кВт. Частота колебаний составляет 45 Гц.

Для повышения эффективности очистки сотов, а также снижения разрушаемости установка снабжена дополнительной сетчатой кассетой, размер ячеек которой 10×10 мм (рис. 7.6) [80, 81, 82].



Рисунок 7.6 – Корпус гидровибрационной установки, снабженный сетчатой кассетой

7.4. Методика сравнительных исследований

В целях получения достоверных опытных данных, первый этап исследования проводили в соответствии с традиционной широко применяемой в условиях пчеловодческих пасек Российской Федерации технологией [133, 191, 201].

После окончания главного медосбора, во время формирования гнезда на зиму, из ульев отбирали загрязненные соторамки и оставляли их рядом с пчелосемьями для удаления, оставшегося на восковой структуре сотов меда [197, 198, 199].

Так как необходимо было получить однородную по качеству и количеству содержащихся загрязнений сушь сотов, полученное таким образом сырье повторно пересортировывали и оставляли для проведения опытов только сушь, которую можно было отнести ко 2-му или 3-му сорту.

Критерии второго этапа сортировки сотов были приняты на основании инструкции Министерства сельского хозяйства, которая предполагает деление выбракованного воскового сырья на четыре класса в зависимости от количества содержащихся загрязнений, оценка сортности воскового сырья проводится визуально на основе имеющихся рекомендаций.

Подготовленную таким образом сушь располагали в хранилище в корпусах ульев. Из сформированной опытной партии сотов отбирали пробы, упаковывали и отправляли в сертифицированную лабораторию оценки качества продуктов пчеловодства ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства» (г. Рыбное).

Лаборатория проводила анализ по основным органолептическим показателям, в частности, определяла восковитость отобранного воскового сырья и его влажность.

Далее отобранные соты перерабатывали в соответствии с технологической картой производственных испытаний (табл. 7.1) [321].

Из подготовленного сырья формировали навески для однократного измельчения весом $4 \pm 0,1$ кг. Запакованные в полиэтиленовые пакеты навески помещали в холодильную установку и охлаждали до температуры $-2...-12^{\circ}\text{C}$. Во время охлаждения продукт утрачивал липкостные и вязущие свойства и приобретал твердость, что давало возможность его измельчения под ударным действием рабочих органов.

В пластиковую емкость, предназначенную для диспергирования загрязнений, заливали требуемое количество воды температурой $+12...+15^{\circ}\text{C}$. Объем воды рассчитывали из соображений получения средней концентрации раствора $155...165$ г/л (загрязнений). Рациональная величина соотношения массы воды и загрязнений определена на основании опытных данных, представленных в главе 5.

Верхнюю раму установки опускали таким образом, чтобы мешалка, оказываясь в центре камеры диспергирования, приводили ее в действие посредством пульта управления. При выходе установки на рабочий режим извлекаемую из холодильной установки порцию продукта загружали в камеру

измельчения. Частицы воскового сырья, образующиеся в результате измельчения, выходили через отверстия решета рабочей камеры и под действием силы тяжести поступали в камеру диспергирования. После $10 \pm 0,1$ минут процесс прекращали, верхнюю часть установки поднимали и сливали загрязненную воду с восковыми частицами на сетчатую (фильтрующую) поверхность специальной емкости. Очищенные таким образом восковые чешуйки тонким слоем располагали на впитывающей поверхности и на сутки оставляли в отопляемом помещении с целью просушивания.

Приведенная выше методика позволила исследовать эффективность способа (пат. РФ №2656968) и установки, выполняющей основные технологические операции этого способа (пат. РФ №2672403).

Количественное содержание воска в очищенном сырье измеряли в полном соответствии с методикой, приведенной в ГОСТ 31775-2012.

На каждом этапе работы оборудования проводили хронометраж времени согласно методике, описанной в ГОСТ Р 56908-2016, а также измерение активной мощности, потребляемой из электросети электроприводом исследуемой установки.

Измеренные и определенные в процессе производственных испытаний технико-экономические показатели предлагаемой установки сравнивали с аналогичными показателями по стандартному оборудованию, используемому для измельчения и очистки воскового сырья в соответствии с предлагаемой технологией [276, 319].

В качестве объекта сравнения выбрано следующее оборудование: 1) агрегат для извлечения перги из сотов АИП-10, который можно использовать для измельчения воскового сырья [200, 203]; 2) емкость ЭкоПром-60, оборудованная вертикальной мешалкой с электроприводом, – для очистки в воде полученного измельченного воскопергового вороха.

Агрегат для извлечения перги из сотов АИП-10 состоит из трех частей: измельчителя, устройства для подключения пневмосистемы и отсева (рис. 7.7). Измельчитель предназначен для измельчения предварительно подготовленных

сотов. Последующей после измельчения операцией является отделение гранул перги от воскового сырья, которое может осуществляться как рассевом воскопергового вороха, так и пневмосепарированием. Как было отмечено выше, в данном исследовании предполагается использовать АИП-10 только для измельчения воскового сырья, которое подлежит дальнейшей очистке от примесей путем перемешивания в воде и фильтрования.



Рисунок 7.7 – Общий вид опытного образца установки для извлечения перги из перговых сотов АИП-10

Так называемая часть установки «измельчитель» хорошо исследована и конструктивно оптимизирована в работах многих авторов [133]. Измельчитель состоит из неподвижно закрепленных бил, расположенных на валу по винтовой линии, и рабочей камеры, стенки которой выполнены в виде решета. В верхней части камеры измельчения имеется загрузочное окно. Выгрузка измельченного продукта осуществляется через специальный канал, отводящий продукты измельчения из-под решетчатой части. В таблице 7.2 приведены технические параметры АИП-10.

Таблица 7.2 – Параметры опытного образца установки для извлечения перги из перговых сотов АИП-10

Параметры	Ед. изм.	Значения
Мощность двигателя	кВт	0,25
Производительность	сотов/час	10 и более
Длина	м	0,37
Ширина	м	0,20
Высота	м	0,50
Вес	кг	10,5

Стоимость агрегата АИП-10 составляет 24950 руб. Данные взяты из источника: <https://zoomagnit.com/agregat-aip-10-dlya-izvlecheniya-pergi-iz-sotov/>.

Второй объект сравнения – промышленный миксер ЭкоПром-60, который предполагается использовать в комплекте с АИП-10 для очистки измельченного с его применением воскового вороха путем перемешивания в воде.

Схема и общий вид ЭкоПром-60 представлены на рис. 7.8. В таблице 7.3 приведены технические параметры устройства.

Стоимость перемешивающего устройства составляет 33450 руб. Данные взяты из: https://termostok.ru/catalog/vodosnabzhenie_i_podogrev/baki_i_emkosti/.

В соответствии с информацией, приведенной на веб-сайте поставщика, емкость ЭкоПром-60 объемом 60 литров, предназначенная для питьевой и технической воды, а также для хранения пищевых продуктов различной консистенции, технических жидкостей, поставляется с вмонтированной лопастной мешалкой, изготовленной из композита и предназначенной для работы с жидкостями с плотностью до 1.3 г/см³ и вязкостью 0.05 Па/сек.

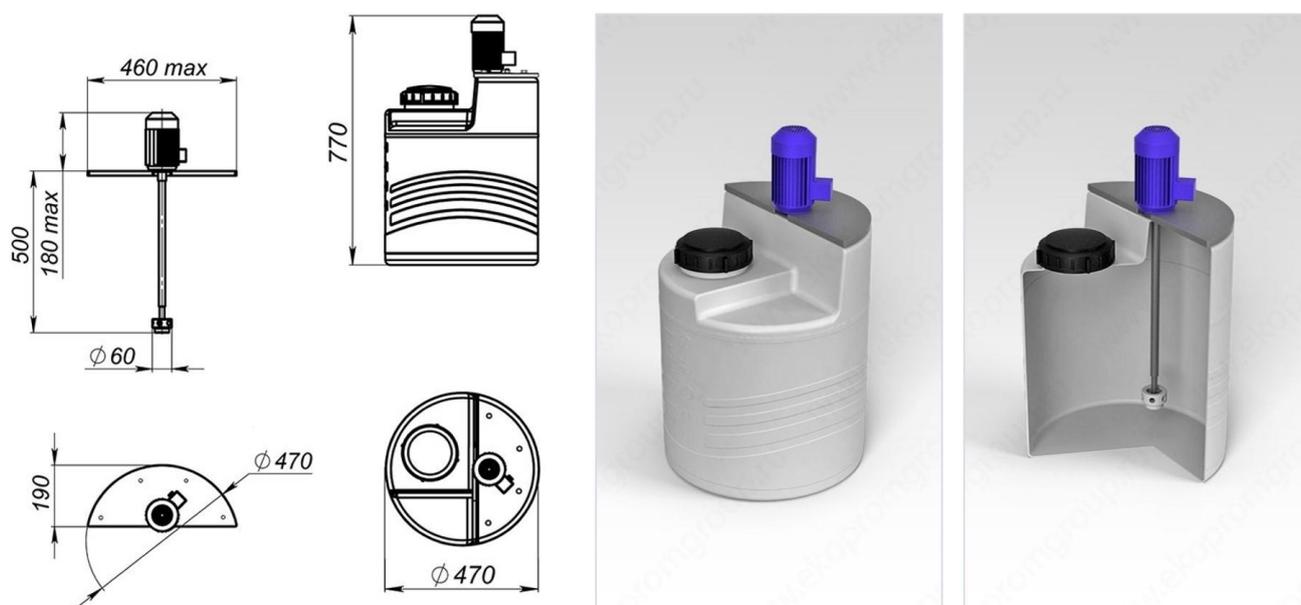


Рисунок 7.8 – Схема, общий вид и вид с вертикальным разрезом рабочей камеры перемешивающего аппарата ЭкоПром-60

Таблица 7.3 – Параметры перемешивающего устройства ЭкоПром-60

Параметры	Ед. изм.	Значения
Мощность двигателя	кВт	0,18
Частота вращения вала	Об/мин	1400
Длина вала	м	0,5
Высота емкости	м	0,77
Диаметр емкости	м	0,47
Диаметр горловины	м	0,13
Вес	кг	8,5

Второе сравнительное испытание направлено на выявление различий в результатах подготовки воскового сырья к перетопке без применения и с применением технологии гидровибрационной очистки пчелиных сотов от загрязнений (пат. РФ №2662169) с использованием предлагаемой установки (пат. РФ №2634432). Также, как и в первом сравнительном испытании, использовали анализатор однофазной мощности СА 8220 для контроля потребляемой мощности. Последовательность операций, выполняемых при гидровибрационной очистке сотов, описана в п. 7.3.

7.5. Результаты сравнительных исследований

Непосредственно исследования, в полном соответствии с приведенными выше методиками, проводили на базе специализированного пчеловодческого хозяйства КФХ «Бортники» Рыбновского района Рязанской области. Исследование состояло из трех этапов: на первом этапе изучали технологию очистки измельченного воскового сырья, в соответствии со способом (пат. РФ №2656968), и установки, выполняющей основные технологические операции этого способа (пат. РФ №2672403).

На втором этапе исследовали установку (пат. РФ №2634432), позволяющую выполнять основные технологические приемы предложенного способа (пат. РФ №2662169). Полученные в производственных условиях данные использовали для выбора рациональной технико-экономической эксплуатации оборудования.

В таблице 7.4 представлены результаты определения продолжительности этапов технологического процесса очистки воскового сырья от загрязнений, в соответствии с предлагаемой технологией, основанные на замерах времени при использовании предлагаемой установки и на данных из источников и оценочных данных по сравниваемому оборудованию.

В таблице 7.5 представлены полученные в результате производственных испытаний основные технологические показатели предлагаемой установки для очистки воскового сырья (пат. РФ №2672403).

Анализ результатов производственных испытаний показывает, что основным фактором экономической эффективности внедрения технологии и установки для очистки воскового сырья от загрязнений является сокращение суммарного времени на выполнение технологических операций, связанных с обслуживанием и подготовкой оборудования, перезагрузкой измельченного сырья в перемешивающий аппарат, а также с выгрузкой очищенного вороха на фильтровальное сито (табл. 7.4). Общая экономия времени на выполнение 1 цикла технологического процесса составляет 0,4 часа (24 минуты), что достигается также за счет большей производительности измельчающего аппарата (табл. 7.4-7.5).

Таблица 7.4 – Результаты определения продолжительности операций технологического процесса очистки воскового сырья от загрязнений с использованием предлагаемой установки и сравниваемого комплекта оборудования

Операции	Затрачено времени, мин/цикл			Работа оборудования в тех. цикле		
	Предлагаемая установка*	Комплект		Предлагаемая установка	Комплект	
		АИП-10**	ЭкоПром-60**		АИП-10	ЭкоПром-60**
Подготовка оборудования	7.00	3.00	7.00	–	–	–
Измельчение	28.13	45.00	–	+	+	–
Перегрузка измельченного материала в емкость для перемешивания	–	–	3.00	–	–	–
Гидроочистка	10.00	–	10.00	+	–	+
Выгрузка очищенного воскового сырья	0.50	–	2.00	–	–	–
Суммарное время, мин/цикл	45.63	48.00	22.00	38.13	45.00	10.00

* Данные хронометража

** Данные из источников и оценочные данные

Таблица 7.5 – Результаты сравнительных производственных испытаний установки для очистки воскового сырья

№ стр.	Показатели	Ед. изм.	Объекты сравнения			Расчет, ссылка
			Предлагаемая установка	Совместное использование		
				АИП-10	Миксер ЭкоПром-60	
1	Установленная мощность	кВт	0.20	0.25	0.16	-
2	Продолжительность технологического цикла	ч	0.76	0.80	0.37	табл. 7.4
3	Время работы оборудования в одном цикле	ч	0.64	0.75	0.17	табл. 7.4
4	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	кг	3.75	3.75		-
5	Производительность технологического цикла	кг/ч	4.93	4.69	10.23	(4)/(2)
6	Производительность оборудования	кг/ч	5.90	5.00	22.50	(4)/(3)
7	Энергоемкость	кВт·ч/кг	0.03	0.05	0.01	(1)/(6)
8	Переработано рамок	шт.	23	-		-
9	Переработано сырья всего	кг	11.5	-		-
10	Масса сырья после очистки и просушивания	кг	8.6	-		-
11	Убыль сырья в результате очистки	кг	2.9	-		(8)-(9)
12	Убыль сырья в результате очистки	%	25.22	-		(10)*100/(8)
13	Восковитость исходного сырья (средняя)	%	48	-		-
14	Восковитость очищенного сырья (средняя)	%	64	-		-
15	Среднее увеличение восковитости сырья	%	16	-		(13)-(12)

В совокупности указанные факторы приводят к снижению трудоемкости выполняемых операций в сравнении с применением для данных целей комплекта стандартного оборудования [135, 143].

В результате проведенных в соответствии с операциями технологии очистки воскового сырья производственных исследований (рис. 7.9), концентрация органических загрязнений в очищенном восковом сырье находится в диапазоне 0,89...0,9%. Повышение величины воскодержания по результату исследования опытных проб, проведенном в ФНЦП, составляет порядка 16 %. В таблице 7.6 представлены результаты производственных испытаний установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов (пат. РФ №2634432) приложение П.



а



б

Рисунок 7.9 – Заключительный этап очистки измельченного воскового сырья:

а – эвакуация водозмульсионной взвеси и измельченных частиц воскового сырья на решетку; б – очищенная масса измельченных частиц воскового сырья

Производственные испытания предлагаемой технологии и установки для гидровибрационной очистки воскового сырья проводились с целью сравнения результатов очистки исследуемой партии воскового сырья, подготавливаемого к перетопке, с исходным их состоянием перед перетопкой. Проведение очистки перед перетопкой является дополнительной технологической операцией в сравнении с традиционной подготовкой сотов к перетопке и неизбежно влечет за собой дополнительные издержки. Поэтому анализ экономической эффективности внедрения предлагаемой технологии должен основываться не на сопоставлении годовых затрат, а на получении выгоды, связанной с увеличением восковитости сырья в результате очистки, которое способствует увеличению выхода воска при перетопке.

В данном исследовании увеличение нормы выхода воска в зависимости от увеличения восковитости оценивается по эмпирическому уравнению (3.17), полученного нами при изучении физико-механических и гигроскопических свойств воскового сырья и загрязняющих его компонентов (глава 3). Таким образом, основным фактором экономической эффективности внедрения технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов от загрязнений является среднее увеличение восковитости сырья в результате очистки (табл. 7.6) [258, 267].

Таблица 7.6 – Результаты производственных испытаний установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов

№ стр.	Показатели	Ед. изм.	Значение	Расчет
1	2	3	4	5
1	Установленная мощность	кВт	0.05	-
2	Продолжительность 1 цикла очистки	ч	0.1	-
3	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	кг	0.5	-
4	Расход воды за 1 цикл	м ³	0.007	-
5	Удельный расход воды	м ³ /кг	0.014	(4)/(3)

Продолжение таблицы 7.6

1	2	3	4	5
6	Производительность процесса очистки	кг/ч	5	(3)/(2)
7	Энергоемкость	кВт·ч/кг	0.01	(1)/(6)
8	Переработано рамок	шт.	11	-
9	Переработано сырья всего	кг	5.5	-
10	Масса сырья после очистки и просушивания	кг	4.3	-
11	Убыль сырья в результате очистки	кг	1.2	(8)-(9)
12	Убыль сырья в результате очистки	%	21.82	(10)*100/(8)
13	Восковитость исходного сырья (средняя)	%	54	-
14	Восковитость очищенного сырья (средняя)	%	72	-
15	Среднее увеличение восковитости сырья	%	18	(13)-(12)

В результате проведенных в соответствии с операциями технологии гидровибрационной очистки пчелиных сотов производственных исследований количество органических загрязнений, содержащиеся в очищенном восковом сырье, варьирует в диапазоне от 1,29 % до 1,3 %. Показатель содержания воска в измельченной массе воскового сырья вырос до 18 % (приложение П).

Эффект от вторичного использования очищенных сотов для закладки в гнезда в настоящем исследовании не оценивается.

7.6. Расчет суммы капитальных вложений для внедрения устройств очистки воскового сырья

Провести достоверный экономический анализ, позволяющий определить сумму капитальных затрат на приобретение нового оборудования, весьма непросто. Неизвестна рыночная стоимость оборудования, поэтому наиболее целесообразным представляется просуммировать все затраты на изготовление всех составных элементов и деталей как серийного производства, так и специализированного. В стоимость капитальных затрат войдут также суммарные затраты на электроэнергию [181, 264].

С наиболее высокой достоверностью возможно вычислить суммарные затраты по известной формуле:

$$C_{\Pi} = C_M + C_{СИ} + C_{ЗИ} + C_{ОТ} + C_{Э} \quad (7.1)$$

где C_M – сумма денег, израсходованная на закупку необходимых материалов; $C_{СИ}$ – сумма денег, израсходованная на закупку серийно выпускаемых деталей; $C_{ЗИ}$ – сумма денег, потраченная на приобретение специализированно изготавливаемых деталей; $C_{ОТ}$ – сумма денежных средств, образующая зарплатный фонд; $C_{Э}$ – сумма денег, потраченная на оплату электроэнергии.

Для определения точной величины стоимости оборудования необходимо установленную расчетами себестоимость увеличить на процент ставки, средний по банкам (21...23%):

$$C_Y = C_{\Pi} \cdot (1 + 0,22) \quad (7.2)$$

Для конечного расчета балансной стоимости разрабатываемого и внедряемого в производство оборудования, дополнительно увеличим расчетную стоимость на показатель, учитывающий непроизводственные затраты на установку, наладку и т.д.:

$$K = C_Y \cdot k \quad (7.3)$$

В соответствии с представленной методикой выполнен расчет суммы капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых установок. По состоянию на 2019 год, сумма оценочная стоимость установки для очистки воскового сырья составляет 27500 руб., и установки для гидровибрационной очистки сотов 18000 рублей.

7.7. Определение показателей экономической эффективности внедрения в производство очистки воскового сырья от загрязнений

Получены в ходе исследования в условиях пасеки результаты. Был произведен необходимый расчет экономических показателей опытных образцов разработанного и изготовленного оборудования для водной очистки воскосырья перемешиванием (пат. РФ №2656968, №2672403) и гидровибрационной очистки пчелиных сотов (пат. РФ №2662169, №2634432).

Объем сырья, перерабатываемый хозяйством из выбракованных сотов за год, составит [182, 186]:

$$V = n \cdot m_c, \quad (7.4)$$

где n – количество выбракованных за год соторамок, шт.; m_c – средняя масса сотов в одной соторажке (принимается 0,5 кг).

Количество соторамок, отбираемых за год с одного улья для переработки, принимается равным 5.

В приведенном экономическом расчете термин «производительность» имеет следующие терминологические характеристики: производительность, как пропускная способность каждой машины, и производительность технологическая, как эффект от работы системы. Первое понятие используется для определения энергоемкости и годовой нормативной нагрузки, второе – для расчета трудоемкости и годовых затрат труда.

Производительность оборудования Q_o (кг/ч) определяется:

$$Q_o = \frac{M}{t_o}, \quad (7.5)$$

где M – количество загрязненного воскового сырья, очищаемого за один период очистки, кг; t_o – продолжительности рабочего периода очистки загрязненного воскового сырья, ч.

Производительность технологического цикла $Q_{ц}$ (кг/ч) определяется:

$$Q_{ц} = \frac{M}{t_{ц}}, \quad (7.6)$$

где $t_{ц}$ – продолжительности работы оборудования в одном цикле, ч.

Показатель, наиболее приемлемый для сравнения машин и оборудования с энергетической точки зрения – удельная энергоемкость E (кВт·ч/кг) – определяется:

$$E = \frac{N}{Q_o}, \quad (7.7)$$

где N – активная мощность, требуемая для работы электропривода установки, кВт;

Годовая нормативная нагрузка для работы оборудования U (ч/год) определяется:

$$U = \frac{V}{Q_o} \quad (7.8)$$

Трудоемкость выполнения технологических операций T (чел·ч/кг) определяется [219]:

$$T = \frac{n}{Q_{ц}}, \quad (7.9) [219]$$

где n – численность персонала, чел.

Затраты труда на годовой объем работ t (чел·ч/год) определяются:

$$t = T \cdot V \quad (7.10)$$

Прямые годовые затраты Z (руб./год) на технологическую операцию очистки воскового сырья перед вытопкой воска определяется суммированием следующих элементов: суммы годового объема амортизационных отчислений A (руб./год); объема денежных отчислений, выделяемых на техническое обслуживание, ремонт, хранение производственного оборудования Z_{PTO} (руб./год); затрат денежных средств на оплату потребленной электроэнергии $Z_{Э}$ (руб./год); затрат денежных средств на оплату труда оператора Z_T (руб./год); суммы годовых расходов на воду Z_w (руб./год):

$$Z = A + Z_{PTO} + Z_{Э} + Z_T + Z_w \quad (7.11)$$

Для расчета суммы годовой амортизации A (руб./год) использовали метод списания стоимости пропорционально объему продукции [314]:

$$A = U \cdot h_A, \quad (7.12)$$

где h_A – часовая амортизация, руб./час.

Величина часовой амортизации h_A (руб./час) рассчитывается как отношение суммы капитальных вложений к произведению продолжительности производственной эксплуатации, принимаемой на основе средних статистических данных по рекомендуемым срокам эксплуатации сельскохозяйственных машин и оборудования равным 8 годам (в пчеловодстве в среднем 210 дней рабочих в год) и продолжительности рабочего дня (8 часов):

$$h_A = \frac{K}{8 \cdot 210 \cdot 8} \quad (7.13)$$

Сумма годовых затрат на ремонт и ТО Z_{PTO} (руб./год) определяется по нормативу годовых затрат (8%):

$$Z_{PTO} = K \cdot 0,08 \quad (7.14)$$

Сумма годовых затрат на электроэнергию $Z_{\text{Э}}$ (руб./год) определяется:

$$Z_{\text{Э}} = V \cdot E \cdot \text{Ц}_{\text{Э}}, \quad (7.15)$$

где $\text{Ц}_{\text{Э}}$ – тариф на электроэнергию для сельхозпредприятий (в 2019 году 4,5 руб./кВт·ч).

Сумма годовых расходов на оплату труда Z_T (руб./год) определяется произведением годовых затрат труда t (чел·ч/год) на часовую ставку оператора $C_{\text{ч}}$ (руб/чел·ч) с учетом дополнительной заработной платы и отчислений на социальные нужды (10% и 30% соответственно) [255, 263]:

$$Z_T = t \cdot C_{\text{ч}} \cdot 1.1 \cdot 1.3, \quad (7.16)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая ставка оператора, руб/чел·ч.

Часовая ставка оператора определяется на основании методики, описанной в [277].

Годовой расход воды W , м³/год (для технологии гидровибрационной очистки) составит:

$$W = V \cdot w, \quad (7.17)$$

где w – удельный расход воды, м³/кг.

Сумма годовых затрат на воду рассчитывается для экономического обоснования внедрения технологии и установки гидровибрационной очистки пчелиных сотов и определяется произведением годового расхода на тариф:

$$Z_B = W \cdot \text{Ц}_B, \quad (7.18)$$

где Ц_B – тариф на воду, руб./м³.

В экономическом обосновании внедрения технологии и установки для очистки воскового сырья (пат РФ №2672403) затраты на воду не учитываются,

поскольку удельный расход воды для сравниваемого и предлагаемого оборудования примерно одинаковый.

Рассчитаем показатели экономической эффективности по результатам первого сравнительного испытания. Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_Г$ (руб./год) от внедрения в производство предлагаемой технологии и установки для очистки воскового сырья определяется как разница прямых годовых затрат по сравниваемому и предлагаемому оборудованию [317]:

$$\mathcal{E}_Г = Z_C - Z_{II}, \quad (7.19)$$

где Z_C – прямые годовые затраты, рассчитанные на основе серийно выпускаемых машин и оборудования, руб./год; Z_{II} – прямые годовые затраты по разрабатываемому и внедряемому в производство оборудованию, руб./год.

Относительная величина годового экономического эффекта $\mathcal{E}_Г$ (%) определяется отношением абсолютной величины годового экономического эффекта $\mathcal{E}_Г$ (руб./год) к сумме прямых годовых затрат по сравниваемому оборудованию Z_C (руб./год):

$$\mathcal{E}_{Г\%} = \frac{Z_C - Z_{II}}{Z_C} \cdot 100\% = \frac{\mathcal{E}_Г}{Z_C} \cdot 100\% \quad (7.20)$$

Годовой объем сырья корректируется на величину потерь из-за убыли растворимых загрязнений и потерь, связанных с фильтрованием [196, 202].

Иначе рассчитывается годовой экономический эффект по результатам второго сравнительного испытания. В предлагаемой технологии по сравнению с традиционной добавляется целая технологическая операция, связанная с использованием специализированного оборудования – гидровибрационной установки (пат. РФ №2634432). Это заведомо влечет увеличение прямых годовых затрат Z (руб./год) по сравнению с традиционной технологией. Поэтому годовой экономический эффект G (руб./год) от внедрения в производство технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов определяется как разница между валовой прибылью по сравниваемой и предлагаемой технологии. Эта разница связана с увеличением выхода воска из очищенного воскового сырья. При этом годовой объем

перерабатываемого сырья также корректируется на величину потерь из-за убыли растворимых загрязнений и потерь сырья в результате разрушения восковой основы под действием вибрации.

$$V^* = V \cdot (100 - l - p) / 100, \quad (7.21)$$

где V^* – скорректированный с учетом потерь годовой объем переработки, кг/год;

l – норма потерь сырья в результате удаления водорастворимых компонентов, %;

p – норма потерь сырья в результате разрушения восковой основы, %.

Прогнозируемый годовой объем производства воска (с учетом потерь) B (кг/год) [315, 316]:

$$B = V^* \cdot \frac{b}{100}, \quad (7.22)$$

где b – норма выхода воска из сырья с заданной восковитостью, %.

Валовая выручка G_R (руб/год):

$$G_R = P \cdot B, \quad (7.23)$$

где P – рыночная цена на воск, руб.;

Валовая прибыль G_P (руб/год):

$$G_P = G_R - Z \quad (7.24)$$

Годовой экономический эффект G (руб/год):

$$\mathcal{E}_G = G_{P2} - G_{P1} \quad (7.25)$$

где $G_{P1,2}$ – годовая валовая прибыль соответственно по сравниваемой и предлагаемой технологиям (руб/год).

Годовой экономический эффект в относительном выражении к валовой прибыли по сравниваемой технологии $\mathcal{E}_{G\%}$, %:

$$\mathcal{E}_{G\%} = \frac{\mathcal{E}_G}{G_{P2}} \cdot 100 \quad (7.26)$$

Срок окупаемости D (лет) внедрения в производство предлагаемых технологий и установок для очистки воскового сырья (RU2672403) и гидровибрационной

очистки пчелиных сотов (RU2634432) определяется отношением суммы капиталовложений K , руб. к годовому экономическому эффекту \mathcal{E}_r , руб./год:

$$D = \frac{K}{\mathcal{E}_r} \quad (7.27)$$

Расчет показателей экономической эффективности проводили с использованием табличного редактора Excel из пакета MS Office. В приложении М представлены результаты расчета показателей внедрения установки для очистки воскового сырья при величине пасеки 100 и 400 пчелосемей. В приложении Н – расчет показателей для гидровибрационной установки. Результаты расчета основных показателей экономической эффективности сведены в таблицу 7.7.

Годовой экономический эффект от внедрения в производство технологии и установки для очистки воскового сырья при размере пасеки 100 пчелосемей составил 7050 рублей, срок окупаемости капитальных вложений составил 4 года. При величине пасеки 400 пчелосемей аналогичные показатели составят 20800 руб. и 1,3 года соответственно.

Годовой экономический эффект от внедрения в производство технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов при размере пасеки 100 семей составил 2420 рублей, срок окупаемости капитальных вложений составил 7,5 лет. При величине пасеки 400 пчелосемей – соответственно 14000 рублей и 1,3 года.

В таблице 7.7 представлены результаты аналогичного расчета показателей экономической эффективности внедрения установки для очистки воскового сырья (Сравнительное испытание 1) и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов (Сравнительное испытание 2) для различных размеров пасеки – от 30 до 600 пчелосемей.

На рис. 7.10 представлены графические зависимости срока окупаемости предлагаемых установок от величины пасеки.

Таблица 7.7 – Результаты расчета показателей экономической эффективности для различных размеров пасеки

Количество пчелосемей	Показатели	Ед. изм.	Сравнительное испытание 1	Сравнительное испытание 2
30	Годовой эффект	руб./год	3 846	-
	Годовой эффект	%	44.61%	-
	Срок окупаемости	лет	7.15	-
50	Годовой эффект	руб./год	4 762	-
	Годовой эффект	%	42.31%	-
	Срок окупаемости	лет	5.77	-
100	Годовой эффект	руб./год	7 053	2 419
	Годовой эффект	%	39.53%	11.73%
	Срок окупаемости	лет	3.90	7.44
200	Годовой эффект	руб./год	11 633	6 278
	Годовой эффект	%	37.52%	15.22%
	Срок окупаемости	лет	2.36	2.87
300	Годовой эффект	руб./год	16 214	10 136
	Годовой эффект	%	37.70%	17.38%
	Срок окупаемости	лет	1.70	1.78
400	Годовой эффект	руб./год	20 795	13 995
	Годовой эффект	%	37.26%	17.96%
	Срок окупаемости	лет	1.32	1.29
500	Годовой эффект	руб./год	25 375	17 854
	Годовой эффект	%	35.99%	17.31%
	Срок окупаемости	лет	1.08	1.01
600	Годовой эффект	руб./год	29 956	21 713
	Годовой эффект	%	35.80%	17.55%
	Срок окупаемости	лет	0.92	0.83

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, а также предприятиям, специализирующимся на переработке продуктов пчеловодства. Окупаемость установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов характерна при размере пасеки от 100 пчелосемей, поэтому данную технологию и установку можно рекомендовать средним и крупным пчеловодческим хозяйствам, комбинатам, а также предприятиям-переработчикам продукции пчеловодства [219].

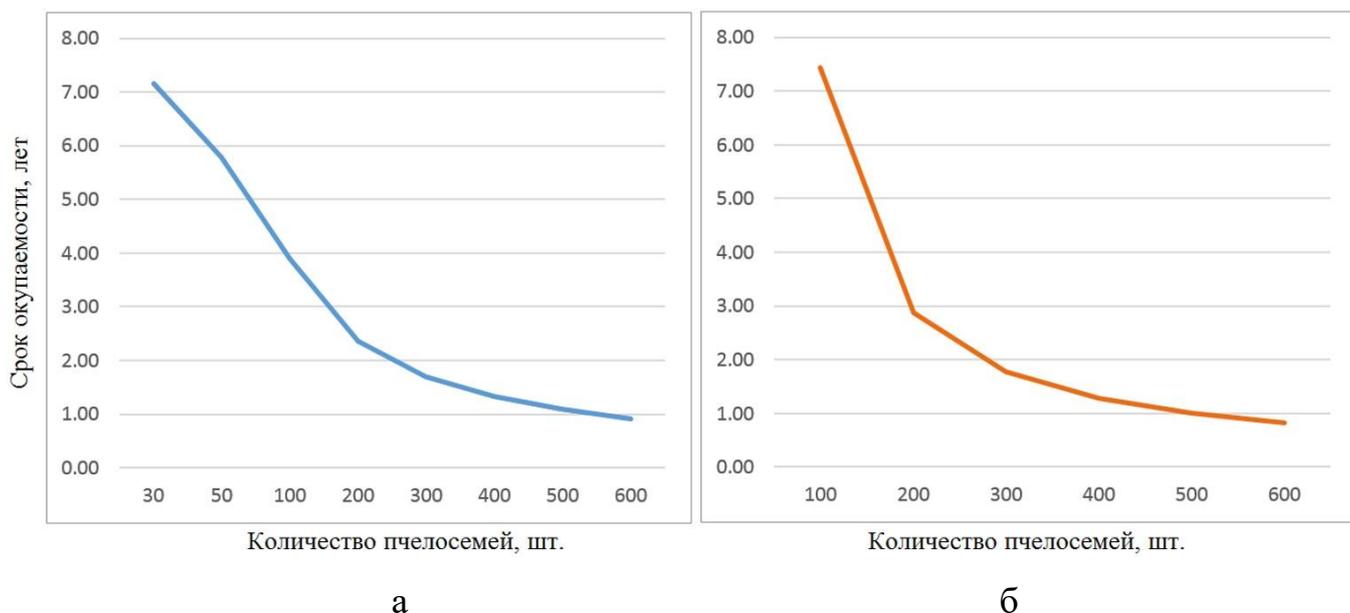


Рисунок 7.10 – Зависимость срока окупаемости внедрения установки для очистки воскового сырья (а) и установки для гидровибрационной очистки сотов (б) от размера пасеки

Опытные образцы оборудования прошли успешные исследования в производственных условиях и внедрены в агропромышленных предприятиях Рязанской области. Приложение Р.

Результаты исследований используются в учебном процессе высших учебных заведений. Приложение С.

Выводы по главе 7

1. Основным фактором экономической эффективности от внедрения технологии и установки для очистки воскового сырья от загрязнений (пат. РФ №2656968, №2672403) является сокращение суммарного времени на выполнение технологических операций, связанных с обслуживанием и подготовкой оборудования, перезагрузкой измельченного сырья в перемешивающий аппарат, а также с выгрузкой очищенного воскового вороха на фильтровальное сито. Общая экономия времени на выполнение 1 цикла технологического процесса составляет 0,4 часа. Это достигается также за счет большей производительности измельчающего устройства. В совокупности указанные факторы приводят к снижению трудоемкости выполняемых операций в сравнении с применением для данных целей комплекта

стандартного оборудования, состоящего из штифтового измельчителя АИП-10 и перемешивающего аппарата ЭкоПром-60. Основным фактором экономической эффективности внедрения технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов от загрязнений (пат. РФ №2662169, №2634432) является среднее увеличение восковитости сырья в результате очистки, а как следствие – увеличение нормы выхода воска при перетопке.

2. В результате проведенного производственного исследования с использованием предлагаемой технологии и установки для очистки воскового сырья (пат. РФ №2656968, №2672403) установлено, что остаточная загрязненность воскового сырья органическими загрязнениями не превышает 0,89 %. Приращение восковитости сырья в результате очистки составляет 16 %. Среднее увеличение восковитости воскового сырья в результате гидровибрационной очистки (пат. РФ №2662169, №2634432) составляет 18%. Остаточная загрязненность сотов пергой после очистки не превышает 1,3 %.

3. Годовой экономический эффект от внедрения в производство технологии и установки для очистки воскового сырья при размере пасеки 100 пчелосемей составил 7050 рублей, срок окупаемости капитальных вложений составил 4 года. При величине пасеки 400 пчелосемей аналогичные показатели составят 20800 руб. и 1,3 года соответственно. Годовой экономический эффект от внедрения в производство технологии и установки для гидровибрационной очистки пчелиных сотов при размере пасеки 100 семей составил 2420 рублей, срок окупаемости капитальных вложений составил 7,5 лет. При величине пасеки 400 пчелосемей – соответственно 14000 рублей и 1,3 года.

4. Предлагаемая технология и установка для очистки воскового сырья может быть рекомендована всем пчеловодческим хозяйствам, в том числе и мелким, с размером пасеки от 30 пчелосемей, а также предприятиям, специализирующимся на переработке продуктов пчеловодства. Технологию и установку для гидровибрационной очистки пчелиных сотов можно рекомендовать средним и крупным пчеловодческим хозяйствам, с размером пасеки от 100 пчелосемей, а также организациям, специализирующимся на переработке воска.

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 ($d_r \geq 6 \text{ мм}$) требуется более 10 мин.

Получена теоретическая модель, определяющая рациональное соотношение диаметров измельчающего устройства $D_{\text{и}}$ и диаметра камеры диспергирования $D_{\text{п}}$. 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аветисян Г.А. Пчеловодство / Г.А. Аветисян. – М.: Изд-во «Колос», 1982. – 309 с.
2. Авроров В.А. Диагностика, ремонт, монтаж, сервисное обслуживание оборудования пищевых производств: Учебник / Авроров В.А., Тутов Н.Д., Николаев В.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый оскол: «ГНТ», 2017. – 664 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. – М.: Изд-во «Наука», 1976. – 279 с.
4. Анализ технико-технологических решений производства зерносеялки в условиях Северо-Западного региона / М. В. Тимофеев, Н. Г. Малков, А. Н. Перекопский [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 1(110). – С. 120-133. – DOI 10.24412/2713-2641-2022-1110-120-133.
5. Анализ молотильно-сепарирующих устройств комбайнов семеноводческого назначения / Э. В. Жалнин, Г. Г. Шматко, С. А. Овсянников [и др.] // Сельский механизатор. – 2023. – № 4. – С. 2-3. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-4-2-3.
6. Астрацкене, А.Э. Что мы знаем о перге. / А.Э Астрацкене, К.В. Кадзядскене // Пчеловодство. – 1990. – №7. – С.30–32.
7. Ахметова Л.Т. Применение акустического воздействия для сушки биологически активных препаратов // Л.Т. Ахметова и др. // Вестник Казанского технологического университета, 2011, №15. С. 165-168.
8. Ахметова Л.Т. Продукты пчеловодства как биологически активные средства и альтернативные продукты питания / Л.Т. Ахметова и др. // Вестник Казанского технологического университета, 2011. № 15. С. 154-160.
9. Бабаджанова, З. Х. Продукты пчеловодства и медицина : Лечебные и профилактические свойства продуктов пчеловодства / З. Х. Бабаджанова, И.

Д. Кароматов, Д. Ж. Халимова. – Mauritius : LAP LAMBERT, 2020. – 332 с. – ISBN 978-620-2-92382-8.

10. Басов А.М. Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве / А.М. Басов, А.Т. Шаповалов, С.А. Кожевников. – М.: Изд-во «Колос», 1972. – 472 с.

11. Батищева, Н. В. К методике исследований физико-механических свойств пивной дробины / Н. В. Батищева, Р. А. Блинков, Ю. А. Киров // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 28–29 октября 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 12-15.

12. Белик Э.В. Пчеловод, словарь-справочник / Э.В. Белик – Ростов-на-Дону: «Феникс», 2007 – 432с.

13. Биргер Т.А. Остаточные напряжения. М.: МАШГИЗ, 1963. 231 с.

14. Боголюбов, Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1958. - 408 с.

15. Богомолов, М.Н. Влияние удара просеиваемых частиц о кромку отверстия на эффективность просеивания / М.Н. Богомолов, В.В. Гортинский // Труды ВНИИИЗ, М.: 1963, вып. 46, С.55–67.

16. Борщев В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие / В.Я. Борщев. - Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. - 75с.

17. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш / Л.: Химия, 1984. - 336 с.

18. Брусникин, Д.Е. Электрические машины, часть 2 / Д.Е. Брусникин, А.Е. Зарохович, В.С. Хвостов. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1987. – 336 с.

19. Будникова Н.В. Антиоксиданты в продуктах пчеловодства / Н.В. Будникова, Л.А. Бурмистрова, Л.В. Репникова // Пчеловодство. -2018. -№ 3. - С. 54-56.
20. Будникова Н.В. Витамин А в продуктах пчеловодства / Н.В. Будникова, Л.В. Репникова, Л.А. Бурмистрова // Пчеловодство. -2017.- № 7. - С. 48-49.
21. Буренин К.В. Обоснование параметров измельчителя перговых сотов: автореферат дис... кандидата технических наук: 05.20.01 - Рязань, 2017. - 17 с.
22. Буренин, Н.Л. Справочник по пчеловодству / Н.Л. Буренин, Г.Н. Котова. – М.: Изд-во «Колос», 1984. – 310с.
23. Бурмистрова Л.А. Проблемы пчеловодства в Российской Федерации / Л.А. Бурмистрова, Ю.В. Докукин, Л.В. Прокофьева // Ветеринария и кормление. - 2018. - №2. - С.21-24.
24. Бутенин, Н.В. Введение в теорию нелинейных колебаний / Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.Л. Фуфаев. - М., 2000. - 385 с.
25. Бышов Д.Н. Вибрационная очистка пчелиных сот от загрязнений // Сельский механизатор. 2017. № 1. С. 34-35.
26. Бышов Д.Н. Вибрационная установка для извлечения перги из сотов и очистки воскового сырья от загрязнений / Д.Е. Каширин [и др.] // В сборнике: Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ. 2019. С. 99-102.
27. Бышов Д.Н. Исследование адгезионных свойств перги, содержащейся в пчелиных сотах / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов, В.В. Павлов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 7 (106). С. 174-178.

28. Бышов Д.Н. Исследование влияния влажности и температуры на прочностные свойства перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, В.В. Павлов, А.В. Куприянов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 1 (112). С. 97-101.

29. 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.

30. Бышов Д.Н. Исследование влияния концентрации измельченного воскового сырья на эффективность его очистки в воде механизированным способом // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК Материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринск, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. 2018. С. 27-30.

31. Бышов Д.Н. Исследование гранулометрического состава загрязненного воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. 2016. С. 463-465.

32. 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.

33. Бышов Д.Н. Исследование изменения температуры перги в процессе вакуумной инфракрасной сушки / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.С. Морозов, В.П. Воронов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 2 (38). С. 69-72.

34. Бышов Д.Н. Исследование конструктивно-технологических параметров измельчителя перговых сотов / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, Н.В. Ермаченков, В.В. Павлов // В сборнике: Инновационные направления развития

технологий и технических средств механизации сельского хозяйства материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. Воронеж, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. 2015. С. 116-119.

35. Бышов Д.Н. Исследование механизированного процесса очистки перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, В.В. Коченов // В сборнике: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы XII Международной научно-практической конференции молодых учёных. В 2-х томах. Великие Луки, ФГБОУ Великолукская ГСХА. 2017. С. 28-33.

36. 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.

37. Бышов Д.Н. Исследование процесса механической очистки перговых гранул от органических оболочек / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, Н.В. Ермаченков, В.В. Павлов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (113). С. 73-77.

38. 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.

39. 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.

40. Бышов Д.Н. Исследование рабочего процесса измельчителя перговых сотов / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, Н.В. Ермаченков, В.В. Павлов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 8 (107). С. 155-159.

41. Бышов Д.Н. Исследование теплофизических свойств пчелиных сотов / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, И.А. Успенский, С.С. Морозов, В.Ю. Чухланов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (145). С. 146-153.

42. Бышов Д.Н. Исследование технологического процесса измельчителя воскового сырья // В сборнике: Наука и инновации: векторы развития. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах. Барнаул, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ. 2018. С. 9-13.

43. Бышов Д.Н. Исследование энергосберегающих режимов работы вибрационного решета при разделении на фракции смеси моно- и полидисперсных сыпучих продуктов сельского хозяйства / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, А.В. Протасов, М.Н. Чаткин, И.И. Гришин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2017. № 4 (36). С. 86-91.

44. Бышов Д.Н. Исследование эффективности очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, М.Б. Угланов, Б.А. Нефедов, В.А. Макаров, С.Д. Полищук // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 12 (135). С. 115-122.

45. Бышов Д.Н. К вопросу вакуумной инфракрасной сушки перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, С.С. Морозов, А.В. Протасов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 1 (29). С. 56-59.

46. Бышов Д.Н. К вопросу влияния загрязнений, содержащихся в пчелиных сотах, на выход товарного воска / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Образование, наука, практика: инновационный аспект. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. 2015. С. 280-282.

47. Бышов Д.Н. К вопросу гидровибрационной очистки пчелиных сотов от загрязнений / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Протасов // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Материалы 68-й Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2017. С. 77-80.

48. Бышов Д.Н. К вопросу исследования зависимости выхода пчелиного воска от качества воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2020. № 1 (10). С. 81-85.

49. Бышов Д.Н. К вопросу механизации очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 45-48.

50. Бышов Д.Н. К вопросу механизации процесса переработки выбракованных пчелиных сотов // В сборнике: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2017. С. 44-47.

51. Бышов Д.Н. К вопросу механизированной очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Аграрная наука в инновационном развитии АПК Материалы международного молодежного аграрного форума. Сборник научных статей. Под редакцией В.А. Бабушкина. 2018. С. 49-55.

52. Бышов Д.Н. К вопросу механической очистки перговых гранул / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, В.В. Коченов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2017. № 2 (34). С. 57-61.

53. Бышов Д.Н. К вопросу определения прочностных свойств перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, А.В. Протасов, С.С. Морозов // В сборнике: Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. Воронеж, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. 2015. С. 113-116.

54. Бышов Д.Н. К вопросу очистки воскового сырья от загрязнений: вероятностная модель процесса измельчения пчелиных сотов / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин., В.В. Павлов, А.А. Петухов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (144). С. 141-147.

55. Бышов Д.Н. К вопросу очистки воскового сырья от загрязнений: моделирование процесса растворения перги в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (143). С. 150-156.

56. Бышов Д.Н. К вопросу профилактики белкового голодания пчел / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Современному АПК – эффективные технологии материалы. Международной научно-практической конференции. Ижевск, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. 2018. С. 69-72.

57. Бышов Д.Н. К вопросу энергосберегающей сушки перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, М.А. Милютин, С.С. Морозов // В сборнике: Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии, и системы сельскохозяйственного производства. Сборник научных трудов. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2016. С. 160-162.

58. Бышов Д.Н. Обоснование режимов очистки перги от загрязнений / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, Н.В. Ермаченков, В.В. Павлов // В сборнике: Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически

устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства
Сборник научных трудов. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2016. С. 162-164.

59. Бышов Д.Н. Определение энергоёмкости процесса вакуумной инфракрасной сушки перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.С. Морозов, А.В. Протасов, А.А. Петухов // В сборнике: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2017. С. 48-50.

60. Бышов Д.Н. Очистка измельченного воскового сырья в воде механизированным способом // Сельский механизатор. 2018. № 2. С. 24-25.

61. Бышов Д.Н. Повышение качества перги путем механической очистки / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, В.В. Коченов // В сборнике: Проблемы и решения современной аграрной экономики Материалы конференции. П. Майский, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2017. С. 19-20.

62. Бышов Д.Н. Промышленная технология получения перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, И.И. Ерёмин, Т.Н. Четвертакова, М.П. Шиндин // В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2018. С. 96-99.

63. Бышов Д.Н. Рациональные режимы циклической конвективной сушки перги в соте / Д.Е. Каширин, Д.Н. Бышов, С.Н. Гобелев, Ю.В. Якунин // Сельский механизатор. 2016. № 12. С. 36-37.

64. Бышов Д.Н. Результаты многофакторного экспериментального исследования дисперсионных свойств перги / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (125). С. 115-121.

65. 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.

66. 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.

67. Бышов Н.В. Вопросы теории механизированной технологии извлечения перги из перговых сотов. / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Монография. – Рязань: Изд-во РГАТУ – 2012. – 113с.

68. Бышов Н.В. Исследование гигроскопических свойств перги / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин, М.Н. Харитоновна // Вестник КрасГАУ – 2013. – №2. – С.122-124.

69. Бышов Н.В. Исследование отделения перги от восковых частиц / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Техника в сельском хозяйстве – 2013. – №1. – С.26-27.

70. Бышов Н.В. Исследование процесса получения воска из воскового сырья различного качества / Н.В. Бышов и др. // Вестник КрасГАУ. - Выпуск 6 - Красноярск, 2015. - С. 145-149.

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

72. Бышов, Д. Н. Исследование условий разрушения воскового сырья в процессе вибрационной очистки / Д. Н. Бышов // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве : Сборник научных трудов международной научно-практической онлайн конференции, посвященной 10-летию образования Бухарского филиала Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Курск, 25–26 сентября 2020 года / Отв. редактор Т.Х. Жураев. – Курск: "Дурдона" ("Sadriddin Salim Buxoriy" Durdona nashriyoti), 2020. – С. 21-23.

73. 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.
74. 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.
75. Васильев В.Н. Технология сушки. Основы тепло и массопереноса: учебник для вузов / В.Н. Васильев, В.Е. Куцакова, С.В. Фролов – СПб.: «ГИОРД», 2013. – 224 с.
76. Васильцов Э.А. Аппараты для перемешивания жидких сред / Э.А. Васильцов, В.Г. Ушаков / Справочное пособие. - Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1979. - 272 с.
77. Вахонина Т.В. Единство продуктов пчеловодства/ Т.В. Вахонина // Пчеловодство. - 1989. - №10. - с. 32-34.
78. Вахонина Т.В. Пчелиная аптека / Т.В. Вахонина. - С-Петербург: Лениздат, 1992. - 188 с.
79. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 187 с.
80. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1. Колебания линейных систем / Под ред. В.В. Болотина. 1978. 352 с., ил.
81. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979 – Т.2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. 1979. 351 с., ил.
82. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. Совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1980 – Т.3. Колебания машин,

конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. 1980. 544 с., ил..

83. 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.

84. Воробьева, С. Л. Влияние дигидрокверцетина на медовую и восковую продуктивность пчелиной семьи / С. Л. Воробьева, М. И. Васильева, Д. В. Якимов // Пчеловодство. – 2020. – № 6. – С. 14-16.

85. Восковые добавки MÜNZING CHEMIE GmbH // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2015. – № 11. – С. 15-17.

86. Гальперин Д.М. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств / Д.М. Гальперин, Г.В. Миловидов – М.: «Агропромиздат», 1990. – 399 с.

87. Гидроциклон-сгуститель навозных стоков / Ю. А. Киров, Н. П. Крючин, Д. Н. Котов [и др.] // Сельский механизатор. – 2023. – № 6. – С. 22-24. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-22-23-24.

88. Гнатовская, Е. Н. Косметические средства на основе продуктов пчеловодства (воска и меда) / Е. Н. Гнатовская // Медовый край - медовая Россия: история, традиции, современные тенденции пчеловодства : Материалы III Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, Уссурийск, 10 февраля 2023 года. – Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 84-89.

89. Гребенников Е. Пчеловодство. Универсальный справочник / Е. Гребенников. - М.: Книжный дом, 2011. - 736 с.

90. Григорян А.А. Влияние влажности и температуры на прочностные свойства гранул перги / А.А. Григорян // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов. Часть 1 – Казанский ГСХИ, 1990 – С. 82–83.

91. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода / С. Н. Редников, В. Ф.

Сторчевой, Е. Н. Ахмедьянова, Т. И. Матвеева // *Агроинженерия*. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 71-77. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-2-71-77. – EDN QRECUX.

92. Джабборов, Н. И. Научные принципы формирования машинных технологий производства продукции растениеводства / Н. И. Джабборов, Д. А. Максимов, А. В. Добринов // *АгроЭкоИнженерия*. – 2022. – № 1(110). – С. 102-120. – DOI 10.24412/2713-2641-2022-1110-102-120.

93. Дорохов, А. С. Результаты исследований процесса очистки клубней картофеля и корнеплодов моркови с использованием ультразвука / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 2(50). – С. 6-14. – DOI 10.18286/1816-4501-2020-2-6-14.

94. Дорохов, А. С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения / А. С. Дорохов, Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка // *Агроинженерия*. – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 14-25. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-4-14-25.

95. Дробышев В.К. Азбука пчеловодства / В.К. Дробышев – М: «Авеонт», 2006 – 480 с.

96. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов деталей машин: Учебное пособие для студентов технических специальностей вузов. 8-е изд. / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – М: «Академия», 2004 – 496с.

97. Емельянова, Ф.Н. Организация переработки сельскохозяйственной продукции / Ф.Н. Емельянова, Н.К. Кириллов. - М.: Экмос, 2000. - 384 с.

98. Жичкин, К. А. Квантитативные ограничения в сельском хозяйстве России / К. А. Жичкин, Ю. А. Киров, Л. Н. Жичкина // *Аграрный вестник Верхневолжья*. – 2024. – № 2(47). – С. 93-101. – DOI 10.35523/2307-5872-2024-47-2-93-101. – EDN GJGGGZ.

99. Зарецкий Н.Н. Пособие для начинающего пчеловода / Н.Н. Зарецкий. - М.: Моск. Рабочий, 1985. - 159 с.

100. Звонарев Н.М. Азбука эффективного пчеловодства. Организация пасеки. Содержание, разведение, болезни пчел. Продукты пчеловодства / Н.М. Звонарев. - М.: Центрполиграф, 2010. - 128 с.
101. Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс /А.Д. Зимон. – М.: Агропромиздат, 1985. – 272с.
102. Иваненко Т.П. Заготовка и хранение перги / Т.П. Иваненко // Пчеловодство. - 1960. - №5. - С. 43.
103. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник, 9-е изд / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов – М: «Высшая школа», 2005 – 408 с.
104. Ивашевская Е.Б. Экспертиза продуктов пчеловодства /Е.Б. Ивашевская, О.А. Рязанова, В.И. Лебедев // Безопасность. - 2020. - №3. - С 392.
105. Ивашевская Е.Б. Экспертиза продуктов пчеловодства. Качество и безопасность : учебник / Е.Б. Ивашевская, О.А. Рязанова, В.И. Лебедев, В.М. Позняковский. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 384 с.
106. Ивлев А.Н. Из кельи восковой. / А.Н. Ивлев. – Л.: Лениздат, 1985. – 224 с.: ил.
107. Иойриш Н.П. Продукты пчеловодства и их использование/ Н.П. Иойриш. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 175 с.: ил.
108. Иойриш, Н. П. Пчелы - человеку / Н.П. Иойриш. - М.: Наука, 2005. - 184 с.
109. Ионов В.Н. Динамика разрушения деформированного тела / В.Н. Ионов, В.В. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
110. Ишемгулов, А. М. Лечебно-профилактическая косметика с продуктами пчеловодства / А. М. Ишемгулов, З. Р. Хисматуллина // Пчеловодство. – 2020. – № 9. – С. 42-44.
111. Ишкильдин А.Т. Технологическое обоснование производства экологически чистых продуктов пчеловодства: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.02.04 Уфа, 2004 - 135 с.: ил.

112. Ишкильдин А.Т. Технологическое обоснование производства экологически чистых продуктов пчеловодства: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.02.04 Уфа, 2004 - 24 с.

113. 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.

114. К вопросу прессования воскового сырья в процессе вытопки / В. Д. Хмыров, Т. В. Гребенникова, П. Ю. Хатунцев, А. Н. Тимофеев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 4(28). – С. 102-106.

115. Кавецкий Г.Д. процессы и аппараты пищевых производств / Г.Д. Кавецкий, А.В. Королёв – М.: «Агропромиздат», 1991. – 432с.

116. Кавецкий Г.Д. Технологические процессы и производства (пищевая промышленность) / Г.Д. Кавецкий, А.В. Воробьёва – М.: «КолосС», 2006. – 368с.

117. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин / Учебник для вузов - 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепечатано с изд. 1973 г. - М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. - 753 с.

118. Касьянов А.И. Соты – основа гнезда пчелиной семьи / А.И. Касьянов, В.И. Лебедев // Пчеловодство. – 2014. - № 4. – С. 52-55.

119. Каширин Д.Е. Исследование массы и геометрических параметров перги и перговых сотов / Д.Е.Каширин // Вестник КрасГАУ. 2010. №5. С. 152 - 154.

120. Каширин Д.Е. Исследование некоторых прочностных характеристик восковой основы пчелиных сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Вестник КрасГАУ. 2011. №8. С. 199 - 202.

121. Каширин Д.Е. Исследование пластических свойств восковой основы пчелиных сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Актуальные

проблемы и их инновационные решения в АПК: сборник научных трудов, посвященный 60-летию инженерного факультета. Рязань, 2011. – С.84–86.

122. Каширин Д.Е. Исследование работы штифтового измельчителя при измельчении перговых сотов / Д.Е. Каширин // Инновации молодых ученых и специалистов: материалы международной науч. – практич. конф. – Рязань.: РГСХА, 2006. – С. 475–477.

123. Каширин Д.Е. Исследование энергосберегающего способа очистки пчелиных сотов от загрязнений / Д.Н. Каширин, В.В. Павлов, А.В. Куприянов / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 24-25 ноября 2016 г. - Рубцовский индустриальный институт. - Рубцовск, 2016. - С. 245-247.

124. Каширин Д.Е. К вопросу определения прочности восковой основы пчелиных сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве: сборник научных трудов Международной науч.-практич. конф. Рязань, 2011. – С. 105-107.

125. Каширин Д.Е. К вопросу отделения перги из измельченной воскоперговой массы / Д.Е. Каширин // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №1. – С.138–139.

126. Каширин Д.Е. К вопросу очистки суши пчелиных сотов от загрязнений перед перетопкой / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию института механики и энергетики 16-19 октября 2012, г. Саранск, 2012. – С.235-236.

127. Каширин Д.Е. Обоснование рациональных конструктивно-технологических параметров измельчителя воскового сырья / Д.Е. Каширин и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 4. С. 96-103.

128. Каширин Д.Е. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин // Роль молодых ученых в реализации национального проекта развитие АПК: материалы Международной науч.-практич. конф. – Москва: 2007. – С.200-201.
129. Каширин, Д. Е. Технология и устройство для измельчения перговых сотов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Каширин Дмитрий Евгеньевич. – Рязань, 2001. – 182 с.
130. Каширин Д.Е. Усовершенствование технологического процесса отделения перги от восковых частиц / Д.Е. Каширин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина. – 2009. – №4 (35). – С.24–26.
131. Каширин Д.Е. Установка для извлечения перги из ячеек пчелиного сота / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №7. – С. 26–28.
132. Каширин Д.Е. Феноменологическая модель массопереноса. / Д.Е. Каширин, М.В. Ильин // Межвузовский сборник: математические методы в научных исследованиях. – Рязань: РГРТУ, 2010. – С. 25–31.
133. Каширин, Д. Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Каширин Дмитрий Евгеньевич. – Рязань, 2013. – 474 с.
134. Кашковский В.Г., Орлов А.С. Производство воска на пасеке. – М.: Россельхозиздат, 1973. – 39 с.
135. Киров, Ю.А. Определение влияния частоты электромагнитного индуктора на время нагрева контура аппарата индукционного типа для вытопки воска / Ю.А. Киров, С.В. Машков, Е.В. Кудряков, В.А. Сыркин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4. – С. 55-61.
136. Киров, Ю. А. Насос-понтон для гомогенизации и перекачки навозных стоков из лагун-навозохранилищ / Ю. А. Киров, В. Ю. Киров, А. А.

Рябцев // Сельский механизатор. – 2024. – № 9. – С. 25-27. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-9-25-26-27.

137. Киров, Ю. А. Очистка навозных стоков в центрифуге / Ю. А. Киров, В. А. Киров, Ю. З. Кирова // Актуальные проблемы природопользования и природообустройства : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 ноября 2020 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – С. 60-63. – EDN VZIXJT.

138. Клайн С. Дж. Подобие и приближенные методы. М.: Мир, 1968. 302 с.

139. Ключко, Р. Т. Борьба с большой восковой молью на пасеках / Р. Т. Ключко, С. Н. Луганский, А. В. Блинов // Пчеловодство. – 2019. – № 3. – С. 34-36.

140. Коваленко М.В. Совершенствование технологии извлечения перги из пчелиных сотов с обоснованием параметров и режимов работы центробежного скари-фикатора: автореферат дис.... кандидата технических наук: 05.20.01 - Мичуринск, 2016. - 22 с.

141. Коварский Е.М. Испытание электрических машин / Е.М. Коварский, Ю.И. Янко – М.: Энергопромиздат, 1990. – 320 с.

142. Колтовская Е.В. Исследование способов скарификации перговых сотов / Е.В. Колтовская [и др.] // В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2019. С. 203-206.

143. Комлацкий В.И. Пчеловодство / В.И. Комлацкий, С.В. Логинов, С.А. Плотников. - М.: Феникс, 2009. - 416 с.

144. Константинов Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: / Учебн. для вузов: В 2 ч. Ч. 2. Специальные вопросы / Н.М. Константинов, Н.А. Петров, Л.И. Высоцкий; под ред. Н.М. Константинова. – М.: «Высшая школа», 1987 – 431с.

145. Конструктивные особенности устройств для оценки усилия резания корнеклубнеплодов при их измельчении / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, Р. В. Шарипов [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 1(46). – С. 38-43. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-1-38-43.
146. Космович Е.К. Перга из выбракованных сотов / Е.К. Космович // Пчеловодство. – 1981. – №4. – С.5.
147. Костюк, М. В. Анализ показателей качества воска пчелиного в 2016-2018 гг / М. В. Костюк, О. О. Застулка, О. Є. Галатюк // Ветеринарна біотехнологія. – 2020. – № 37(37). – С. 44-50. – DOI 10.31073/vet_biotech37-05.
148. Костюкова, Е. И. Особенности учета затрат и калькулирования себестоимости продукции в пчеловодстве / Е. И. Костюкова, Х. А. Лорсанова // Экономика и социум. – 2015. – № 6-1(19). – С. 55-59.
149. Котова Г.Н. 500 вопросов и ответов по пчеловодству / Г.Н. Котова, И.Д. Лысов, В.П. Королев. - М.: Прометей, 1992. - 128 с.
150. Кочерга О.И. Экономические основы развития регионального рынка пчелопродуктов: На материалах Новосибирской области: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.05 - Новосибирск, 2005. - 26 с.
151. Кривцов Н.И. Получение и исследование продуктов пчеловодства / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев – М.: Изд-во «Нива России», 1993. – 285с.
152. Кривцов Н.И. Энциклопедия пчеловодства / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев, Г.Ф. Таранов. – М.: Изд-во «Информагромакс», 1997. – 401с.
153. Кривцов, Н. И. Состояние и стратегия развития пчеловодства России / Н. И. Кривцов // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 10. – С. 27-29.
154. Крижан В. 1000 вопросов и ответов из пчеловодства / Пер. со словац. В. Останина. - Алма-Ата : Кайнар, 1979. - 287 с. : ил.
155. Крылов П. Технология производства продукции пчеловодства по законам природного стандарта / А.Г. Маннапов и др. - Москва: Мир, 2016. - 192 с.

156. Крылов. П. Пчеловодство. Полный справочник / П. Крылов. - М.: Клуб семейного досуга, 2014. - 831 с.
157. Кудряков, Е. В. Индукционное устройство для вытопки воска / Е. В. Кудряков // Сельский механизатор. – 2022. – № 6. – С. 26-27.
158. Кудряков, Е.В. Устройство индукционного типа для вытопки воска / Е.В. Кудряков // Сельский механизатор: научно-произв. журнал. – 2022. – № 6. – С. 26-27. Патенты на изобретение
159. Кузьмин Б.А. Технология металлов и конструкционные материалы: Учебник для машиностроительных техникумов / Б.А. Кузьмин и др.; под общ. ред. Кузьмина Б.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1989. – 496 с.
160. Ларин, А.В. Технология извлечения перги из пчелиных сотов с разработкой установки для их скарификации: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Ларин Александр Васильевич. - Рязань, 2007. - 173 с.
161. Латышев Д.Е. Пасека в теплице. // Д.Е. Латышев, Н.Н. Зарецкий. – М.: Изд-во «Московский рабочий», 1967. – 256 с.
162. Лебедев В.И. Научно обоснованная технология получения перги на пасеке / В.И. Лебедев, М.Н. Харитонова // В сборнике: Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. 2016. С. 122-129.
163. Лебедев В.И. Научно обоснованный регламент производства биологически активных, экологически чистых продуктов пчеловодства / В.И. Лебедев, М.Н. Харитонова // В сборнике: Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии. 2017. С. 27-36.
164. Лебедев В.И. Научно обоснованный регламент производства продуктов пчеловодства / В.И. Лебедев, М.Н. Харитонова // Пчеловодство. - 2017. - №2. - С. 27-36.
165. Лебедев В.И. Основные задачи по развитию пчеловодства России на ближайшее десятилетие / В.И. Лебедев, Ян. Л. Шагун // В сборнике: Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии. 2018 С.7-11.

166. Лебедев В.И. Перга и её заготовка на пасеке / Лебедев В.И. // «Пчеловодство», 2005 - №6 – с.27-28.

167. Лебедев В.И. Состояние и стратегия развития Российского пчеловодства / В.И. Лебедев, Л.В. Прокофьева, Ю.В. Докукин, Ян. Л. Шагун // В сборнике: Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии. 2017 С.3-7.

168. Липатов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств /Н.Н. Липатов – М.: Изд-во «Экономика», 1987. – 272 с.

169. Лобачевский, Я. П. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 6-10. – DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.

170. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950. – 676 с.

171. Лукоянов В.Д. Пчеловодный инвентарь, пасечное оборудование / В.Д. Лукоянов, В.Н. Павленко. - М.: Агропромиздат, 1988. - 160 с.

172. Львовский Е.Н. Статические методы построения эмпирических формул /Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 240 с.

173. Магнус, К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. Пер. с нем. - М.: Мир, 1982. - 304 с.

174. Маделунг О. Теория твёрдого тела: Пер. с нем. / Под ред. А.И. Ансельма. – М.: «Наука. Главная редакция физико-математической литературы», 1980. – 416 с.

175. Мамонов, Р. А. Теоретическо-экспериментальное исследование машин для получения перги: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мамонов Роман Александрович, 2018. – 354 с. – EDN WWWKGF.

176. Марч Н., Паринелло М. Коллективные эффекты в твёрдых телах и жидкостях: Пер. с англ. – М.: «Мир». 1986. – 320с.

177. Мачичка М. Пчеловодное оборудование, инвентарь и их самодельное производство / М. Мачичка. - М.: Природа, 1988. - 512 с.
178. Мегель А.Г., Полищук В.П. Пчеловодство: Учебник / Пер. с укр. Р.Д. Барган, Никитиной Л.П. – К: «Высшая школа», Головное изд-во, 1990. – 325 с.
179. Медовые ресурсы, нектарные цветы и некоторые медовые растения / А. Шарипов, А. Х. Абдурасулов, С. Бахтиори, Ш. Бехрузчон // Вестник Ошского государственного университета. – 2021. – № 1-2. – С. 483-489. – DOI 10.52754/16947452_2021_1_2_483.
180. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Изд-во «Колос», 1980. – 126 с.
181. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.
182. Механизация и автоматизация технологических процессов растениеводства и животноводства / Е. В. Янзина, М. А. Канаев, А. С. Грецов [и др.]. – Кинель : Издательско-библиотечный центр Самарского ГАУ, 2022. – 195 с. – ISBN 978-5-88575-667-9.
183. Механизация пчеловодства. - М.: Бибком, 2005. - 584 с.
184. Минделл Э. Справочник по витаминам и минеральным веществам. Перевод с английского / Э. Минделл – М: «Медицина», 2000 – 432с.
185. Мишин И.Н. Теоретические, технологические и экологические аспекты разведения, содержания пчелиных семей и производства продуктов пчеловодства: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.02.04. - Москва, 2006. - 317 с.: ил.

186. Мищенко, В.А. Организация заготовок и переработки сельскохозяйственной продукции / В.А. Мищенко, Л.В. Мищенко. - М.: Издательство Гревцова, 2008. - 344 с.

187. Моик И.Б. Термо и влагометрия пищевых продуктов: Справочник / И.Б. Моик – М.: «Агропромиздат», 1988. – 304с.

188. Мосолов А. А. Инновационные способы повышения эффективности производства, переработки и использования продуктов пчеловодства: диссертация ... доктора биологических наук: 06.02.10 - Волгоград, 2014. - 370 с.: ил.

189. Мурашова Е.А. Биотехнологические аспекты производства экологически

чистых продуктов пчеловодства: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.02.04. - Рязань, 2004. - 123 с.: ил.

190. Мурашова, Е. А. Факторы, влияющие на кристаллизацию меда натурального / Е. А. Мурашова, Ю. О. Ляшук // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 21–24 июня 2021 года / Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Бюро новостей", 2021. – С. 203-208.

191. Нагаев, Н. Б. Совершенствование процесса вытопки воска с обоснованием параметров центробежного агрегата: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нагаев Николай Борисович, 2016. – 247 с. – EDN TKUAGK.

192. Назаров Г.И. Электропривод и применение электрической энергии в сельском хозяйстве / Г.И. Назаров. – М.: Изд-во «Колос», 1972. –436с.

193. Налимов В.В. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.В. Налимов. – М.: Изд-во «Металлургия», 1982. – 750с.

194. Научные основы процесса смешивания лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем в технологии производства комбикормов / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, О. Н. Дидманидзе, А. Д. Обухов // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 3. – С. 7-16. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-72-3-7-16.
195. Наумкин, В. П. Содержание тяжелых металлов в воске / В. П. Наумкин // Пчеловодство. – 2023. – № 10. – С. 51-52.
196. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 3(309). – С. 2-12. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-3-2-11.
197. Некрашевич В.Ф. Исследование механизированной технологии извлечения перги из перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин, С.В. Винокуров // Сборник научных трудов по пчеловодству. – Орел. 2003. – С.95 – 99.
198. Некрашевич В.Ф. Механизированное извлечение перги / В.Ф. Некрашевич, А.В. Ларин, Т.В. Торженова // «Пчеловодство», 2008 - №8 – с.50-51.
199. Некрашевич В.Ф. Промышленная технология получения перги / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин // Передовые технологии в пчеловодстве. Материалы научно-практической конференции 19 ноября 2002 г. – Рыбное. 2003. – С.93 – 95.
200. Некрашевич В.Ф. Технология, средства механизации и экономика производства перги / Некрашевич В.Ф. и др. – Рязань; Изд-во «ФГБОУ ВО РГАТУ», 2013 – 102 с.
201. Некрашевич В.Ф., Кирьянов Ю.Н. Механизация пчеловодства. – Рязань, 2005. – 291 с.
202. Некрашевич В.Ф., Мамонов Р.А., Некрашевич С.В., Торженова Т.В. Развитие производства перги в России // Пчеловодство, № 6, 2010. – С. 48-49.

203. Некрашевич, В.Ф. Агрегат АИП-10 для извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.Ф. Извлечение перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, С.А. Стройков, В.И. Бронников // Пчеловодство. - 1988. - № 10. - С. 29-30.
204. Новожилов В.В. Микронапряжения в конструкционных материалах / В.В. Новожилов, Ю.И. Кадашевич – Л.: «Машиностроение». Ленингр. Отделение, 1990. – 223с.
205. Нормов Д. А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.02 - Краснодар, 2008. - 340 с.: ил.
206. Обеспеченность сельскохозяйственной техникой и государственная поддержка ее приобретения / К. А. Жичкин, Ю. А. Киров, Л. Н. Жичкина, К. В. Титоренко // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 2(39). – С. 114-120. – DOI 10.35523/2307-5872-2022-39-2-114-120.
207. Обморшев, А.Н. Введение в теорию колебаний / А.Н. Обморшев. - М.: Наука, 1965. - 276 с.
208. Обоснование параметров СВЧ установки для вытопки пасечного воска / А. В. Шевелев, М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой [и др.] // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 3(18). – С. 112-120.
209. Обоснование собственной добротности резонаторов СВЧ-установок для вытопки пасечного воска / А. В. Шевелев, О. В. Михайлова, Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 8(190). – С. 124-130.
210. Олейник В.С. Практикум по основам электропривода / В.С. Олейник. –М.: Колос, – 1967. – 274 с.
211. Ольховский И. И. Курс теоретической механики для физиков. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978 г, 575 с.: ил.
212. Орлов Б.Н. Цветочная пыльца – Обножка – Перга (монография) / Б.Н. Орлов, В.П. Егорашин – Нижний Новгород: Изд-во «НГСА», 2012 – 99с.

213. Определение основных параметров работы электроактиватора для обработки грубых кормов / В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, С. А. Андреев [и др.] // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 16 декабря 2020 года. – Москва: ЭЙПиСиПублишинг, 2020. – С. 563-568.

214. Осинцева, Л. А. Технология, показатели качества, безопасности и товароведная оценка продуктов пчеловодства : Учебное пособие / Л. А. Осинцева. – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. – 222 с. – ISBN 978-5-94477-119-3.

215. Особенности разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий / О. В. Михайлова, Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 12(139). – С. 54-65. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-12-54-65.

216. Полякова, А. А. Обоснование параметров смесителя концентрированных кормов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Полякова Анастасия Анатольевна. – Рязань, 2018. – 200 с.

217. Павлов В.В. Исследование влияния температуры на прочностные свойства восковой вошины / В.В. Павлов / Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Том II. - Пенза: РИО ПГСХА, 2015. - С. 261-262.

218. Павлов В.В. Исследование процесса растворения загрязняющих примесей воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / В.В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - №2 (34) - Рязань, 2017. - С. 126-132.

219. Павлов, В. В. Обоснование параметров устройства очистки воскового сырья: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации

сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Павлов Виктор Вячеславович, 2021. – 157 с. – EDN LXRRNN

220. Пат. № 183404 РФ. МПК F26B 9/06. Устройство для сушки перговых сотов / Д.Н. Бышов, В.Д. Липин – Заявл. 26.03.2018; опубл. 21.09.2018, бюл. № 27. – 6 с.

221. Пат. № 2171715 РФ. МПК B02C 13/284. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, Д.Е. Каширин. – Заявл. 05.07.1999; опубл. 10.08.2001, бюл. № 22. – 4 с.

222. Пат. № 2185726 РФ. МПК A01K 59/00. Способ извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров. – Заявл. 08.12.2000; опубл. 27.07.2002 Бюл. № 21. – 3 с.

223. Пат. № 2275800 РФ. МПК A01K 59/00. Установка для извлечения перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин. – Заявл. 28.12.2004; опубл. 10.05.2006, бюл. № 13. – 6 с.

224. Пат. № 2297763 РФ. МПК A01K 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин. – Заявл. 05.12.2005; опубл. 27.04.2007, бюл. № 12. – 4 с.

225. Пат. № 2302729 РФ. МПК A01K 59/00; B07B 1/40. Вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сот / Д.Е. Каширин, Н.Г. Кипарисов, А.М. Лавров. – Заявл. 14.11.2005; опубл. 20.07.2007, бюл. № 20. – 6 с.

226. Пат. № 2326531 РФ. МПК A01K 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Ларин, М.Е. Троицкая. – Заявл. 19.12.2006; опубл. 20.06.2008, бюл. № 17. – 4 с.

227. Пат. № 2367150 РФ. МПК A01K 59/00. Установка для извлечения перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин. – Заявл. 19.05.2008; опубл. 20.09.2009, бюл. № 26. – 7 с.

228. Пат. № 2412590 РФ. МПК A01K 59/00. Установка для извлечения и очистки перги из сотов / Д.Е. Каширин. – Заявл. 07.12.2009; опубл. 27.02.2011, бюл. № 6. – 9 с.

229. Пат. № 2578782 РФ. МПК F26B 9/06. Установка для сушки перги / Д.Е. Каширин [и др.] – Заявл. 16.03.2015; опубл. 27.03.2016, бюл. № 9. – 9 с.

230. Пат. № 2634432 РФ. МПК A01K 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. – 7 с.

231. Пат. № 2656968 РФ. МПК A01K 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. – 3 с.

232. Пат. № 2660575 РФ. МПК F26B 9/06. Установка для сушки перги / Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, Д.Н. Бышов, С.С. Морозов – Заявл. 12.09.2016; опубл. 06.07.2018, бюл. № 19. – 14 с.

233. Пат. № 2662169 РФ. МПК A01K 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. – 3 с.

234. Пат. № 2667734 РФ. МПК A01K 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. – 6 с.

235. Пат. № 2672403 РФ. МПК A01K 59/06. Установка для очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов [и др.] – Заявл. 05.02.2018; опубл. 14.11.2018, бюл. № 32. – 6 с.

236. Пат. № 2708918 РФ. МПК A01K 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.

237. Патент 206422 Российская Федерация, МПК A01K 59/04, A01K 59/06. Воскотопка с СВЧ-парогенератором / В.А. Сыркин, С.И. Васильев, Ю.А. Киров, Е.В. Кудряков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет; № 2021109692; заяв. 08.04.2021; опубл. 13.09.2021, Бюл. № 26. – 7 с.

238. Патент 211751 Российская Федерация, МПК А01К 59/06. Воскотопка с индукционным парогенератором / В.А. Сыркин, С.В. Машков, Ю.А. Киров, Е.В. Кудряков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет; № 2022106193; заяв. 10.03.2022; опубл. 21.06.2022, Бюл. № 18. – 7 с.

239. Патент № 2427428 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/08. измельчитель стебельчатых кормов: № 2010116792/21: заявл. 27.04.2010 : опубл. 27.08.2011 / А. А. Артюшин, Е. И. Резник, В. И. Еремченко [и др.]; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии).

240. Патент № 2714065 С1 Российская Федерация, МПК С02F 1/48. Устройство для очистки питьевых и сточных вод: № 2019120543: заявл. 02.07.2019: опубл. 11.02.2020 / В. Н. Топорков, А. Н. Васильев, В. А. Королев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

241. Патент № 2729493 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/00. Измельчитель плодоовощной продукции: № 2019142304: заявл. 16.12.2019: опубл. 07.08.2020 / А. И. Ряднов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ).

242. Патент № 2729524 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/00. Измельчитель плодоовощной продукции: № 2020106590: заявл. 11.02.2020: опубл. 07.08.2020 / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, А. К. Мамахай, А. В. Федоров; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ).

243. Патент № 2732560 С1 Российская Федерация, МПК F26В 17/12. Устройство двухпоточной сушки семян и зерна: № 2019126890: заявл. 26.08.2019: опубл. 21.09.2020 / А. Ю. Измайлов, С. А. Павлов, В. К. Пышкин [и

др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

244. Патент № 2740095 С1 Российская Федерация, МПК А01К 59/06. СВЧ-установка с взаимосвязанными цилиндрическими резонаторами для термообработки воскового сырья в непрерывном режиме: № 2020108478 : заявл. 26.02.2020 : опубл. 11.01.2021 / Г. В. Новикова, В. Ф. Сторчевой, А. В. Шевелев [и др.]; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ).

245. Патент № 2747285 С1 Российская Федерация, МПК А01F 29/00, В02С 18/00. Мобильный роботизированный измельчитель корнеклубнеплодов : № 2020132889 : заявл. 06.10.2020 : опубл. 04.05.2021 / А. К. Мамахай, М. Е. Чаплыгин, А. И. Ряднов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ".

246. Патент № 2757496 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/02. Измельчитель корнеклубнеплодов : № 2021111322 : заявл. 21.04.2021 : опубл. 18.10.2021 / С. А. Давыдова, А. И. Ряднов, И. А. Старостин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

247. Патент № 2764888 С1 Российская Федерация, МПК В01D 21/02, С02F 103/20, С02F 1/52. Отстойник : № 2021118258 : заявл. 23.06.2021 : опубл. 24.01.2022 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

248. Патент № 2769052 С1 Российская Федерация, МПК В04С 5/16. Гидроциклон-сгуститель : № 2021119916 : заявл. 07.07.2021 : опубл. 28.03.2022 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

249. Патент № 2770496 С1 Российская Федерация, МПК С11В 11/00, А01К 59/06. Установка СВЧ непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для вытопки пасечного воска с отделением меда : № 2021127581 : заявл. 21.09.2021 : опубл. 18.04.2022 / Г. В. Новикова, А. В. Шевелев, М. В. Просвирякова [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет.

250. Патент № 2781906 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/00. Измельчитель плодоовощной продукции : № 2022102970 : заявл. 07.02.2022 : опубл. 19.10.2022 / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, А. К. Мамахай ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет".

251. Патент № 2789490 С1 Российская Федерация, МПК С11В 11/00. Способ вытопки пасечного воска с отделением меда : № 2022111579 : заявл. 28.04.2022 : опубл. 03.02.2023 / Г. В. Новикова, А. В. Шевелев, М. В. Просвирякова [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет.

252. Патент № 2803541 С1 Российская Федерация, МПК С11В 11/00. СВЧ воскотопка непрерывно-поточного действия с тороидальным резонатором : № 2023104153 : заявл. 22.02.2023 : опубл. 14.09.2023 / Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет.

253. Патент на полезную модель № 206504 U1 Российская Федерация, МПК С02F 1/465, С02F 1/24, В03D 1/14. Флотатор : № 2021116451 : заявл. 07.06.2021 : опубл. 14.09.2021 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

254. Патент на полезную модель № 207554 U1 Российская Федерация, МПК В01D 21/02, С02F 103/02. Тонкослойный отстойник : № 2021116450 : заявл. 07.06.2021 : опубл. 01.11.2021 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

255. Петров, В.А. Программно-целевая организация производства и оперативного управления в условиях групповой технологии и гибких автоматизированных производств / В.А. Петров, А.Н. Масленников. - М.: Лениздат, 1984. - 176 с.

256. Петухов А.А. Теоретическое обоснование процесса гидроочистки воскового сырья / А.А. Петухов, Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин // В сборнике: Актуальные вопросы применения инженерной науки. Материалы Международной студенческой научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2019. С. 166-170.

257. Петухов А.А. Теоретическое исследование процесса измельчения воскового сырья / А.А. Петухов, Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин // В сборнике: Актуальные вопросы применения инженерной науки. Материалы Международной студенческой научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ РГАТУ. 2019. С. 163-166.

258. Плаксин Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «КолосС», 2007. – 760 с.

259. Подольский М.С. Промышленное пчеловодство / М.С. Подольский, Г.Н. Котова, Н.Л. Буренин - Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 286с.: ил.

260. Прокофьева, Л. В. Восковой баланс пасеки / Л. В. Прокофьева, Л. В. Репникова // Пчеловодство. – 2015. – № 6. – С. 52-55.

261. Развитие электроснабжения и применения электроэнергии в АПК / В. И. Трухачев, В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин [и др.]. – Москва : ООО «Мегаполис», 2022. – 250 с. – ISBN 978-5-6049928-3-8.

262. Разработка конструктивно-технологической схемы устройства для вытопки воска с СВЧ-парогенератором / Е. В. Кудряков, В. А. Сыркин, Т. С. Гриднева [и др.] // Актуальные вопросы агропромышленного комплекса России и За рубежом : материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию со дня рождения Заслуженного работника высшей школы РФ, профессора, доктора сельскохозяйственных наук Хуснидинова Шарифзяна Кадировича, Иркутск, 11 ноября 2021 года. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 277-281.

263. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 3(297). – С. 2-9. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-3-2-9.

264. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве (окончание) / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 4(298). – С. 2-6. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-4-2-6.

265. Репникова Л.В. Исследования витамина А в воске пчелином / Л.В. Репникова, Г.А. Седова, Л.А. Бурмистрова, Н.В. Будникова // В сборнике: АПИТЕРАПИЯ СЕГОДНЯ. материалы XVIII Всероссийской научной конференции. 2016. С. 85-89.

266. Репникова Л.В. Новый стандарт на восковое сырьё / Л.В. Репникова // Пчеловодство. № 8, 2010. – С. 50-51.

267. Ряднов, А. И. Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя корнеклубнеплодов / А. И. Ряднов,

О. А. Федорова, А. К. Мамахай // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 45-50. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-45-50.

268. Ряднов, А. И. Результаты исследований усилия резания кормовой свёклы при измельчении / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, А. К. Мамахай // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 3(63). – С. 356-366. – DOI 10.32786/2071-9485-2021-03-37.

269. Ряднов, А. И. Совершенствование конструкции измельчителя корнеклубнеплодов / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, А. К. Мамахай // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 3(118). – С. 40-51. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-3-40-51.

270. Рязанова О.А. Классификация восков / О.А. Рязанова // Пчеловодство. № 8, 2017. – с. 46-50.

271. Савинова, А. А. Пчелиный воск / А. А. Савинова, Ю. С. Халанская // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности : Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 25 апреля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2023. – С. 80-84.

272. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620546 Российская Федерация. Динамическое и статическое воздействие по разрушению комков почвы при уборке картофеля и корнеплодов : № 2023620171 : заявл. 30.01.2023 : опубл. 13.02.2023 / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

273. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. – 432 с.

274. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1988. – 432 с.

275. Смирнов В.М. Витаминно-минералдефицитные состояния / В.М. Смирнов // «Медицинская газета», 2009 – №13 – 11 с.
276. Соколов В.А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности / В.А. Соколов – М.: «Агропромиздат», 1991. – 445 с.
277. Сокольский С.С. / Научно обоснованная технология производства продуктов пчеловодства. // С.С. Сокольский, Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев. – Краснодар: «Агропромполграфист», 2000. – 254 с.
278. Сыроватка, В. И. Исследование кинетики движения ингредиентов лечебных кормов в шаровом смесителе / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, А. Д. Обухов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 2. – С. 59-63. – DOI 10.31857/S2500262721020125
279. Сыроватка, В. И. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, А. Д. Обухов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1(37). – С. 24-31. – EDN NMFZHP.
280. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. Под ред. Шупляка И.А. Л., «Химия», 1975. – 384 с.
281. Сторчевой, В. Ф. Параметры режима работы электроактиватора для дезинфекции и роста овощных растений / В. Ф. Сторчевой, Д. А. Гуров // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 63-68. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-2-63-68.
282. Таранов Г.Ф. Промышленная технология получения и переработки продуктов пчеловодства. – М.: Агропромиздат, 1987. – 319 с.: ил.
283. Темнов В.А. Переработка воскового сырья на пасеке. – М.: Россельхозиздат, 1966. – 98 с.
284. Темнов В.А. Технология продуктов пчеловодства. – М.: изд-во «Колос», 1967. – 192 с.
285. Теоретическое обоснование электродинамических параметров СВЧ-установки с полусферическими резонаторами для вытопки воска / А. В. Шевелев, М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 10(125). – С. 46-56. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-10-46-56.

286. Технология получения воска и переработки воскового сырья на пасаках. Рекомендации / Научно-исследовательский институт пчеловодства // Аграрная Россия. Информационный бюллетень 2000. №1. – С. 54-78.
287. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 с.
288. Тихомирова, Н. Справочник пчеловода / Н. Тихомирова. - М.: Фолио, 2013. - 230 с.
289. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд. 2-е допол. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953. – 680 с.: ил.
290. Торженова Т.В. Организационно-экономические аспекты эффективного производства перги (на материалах Рязанской области): автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.05 - Мичуринск - наукоград, 2010. - 22 с.
291. Укроженко, Д. С. Стандартизация продукции пчеловодства. Сырье восковое / Д. С. Укроженко, А. А. Чебыкина // Технологии животноводства: проблемы и перспективы, Екатеринбург, 28 февраля 2023 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 126-127.
292. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник / Р.А. Фатхутдинов. - М.: ИНФРА-М, 2000. - 672 с.
293. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий /А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1973. – 469 с.
294. Хайров, Б. Терминология пчеловодства в ингушском языке / Б. Хайров // Известия Ингушского научно-исследовательского института гуманитарных наук им. Ч. Ахриева. – 2013. – № 1. – С. 235-241.
295. Халифман И. Пчелы. Книга о биологии пчелиной семьи и победах науки о пчелах / И. Халифман. - М.: Государственное издательство культурно-просветительной литературы, 1996. - 254 с.

296. Харитоновна М.А. Совершенствование технологии получения, хранения и переработки перги: диссертация ... кандидата биологических наук: 06.02.10 Рыбное 2011 - 201 с.: ил.
297. Харченко Н.А. Пчеловодство: Учебное пособие для вузов / Н.А. Харченко, В.Е. Рындин – М: «АСТ», 2003 – 368с.
298. Харчук Ю.С. Мёд и продукты пчеловодства / Ю.С. Харчук– М: «Феникс», 2007 – 234с.
299. Чекотерите В.В. Изучение химического состава пыльцы /В.В. Чекотерите // Пчеловодство. – 1987. – №1. – С.12-13.
300. Чепик А.Г. Экономика и организация инновационных процессов в пчеловодстве и развитие рынка продукции отрасли: монография / А.Г. Чепик, В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженнова; Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2010. – 212 с.
301. Черевко Ю.А. Пчеловодство / Ю.А. Черевко, Г.А. Аветисян – М: «АСТ», 2003 – 368с.
302. Черкасова А.И. Словарь-справочник по пчеловодству / А.И. Черкасова, И.К. Давыденко– Киев: «Урожай», 1991 – 243с.
303. Чугаева, Н. А. Применение продуктов пчеловодства в косметике / Н. А. Чугаева, Т. М. Шишлова, Е. К. Мерлов // Пчеловодство Дальнего Востока вчера, сегодня, завтра : Материалы II регионального конкурса творческих работ, Уссурийск, 28–29 октября 2022 года / Отв. редактор И.И. Бородин. – Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 94-96.
304. Чудаков В.Г. Технология продуктов пчеловодства – Москва: Колос, 1979. –160 с.
305. Шаповалов Г.А. Технология промышленного производства биологически активных, экологически чистых продуктов пчеловодства. Автореф. дис. канд с/х наук. – Дивово, Рязанской области. – 2000. – 22 с.
306. Шарафутдинов, С. Р. Анализ рынка и тенденции развития отрасли пчеловодства / С. Р. Шарафутдинов // Развитие АПК и сельских территорий в

условиях модернизации экономики : Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора экономических наук, профессора Н.С. Каткова, Казань, 16–17 февраля 2023 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. – С. 356-362.

307. Шевелев, А. В. Обоснование производительности СВЧ установки для разделения воска и меда / А. В. Шевелев, О. В. Михайлова // Научное образование. – 2020. – № 3(8). – С. 257-260.

308. Шемякин А.В. Исследование производительности процесса вибрационной очистки пчелиных сотов / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 9(174). – С. 192-199.

309. Шемякин А.В. Аналитическое обоснование рационального режима вибрационного воздействия на пчелиные соты / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 142-147.

310. Шемякин А.В. Исследование энергосберегающей инфракрасной вакуумной сушки перги россыпью / А. В. Шемякин, Д. Е. Каширин, А. Н. Алексеев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 162-167.

311. Юдахина, М. А. Влияние перевозок пчел к посевам медоносов на эффективность пчеловодства / М. А. Юдахина // NEW SCIENCE RESEARCH - 2023 : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 22 мая 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 268-272.

312. Ярмош Г.С. Малая механизация на любительских пасеках // Г.С. Ярмош, А.Г. Ярмаш. – М.: Агропромиздат, 1991. – 332 с.

313. Assessment of the change in the pH of water in a flow electric activator / V. Storchevoy, M. Belov, D. Gurov [et al.] // Irrigation and Drainage. – 2024. – DOI 10.1002/ird.2938. – EDN ZHBJXK.

314. Bonnet R. Elastic field of a straight dislocation parallel to interfaces: a new approach // *Comptes Rendus Physique*. 2003. V. 4. № 8. P. 961–966.

315. 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 // *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. T. 14. № 4. C. 916-920.

316. 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] / .

317. Kirov, Yu. Results of experimental studies of a bioreactor for processing animal by-products / Yu. Kirov, V. Kopytin, A. Petushkov // *Science in the Central Russia*. – 2023. – No. 5(65). – P. 46-54. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-5-46-54. – EDN GABAJK.

318. Hosford, William F. 2005. "Residual Stresses." In *Mechanical Behavior of Materials*, 308-321. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-84670-7

319. Roy A., Acharya A. Finite element approximation of field dislocation mechanics // *J. Mech. and Phys. Sol.* 2005. V. 53. № 1. C. 143-170.

320. Shajer, Gary S. 2013. *Practical Residual Stress Measurement Methods*. Wiley. ISBN 978-1-118-34237-4

321. Wenning C.J. Pollen and the Honey Bee / C.J. Wenning // *American Bee Journal*. 2003. №5. C. 394-397.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Статистические данные характеризующие показатели составляющих
измельченного воскового сырья

Таблица А-1 – Статистические данные объемной массы органических
загрязнений воскового сырья

Средний размер частиц в массе d , мм	Результаты исследования показателя γ , г/дм ³		Объемная масса γ , г/дм ³
1.70	1105	1101	1105
3.70	882	887	884,7
5.70	667	658	664

Таблица А-2 – Статистические данные объемной массы фракций воскового
сырья полученных в результате измельчения

Средний размер частиц в массе d , мм	Результаты исследования показателя γ , г/дм ³		Объемная масса γ , г/дм ³
3	295	298	298
5.5	205	208.5	208.5
> 6	170	165.5	165.5

Приложение Б

Таблица Б-1 – План и результаты эксперимента по изучению растворимости органических загрязнений воскового сырья в воде при различных периодах выдержки в воде (X1), значениях температуры (X2), исходной влажности органических загрязнений (X3), среднего размера частиц (X4). Расчет однородности дисперсий по G-критерию Кохрена ($\alpha = 0,05$)

№ опыта	План				Масса навески M_n , г.			№ фильтра			Масса сухого фильтра M_{ϕ} , г.			Масса сухая фильтр+осадок $M_{\phi+o}$, г.			Процент перги, оставшейся в осадке (критерий оптимизации) P, %			Среднее P, %	Дисперсия σ^2
	X1	X2	X3	X4	повторности			повторности			повторности			повторности							
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
1	1	1	0	0	5.21	5.26	5.40	49	50	51	0.52	0.52	0.52	0.87	0.84	0.88	8.09	7.33	8.03	7.82	0.1799
2	1	-1	0	0	5.29	5	4.92	19	20	21	0.88	0.87	0.88	1.29	1.36	1.29	9.34	11.81	10.04	10.40	1.6193
3	-1	1	0	0	5.71	5.81	5.25	40	41	42	0.51	0.52	0.51	0.98	0.94	0.92	9.93	8.72	9.41	9.35	0.3685
4	-1	-1	0	0	5.21	5.1	5.56	1	2	3	0.87	0.88	0.87	1.45	1.35	1.4	13.41	11.10	11.49	12.00	1.5330
5	0	0	1	1	6.11	5.37	8.1	79	80	81	0.88	0.88	0.86	1.26	1.29	1.57	8.05	9.89	11.35	9.76	2.7293
6	0	0	1	-1	6.6	6.21	7.94	82	83	84	0.88	0.87	0.88	1.37	1.31	1.51	9.61	9.18	10.28	9.69	0.3064
7	0	0	-1	1	7.18	7.45	7.37	85	86	87	0.88	0.88	0.88	1.4	1.59	1.72	8.08	10.63	12.71	10.47	5.3846
8	0	0	-1	-1	8.68	7.53	9.34	88	89	90	0.87	0.88	0.87	1.05	1.42	1.55	2.31	8.00	8.12	6.14	11.0042
9	1	0	0	1	6.4	6.57	6.28	22	23	24	0.88	0.89	0.89	1.83	1.65	1.68	17.89	13.94	15.16	15.66	4.0856
10	1	0	0	-1	7.43	7.09	7.25	25	26	27	0.88	0.87	0.87	1.35	1.35	1.31	7.62	8.16	7.31	7.70	0.1827
11	-1	0	0	1	7.07	7.45	8.28	31	32	33	0.52	0.51	0.52	1.93	1.92	2.33	24.03	22.81	26.34	24.39	3.2222
12	-1	0	0	-1	6.43	6.53	6.45	76	77	78	0.87	0.85	0.88	1.33	1.33	1.31	8.62	8.86	8.03	8.50	0.1801
13	0	1	1	0	5.12	4.74	3.71	43	44	45	0.51	0.51	0.51	0.64	0.67	0.62	3.29	4.37	3.84	3.83	0.2948
14	0	1	-1	0	5.5	5.55	4.95	46	47	48	0.51	0.51	0.51	0.61	0.66	0.62	2.03	3.01	2.48	2.51	0.2438
15	0	-1	1	0	5.5	4.97	5.09	7	8	9	0.88	0.87	0.87	1.4	1.16	1.26	12.24	7.56	9.92	9.91	5.4929
16	0	-1	-1	0	5.07	5.14	5	10	11	12	0.87	0.87	0.88	1.16	1.16	1.19	6.38	6.29	6.91	6.53	0.1135
17	1	0	1	0	5.14	5.07	5.16	34	35	36	0.52	0.52	0.52	0.76	0.72	0.73	6.05	5.11	5.27	5.48	0.2515
18	1	0	-1	0	5.28	5.31	5.36	37	38	39	0.52	0.51	0.53	0.75	0.64	0.63	4.86	2.73	2.08	3.22	2.1096
19	-1	0	1	0	5.41	5.33	5.32	4	5	6	0.89	0.88	0.88	1.35	1.32	1.2	11.01	10.69	7.79	9.83	3.1495
20	-1	0	-1	0	5.12	5.48	6.23	28	29	30	0.88	0.88	0.88	1.03	1.12	1.15	8.27	9.88	9.83	9.33	0.8446
21	0	1	0	1	6.37	7.89	7.5	52	53	54	0.52	0.51	0.51	1.26	1.38	1.2	14.00	13.29	11.09	12.79	2.3055
22	0	1	0	-1	8.23	8.07	7.26	55	56	57	0.51	0.51	0.51	1.11	1.06	0.96	8.78	8.21	7.47	8.16	0.4354
23	0	-1	0	1	6.59	7.15	6.79	13	14	15	0.89	0.89	0.89	2.03	2.04	2	20.85	19.38	19.70	19.98	0.5931
24	0	-1	0	-1	7.12	7.08	6.99	16	17	18	0.89	0.89	0.87	1.43	1.4	1.46	9.14	8.68	10.17	9.33	0.5830
25	0	0	0	0	5.5	5.09	4.27	91	92	93	0.87	0.87	0.88	1.34	1.28	1.23	10.30	9.71	9.88	9.96	0.0925

Сумма построчных дисперсий = 47.3055

Максимальная построчная дисперсия = 11.0042

G-критерий Кохрена: $G_1 = 0.2326 < 0.2354 = G_{таб}(2, 24)$.

Неравенство выполняется. Дисперсии однородны.

Регрессионный анализ результатов трехфакторного эксперимента по определению влияния периода выдержки в воде (X1), величины температуры жидкости (X2), исходной влажности (X3) и среднего размера частиц (X4) на процент органических загрязнений, оставшихся в осадке (Y)

Исходные данные + ORIGIN := 1

Матрица уровней
варьирования факторов $F := \begin{pmatrix} 26 & 42 & 28 & 5.75 \\ 14 & 25 & 20 & 3.75 \\ 2 & 8 & 12 & 1.75 \end{pmatrix}$ $F1 := F^{(1)}$ $F2 := F^{(2)}$ $F3 := F^{(3)}$ $F4 := F^{(4)}$

Интервалы
варьирования факторов $\Delta 1 := F1_1 - F1_2$ $\Delta 2 := F2_1 - F2_2$ $\Delta 3 := F3_1 - F3_2$ $\Delta 4 := F4_1 - F4_2$
 $\Delta 1 = 12$ $\Delta 2 = 17$ $\Delta 3 = 8$ $\Delta 4 = 2$

План и данные эксперимента

$X1 :=$	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$X2 :=$	$\begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$X3 :=$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$X4 :=$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$Y0 :=$	$\begin{pmatrix} 8.09 & 7.33 & 8.03 \\ 9.34 & 11.81 & 10.04 \\ 9.93 & 8.72 & 9.41 \\ 13.41 & 11.1 & 11.49 \\ 8.05 & 9.89 & 11.35 \\ 9.61 & 9.18 & 10.28 \\ 8.08 & 10.63 & 12.71 \\ 2.31 & 8 & 8.12 \\ 17.89 & 13.94 & 15.16 \\ 7.62 & 8.16 & 7.31 \\ 24.03 & 22.81 & 26.34 \\ 8.62 & 8.86 & 8.03 \\ 3.29 & 4.37 & 3.84 \\ 2.03 & 3.01 & 2.48 \\ 12.24 & 7.56 & 9.92 \\ 6.38 & 6.29 & 6.91 \\ 6.05 & 5.11 & 5.27 \\ 4.86 & 2.73 & 2.08 \\ 11.01 & 10.69 & 7.79 \\ 8.27 & 9.88 & 9.83 \\ 14 & 13.29 & 11.09 \\ 8.78 & 8.21 & 7.47 \\ 20.85 & 19.38 & 19.7 \\ 9.14 & 8.68 & 10.17 \\ 10.3 & 9.71 & 9.88 \end{pmatrix}$
---------	---	---------	---	---------	---	---------	---	---------	---

Количество строк плана:

$n := \text{rows}(X1)$ $n = 25$

Количество повторностей опыта:

$m := \text{cols}(Y0)$ $m = 3$

$i := 1..n$

Раскодирование факторов:	Средние значения откликов		7.82
$x1_i := X1_i \cdot \Delta1 + F1_2$ $X1 := x1$	$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$		10.4
$x2_i := X2_i \cdot \Delta2 + F2_2$ $X2 := x2$	Единичный вектор: $L_i := 1$		9.35
$x3_i := X3_i \cdot \Delta3 + F3_2$ $X3 := x3$			12
$x4_i := X4_i \cdot \Delta4 + F4_2$ $X4 := x4$	Системная матрица (после исключения незначимых коэффициентов):		9.76
	$X := \text{augment} \left[L, X3, \begin{array}{c} \longrightarrow \\ (X1 \cdot X4) \end{array}, \begin{array}{c} \longrightarrow \\ (X2 \cdot X4) \end{array}, \begin{array}{c} \longrightarrow \\ (X3 \cdot X4) \end{array}, \begin{array}{c} \longrightarrow \\ (X3 \cdot X3) \end{array}, \begin{array}{c} \longrightarrow \\ (X4 \cdot X4) \end{array} \right]$		9.69
Количество оцениваемых параметров	$k := \text{cols}(X)$ $k = 7$ $j := 1..k$		10.47
МНК (метод наименьших квадратов)			6.14
Дисперсионная матрица	$C := (X^T \cdot X)^{-1}$		15.66
Оценки коэффициентов регрессии	$a := C \cdot X^T \cdot Y$	$a = \begin{pmatrix} -20.899905 \\ 2.94772 \\ -0.046867 \\ -0.032623 \\ -0.088402 \\ -0.062723 \\ 0.677007 \end{pmatrix}$	7.7
Оценки результатов	$y := X \cdot a$		24.39
Определение ошибки оценивания			8.5
Суммы квадратов отклонений			3.83
$Sd := \sum_{i=1}^n \left[m \cdot (Y_i - y_i)^2 \right]$	$Se := \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y0_{i,j} - Y_i)^2$		2.51
Числа степеней свободы	$\nu1 := n - k$ $\nu2 := n \cdot (m - 1)$		9.91
Несмещённая оценка дисперсии ошибок наблюдений		$s2 := \frac{Se}{m \cdot \nu2}$	6.53
Ковариационная матрица ошибок оценок параметров регрессии		$K := C \cdot s2$	5.48
Уровень значимости	$\alpha := 0.05$		3.22
Критическое значение распределения Стьюдента с $\nu2$ степенями свободы, соответствующее выбранному уровню значимости α		$tkp := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, \nu2\right)$	9.83
Доверительные интервалы для оценок a_j	$\Delta_j := tkp \cdot \sqrt{K_{j,j}}$		9.33
			12.79
			8.15
			19.98
			9.33
			9.96

$$\Delta = \begin{pmatrix} 4.053 \\ 0.412 \\ 9.744 \times 10^{-3} \\ 6.864 \times 10^{-3} \\ 0.039 \\ 0.01 \\ 0.107 \end{pmatrix} \quad |a_j| > \Delta_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

"0" - коэффициент a_j статистически незначим с доверительной вероятностью $1 - \alpha = 0.95$

"1" - коэффициент a_j статистически значим на уровне $\alpha = 0.05$

Проверка адекватности модели

$n > k + 1$ - условие применимости метода: "1" - метод применим; "0" - метод не применим.

Уровень значимости $\alpha := 0.01$

$F_{кр} := \text{root}(pF(x, \nu_1, \nu_2) - 1 + \alpha, x, 0, 10) \quad F_{кр} = 2.318$

$F := \frac{Sd \cdot \nu_2}{Se \cdot \nu_1} \quad F = 6.589$

$F < F_{кр} = 0$ ("1" - модель адекватна; "0" - модель не адекватна)

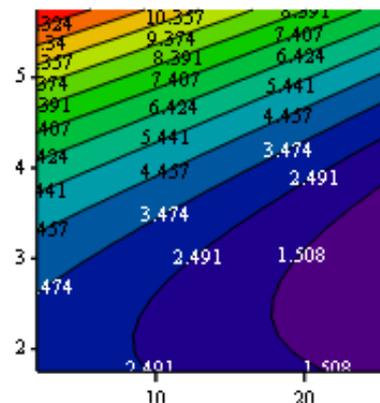
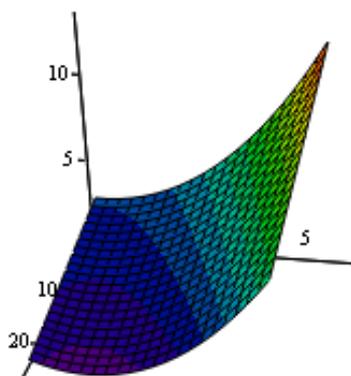
Уравнение регрессии $Z(x_1, x_2, x_3, x_4) := a_1 + a_2 \cdot x_3 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_4 + a_4 \cdot x_2 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_3 \cdot x_4 + a_6 \cdot x_3^2 + a_7 \cdot x_4^2$

Оптимизация результатов $x_1 := 20 \quad x_2 := 20 \quad x_3 := 20 \quad x_4 := 5$

Given $2 < x_1 < 26 \quad 8 < x_2 < 42 \quad 12 < x_3 < 28 \quad 1.75 < x_4 < 5.75$

$M := \text{Minimize}(Z, x_1, x_2, x_3, x_4) = \begin{pmatrix} 26 \\ 42 \\ 12 \\ 2.695 \end{pmatrix} \quad Z(M_1, M_2, M_3, M_4) = 0.522$

$Z_1(x_1, x_4) := Z(x_1, M_2, M_3, x_4)$



Численное моделирование времени измельчения пчелиных сотов

Исходные данные для расчета времени измельчения

Параметры измельчаемого материала

Первоначальный объем куска сотов (длина * ширина * толщина), м	$V := 0.05 \cdot 0.05 \cdot 0.03$
Длина ребра основания ячейки сотов (ребро правильного шестиугольника), м	$a := 0.0048$
Длина бокового ребра ячейки сотов (высота), м	$h := 0.0087$
Радиус чешуйки, аппроксимируемой кругом, м	$r := 0.0015$

Геометрия измельчителя

Диаметр рабочей камеры, м	$D := 0.19$
Высота рабочей камеры, м	$L := 0.3$
Диаметр штифта, м	$d := 0.01$
Длина штифта, м	$l := 0.095$
Толщина воздушно-продуктового слоя, м	$b := 0.04$

+

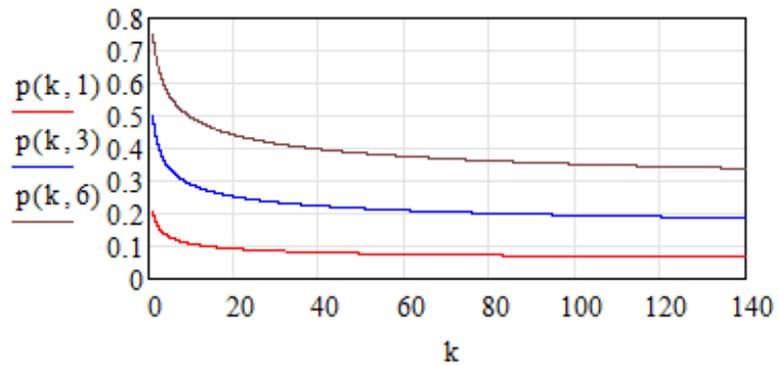
Расчет времени измельчения

Объем ячейки сотов, куб. м.	$v := 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot h$
Площадь полной поверхности ячейки сотов, кв. м.	$S := 6 \cdot a \cdot h + 6 \cdot \frac{2}{2} \cdot a^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$
Площадь восковой чешуйки, образуемой в результате измельчения кв. м.	$s := \pi \cdot r^2$
Количество отдельных ячеек в исходном куске сотов	$N_s := \text{round}\left(\frac{V}{v}\right)$
Общая эффективная площадь всех чешуек, кв. м.	$S_e := \frac{1}{2} \cdot S \cdot N_s = 0.027$
Оценка полного количества соударений	$N_u := \frac{S_e}{s} - 1 = 3.771 \times 10^3$
Линейный размер частицы (радиус шара), м	$\rho(k) := \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi \cdot k}}$

Вероятность разрушения частицы как функция $p(k,N)$ от мгновенного значения числа частиц k и количества установленных штифтов N

$$p(k, N) := 1 - \left[1 - \frac{(d + \rho(k)) \cdot \left[(1 + \rho(k))^2 - \left[1 + \rho(k) - \left(\frac{D}{2} - b \right) \right]^2 \right]}{L \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} - b \right)^2 \right]} \right]^N$$

$$k := 1, 1.01 \dots N_s$$



Среднее значение количества соударений на одном обороте

$$N_{st}(N) := \frac{1}{N_s} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} (i \cdot p(i, N))$$

Требуемое количество полных оборотов вала

$$N_{ob}(N) := \text{round} \left(\frac{N_u}{N_{st}(N)} \right)$$

Среднее время работы дробилки (сек.) как функция $t(n, N)$ от частоты вращения вала n и количества установленных штифтов N

$$t(n, N) := \left(N_{ob}(N) \cdot \frac{1}{n} \right)$$

$$n := 9, 9.01 \dots 33$$

Частные значения t , с.

$$t \left(\frac{600}{60}, 3 \right) = 26$$

$$t \left(\frac{1250}{60}, 3 \right) = 12.48$$

$$t \left(\frac{2000}{60}, 3 \right) = 7.8$$

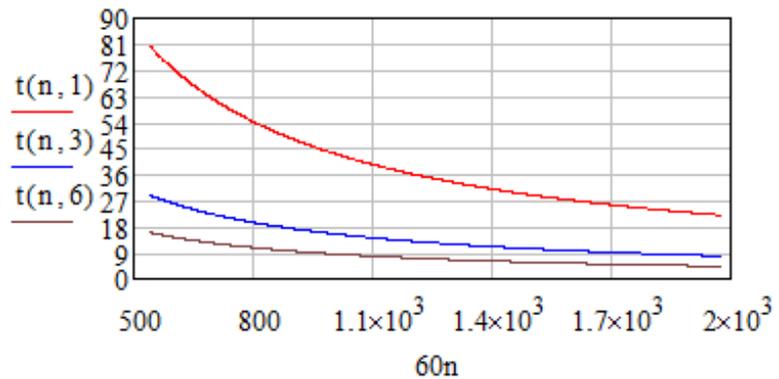


Таблица результатов и уровней варьирования факторов эксперимента, направленного на изучение влияния на критерий оптимизации (гранулометрический состав измельченного продукта) параметров измельчающего аппарата: габаритов бил (X1), их скорости (X3) и расстояния между ними (X2). В таблице представлена проверка соотношения дисперсий на однородность по G-критерию Кохрена на уровне $\alpha = 0,05$

№ опыта	План			Отклик P, %				
	X ₁	X ₂	X ₃	Повторности			Среднее	Дисп.
				1	2	3		
1	1	1	0	32.86	35.96	32.50	33.77	3.6134
2	-1	1	0	57.22	62.07	55.59	58.29	11.3525
3	1	-1	0	28.44	33.81	43.31	35.19	56.6569
4	-1	-1	0	55.56	63.24	51.37	56.72	36.2896
5	1	0	1	36.54	38.53	45.99	40.35	24.7977
6	-1	0	1	61.68	48.06	67.23	58.99	97.2475
7	1	0	-1	51.34	53.86	42.53	49.24	35.3614
8	-1	0	-1	67.81	60.88	80.04	69.58	94.1630
9	0	1	1	36.58	36.21	40.44	37.74	5.5004
10	0	-1	1	36.84	34.39	35.16	35.46	1.5672
11	0	1	-1	59.47	58.33	43.30	53.70	81.3951
12	0	-1	-1	46.04	38.10	50.68	44.94	40.4719
13	0	0	0	47.42	42.40	30.07	39.96	79.6876
14	0	0	0	44.00	39.98	46.89	43.62	12.0592
15	0	0	0	48.23	45.86	38.26	44.11	27.1357

Сумма всех дисперсий **607.299**
 Максимальная из построчных дисперсий **97.24747**

G-критерий Кохрена		соответствует		
$G_{0,05}(2, 15) = 0.335$	$G_1 = 0.16$	<	$G_{таб} = 0.3346$	

Основные результаты статистического анализа данных, полученных в результате проведения эксперимента, устанавливающего влияние на критерий оптимизации (гранулометрический состав измельченного продукта) параметров измельчающего аппарата: габаритов бил (X1), их скорости (X3) и расстояния между ними (X2)

Исходные данные

ORIGIN := 1

Матрица уровней варьирования факторов

$$F := \begin{pmatrix} 14 & 55 & 12 \\ 12 & 40 & 10.5 \\ 10 & 25 & 9 \end{pmatrix}$$

$$F1 := F^{(1)} \quad F2 := F^{(2)} \\ F3 := F^{(3)}$$

Интервалы варьирования факторов

$$\Delta 1 := F1_1 - F1_2 \quad \Delta 2 := F2_1 - F2_2 \quad \Delta 3 := F3_1 - F3_2 \\ \Delta 1 = 2 \quad \Delta 2 = 15 \quad \Delta 3 = 1.5$$

План и результаты эксперимента

$$X1 := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X2 := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X3 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 32.857 & 35.955 & 32.498 \\ 57.223 & 62.069 & 55.591 \\ 28.44 & 33.813 & 43.305 \\ 55.56 & 63.244 & 51.365 \\ 36.541 & 38.526 & 45.986 \\ 61.682 & 48.062 & 67.226 \\ 51.339 & 53.855 & 42.53 \\ 67.809 & 60.877 & 80.042 \\ 36.576 & 36.208 & 40.442 \\ 36.838 & 34.389 & 35.163 \\ 59.466 & 58.328 & 43.302 \\ 46.044 & 38.102 & 50.682 \\ 47.42 & 42.401 & 30.072 \\ 43.998 & 39.979 & 46.894 \\ 48.225 & 45.862 & 38.256 \end{pmatrix} +$$

Количество строк плана:

Количество повторностей опыта

$$n := \text{rows}(X1) \quad n = 15$$

$$m := \text{cols}(Y0) \quad m = 3$$

$$i := 1..n$$

Раскодирование факторов:

Средние значения откликов

$$x1_i := X1_i \cdot \Delta 1 + F1_2 \quad X1 := x1$$

$$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$$

$$x2_i := X2_i \cdot \Delta 2 + F2_2 \quad X2 := x2$$

$$Y =$$

$$x3_i := X3_i \cdot \Delta 3 + F3_2 \quad X3 := x3$$

Единичный вектор: $L_i := 1$

Системная матрица:

$$X := \text{augment} \left[L, X1, X2, X3, (X1 \cdot X1), (X2 \cdot X2), (X3 \cdot X3) \right]$$

Количество оцениваемых параметров

$$k := \text{cols}(X) \quad k = 7 \quad j := 1..k$$

$$\begin{pmatrix} 33.77 \\ 58.294 \\ 35.186 \\ 56.723 \\ 40.351 \\ 58.99 \\ 49.241 \\ 69.576 \\ 37.742 \\ 35.463 \\ 53.699 \\ 44.943 \\ 39.964 \\ 43.624 \\ 44.114 \end{pmatrix}$$

МНК (метод наименьших квадратов)

Дисперсионная матрица

$$C := (X^T \cdot X)^{-1}$$

Оценки коэффициентов регрессии

$$a := C \cdot X^T \cdot Y$$

$a =$

$$\begin{pmatrix} 602.037 \\ -50.326 \\ 1.542 \\ -45.465 \\ 1.875 \\ -0.018 \\ 1.987 \end{pmatrix}$$

Оценки результатов

$$y := X \cdot a$$

Определение ошибки оценивания

Суммы квадратов отклонений

$$Sd := \sum_{i=1}^n \left[m \cdot (Y_i - y_i)^2 \right]$$

$$Se := \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y_{0,i,j} - Y_i)^2$$

Числа степеней свободы

$$\nu_1 := n - k$$

$$\nu_2 := n \cdot (m - 1)$$

Несмещённая оценка дисперсии ошибок наблюдений

$$s_2 := \frac{Se}{m \cdot \nu_2}$$

Ковариационная матрица ошибок оценок параметров регрессии

$$K := C \cdot s_2$$

Уровень значимости $\alpha := 0.1$

Критическое значение распределения Стьюдента с ν_2 степенями свободы, соответствующее выбранному уровню значимости α

$$t_{кр} := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, \nu_2\right)$$

Доверительные интервалы для оценок a_j

$$\Delta_j := t_{кр} \cdot \sqrt{K_{j,j}}$$

$$\Delta = \begin{pmatrix} 206.308 \\ 19.501 \\ 1.163 \\ 30.321 \\ 0.811 \\ 0.014 \\ 1.442 \end{pmatrix}$$

$$|a_j| > \Delta_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

"0" - коэффициент a_j статистически незначим с доверительной вероятностью $1 - \alpha = 0.9$

"1" - коэффициент a_j статистически значим на уровне $\alpha = 0.1$

Проверка адекватности модели

$n > k = 1$ - условие применимости метода ("1" - применим; "0" - неприменим)

Уровень значимости $\alpha := 0.01$

$$F_{кр} := \text{root}(pF(x, \nu_1, \nu_2) - 1 + \alpha, x, 0, 10)$$

$$F_{кр} = 3.173$$

$$F := \frac{Sd \cdot \nu_2}{Se \cdot \nu_1}$$

$$F = 0.456$$

$F < F_{кр} = 1$ ("1" - модель адекватна; "0" - модель не адекватна)

Результаты анализа

$$\text{Уравнение регрессии } Z(x_1, x_2, x_3) := a_1 + a_2 \cdot x_1 + a_3 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_3 + a_5 \cdot x_1^2 + a_6 \cdot x_2^2 + a_7 \cdot x_3^2$$

Оптимизация результатов

$x_1 := 10$

$x_2 := 40$

$x_3 := 9$

Given

$10 < x_1 < 14$

$25 < x_2 < 55$

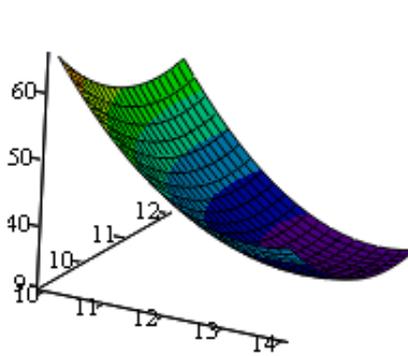
$9 < x_3 < 12$

$$M := \text{Minimize}(Z, x_1, x_2, x_3) = \begin{pmatrix} 13.417 \\ 25 \\ 11.442 \end{pmatrix} \quad Z(M_1, M_2, M_3) = 31.565$$

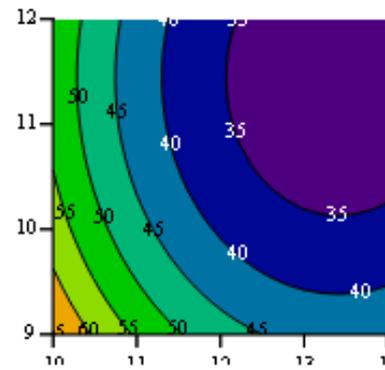
$W1(x_1, x_3) := Z(x_1, M_2, x_3)$

$W2(x_2, x_3) := Z(M_1, x_2, x_3)$

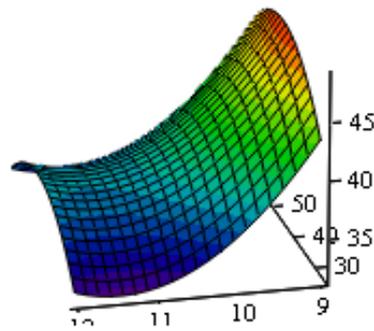
$W3(x_1, x_2) := Z(x_1, x_2, M_3)$



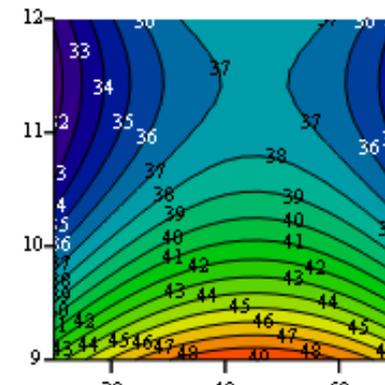
W1



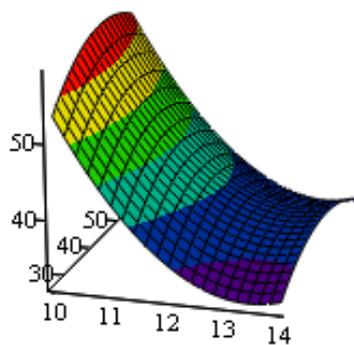
W1



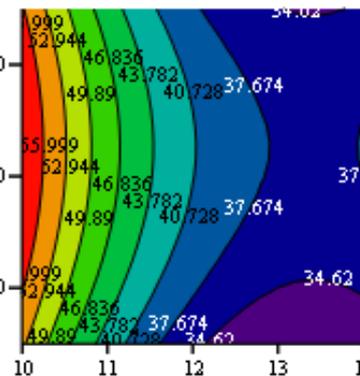
W2



W2



W3



W3

Численное моделирование процесса диспергирования твердых органических загрязнений воскового сырья в воде

Исходные данные

<i>Физические постоянные</i>			
$k_b := 1.381 \cdot 10^{-23}$	- постоянная Больцмана, Дж/К	$\rho := 1000$	- плотность среды, кг/м ³
$g := 9.807$	- ускорение свободного падения, м/с ²	$\rho_p := 1260$	- плотность перги, кг/м ³
$T := 300$	- температура среды, К	$\nu := \frac{\eta}{\rho}$	- кинематическая вязкость, м ² /с
$\eta := 1.006 \cdot 10^{-3}$	- динамическая вязкость, Па·с		
<i>Геометрические постоянные</i>			
$L_p := 2 \cdot 10^{-6}$	- характерный линейный размер зерна пыльцы, м		
$d_r := 6 \cdot 10^{-3}$	- характерный линейный размер гранулы перги, м		
$L_v := 0.2 \cdot 10^{-2}$	- характерный размер частицы перги, м		
$R_k := 0.08$	- радиус основания сосуда, м	$D_c := \frac{k_b \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot L_p}$	- коэффициент диффузии (формула Эйнштейна)
$H_k := 0.3$	- высота сосуда, м		

Безразмерные комплексы

<i>Число Рейнольдса</i>	<i>Число Архимеда</i>	<i>Число Прандтля</i>	<i>Число Нуссельта</i>
$Re(I) := \frac{d_r^2 \cdot \rho \cdot \sqrt{I}}{\eta}$	$Ar := \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \cdot \frac{g \cdot d_r^3}{\nu^2}$	$Pr := \frac{\nu}{D_c}$	$A := 0.085$ $Nu(I) := A \cdot \sqrt[3]{Pr} \cdot \sqrt{Re(I)}$

Расчетные параметры

$\delta(I) := \frac{d_r}{Nu(I)}$	- толщина пограничного слоя, м	$l(I) := \frac{3}{3} \cdot \delta(I)$	- толщина диффундирующего слоя, м
----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------

Блок решения (задача Штурма-Лиувилля)

Given	$\cot(x) = \frac{x}{a}$	$f(a, x) := \text{Find}(x)$	$h(I) := \frac{5}{\delta(I)}$	$a(I) := h(I) \cdot l(I)$	ORIGIN := 1
$nf := 50$	- количество учитываемых членов ряда Фурье	$kf := 1, 2 \dots nf$	$\mu_{kf} := f\left[a(I), \frac{\pi}{2} \cdot (2 \cdot kf - 1) - \frac{\pi}{20}\right]$	$\lambda(I) := \frac{\mu}{l(I)}$	
$NX2(I) := \frac{1(I) \cdot (\lambda(I)^2 + h(I)^2) + h(I)}{2 \cdot (\lambda(I)^2 + h(I)^2)}$			$B(I) := \left(\frac{\sin(\lambda(I) \cdot l(I))^2}{1(I) \cdot \lambda(I)^2} \cdot \frac{1}{NX2(I)} \right)$		

Результат

$C(I, t) := 100 \cdot B(I) \cdot e^{-\lambda(I)^2 \cdot D_c \cdot t}$	- зависимость остаточной концентрации от интенсивности и времени процесса перемешивания
---	---

Частные значения

$C(10, 0) = 100.163$	$C(10, 60) = 94.388$	$C(10, 300) = 80.528$	$C(10, 600) = 68.497$
$C(10^3, 0) = 100.163$	$C(10^3, 60) = 81.543$	$C(10^3, 300) = 46.214$	$C(10^3, 600) = 23.381$
$C(10^4, 0) = 100.163$	$C(10^4, 60) = 68.497$	$C(10^4, 300) = 21.047$	$C(10^4, 600) = 4.852$
$C(2 \cdot 10^4, 0) = 100.163$	$C(2 \cdot 10^4, 60) = 63.282$	$C(2 \cdot 10^4, 300) = 14.373$	$C(2 \cdot 10^4, 600) = 2.263$

Исходные данные и полученные результаты математического моделирования соотношения габаритов рабочих камер измельчающего устройства и камеры диспергирования

Исходные данные

Прочность сотов, Па	$\sigma := 350 \cdot 10^3$
Относительная деформация при разрушении	$\delta := 0.03$
Объемная масса сотов, кг/м ³	$\gamma := 300$
Толщина воздушно-продуктового слоя, м	$b := 0.04$
Плотность воды, кг/м ³	$\rho := 1000$
Инварианты подобия	$i1 := 0.07 \quad i2 := 3 \quad i3 := 1$

Расчет

Оценка средней линейная скорость штифтов, м/с $v := \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} = 9.293$

Диаметр камеры измельчителя D_i , м в зависимости от величины оборотов n , Об/сек. $D_i(n) := \frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b$

Диаметр камеры аппарата с мешалкой D_p , м в зависимости от величины оборотов n , Об/сек и от требуемой величины интенсивности перемешивания I , Вт/м³. $D_p(n, I) := \sqrt{\frac{\pi \cdot I}{92 \cdot n^3 \cdot \rho} \cdot \frac{i2^4 \cdot i3}{i1^{1.27}}}$

$n := 9,9.01..33$

Частные значения

$D_i\left(\frac{1200}{60}\right) = 0.188$

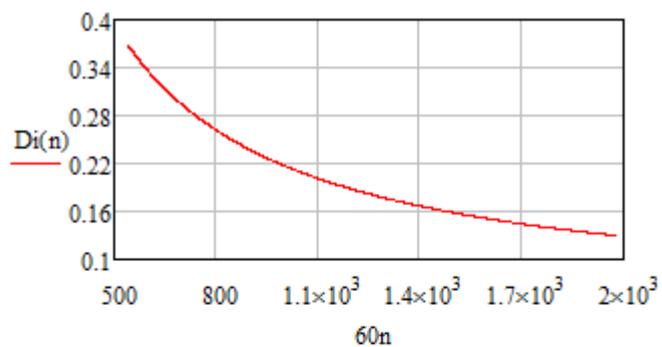
$\frac{D_i\left(\frac{1200}{60}\right)}{D_p\left(\frac{1200}{60}, 10^4\right)} = 0.59$

$D_p\left(\frac{1200}{60}, 10^4\right) = 0.318$

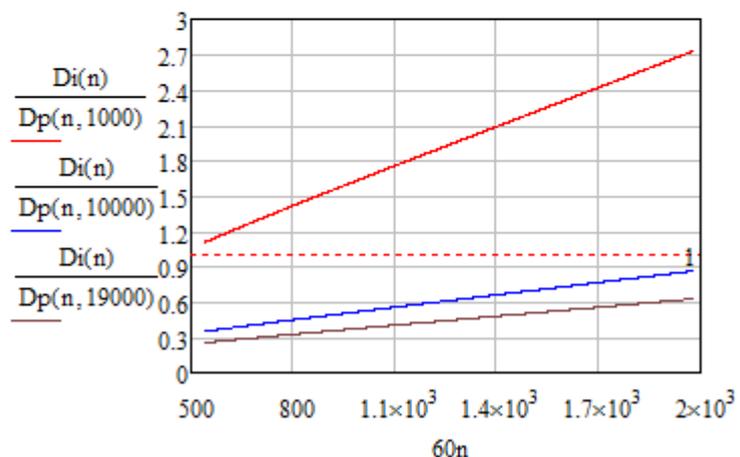
$D_i\left(\frac{1050}{60}\right) = 0.209$

$\frac{D_i\left(\frac{1050}{60}\right)}{D_p\left(\frac{1050}{60}, 10^4\right)} = 0.538$

$D_p\left(\frac{1050}{60}, 10^4\right) = 0.389$



+



Экспериментальные данные и регрессионный анализ, устанавливающие зависимость интенсивности перемешивания от частоты вращения мешалки в перемешивающем аппарате с заданными геометрическими параметрами

Исходные данные

ORIGIN := 1

Фактор в натуральных значениях (Об/мин)

Отклик (Вт)

Объем перемешиваемой жидкости (м³) V := 0.0017

$$X := \begin{pmatrix} 400 \\ 800 \\ 1200 \\ 1600 \\ 2000 \end{pmatrix}$$

$$Y := \begin{pmatrix} 0.5 \\ 2.5 \\ 7.5 \\ 20 \\ 32.5 \end{pmatrix}$$

Количество опытов

N := rows(Y)

N = 5

i := 1..N

Приближение по степенной функции $F(x) = a \cdot x^b$

XX := ln(X)

YY := ln(Y)

A := intercept(XX, YY)

B := slope(XX, YY)

a := e^A

a = 6.296 × 10⁻⁸

b := B

b = 2.637

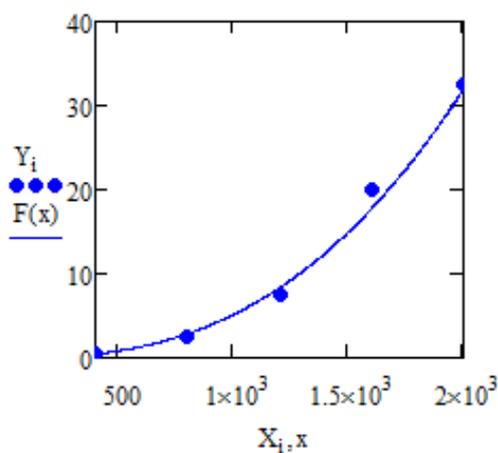
Уравнение регрессии

$F(x) := a \cdot x^b$

Коэффициент детерминации

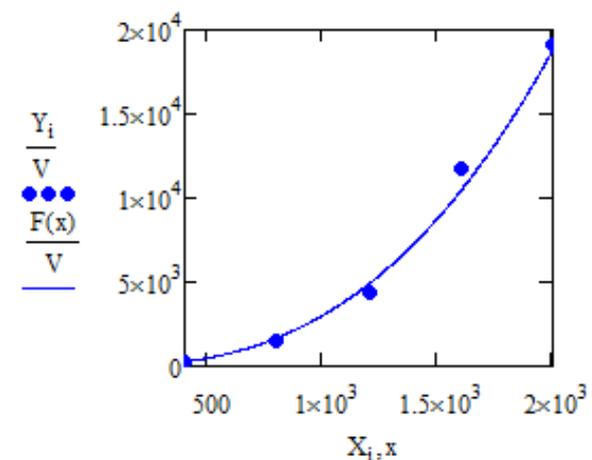
$$R^2 := 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - F(X_i))^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \text{mean}(Y))^2} = 0.991$$

Полезная мощность, Вт



Обороты мешалки, Об/мин

Интенсивность, Вт/м³



Обороты мешалки, Об/мин

Приложение 3

Таблица результатов и уровней варьирования факторов эксперимента, направленного на изучение влияния на критерий оптимизации (остаточную концентрацию растворяемых, органических загрязнений) параметров процесса: удельной энергоёмкости перемешивания (X1), продолжительности процесса (X2), среднего размера частиц растворяемого продукта (X3)

№ опыта	Факторы			Отклик (Y)				
	X1	X2	X3	Повторности			Среднее	Дисп.
				1	2	3		
1	1	1	0	0.67	0.12	0.44	0.41	0.0763
2	-1	1	0	2.35	0.52	0.12	1.00	1.4136
3	1	-1	0	0.87	2.31	10.15	4.44	24.943
4	-1	-1	0	45.98	51.01	45.69	47.56	8.9479
5	1	0	1	11.53	17.55	12.49	13.86	10.461
6	-1	0	1	45.43	43.78	41.77	43.66	3.3597
7	1	0	-1	0.96	1.09	0.45	0.83	0.1144
8	-1	0	-1	8.17	8.91	1.76	6.28	15.46
9	0	1	1	11.85	9.26	10.54	10.55	1.6771
10	0	-1	1	42.19	40.48	39.87	40.85	1.4464
11	0	1	-1	1.22	0.78	0.3	0.77	0.2117
12	0	-1	-1	9.96	11.95	10.9	10.94	0.991
13	0	0	0	1.36	2.87	0.91	1.71	1.054
14	-1	-1	-1	30.83	31.06	34.28	32.06	3.7206
15	1	1	1	6.53	6.53	8.23	7.10	0.9633

Проверка условия
однородности дисперсий

Сумма всех дисперсий **74.8398**
Максимальная из построчных дисперсий **24.9429**

G-критерий Кохрена

соответствует, дисперсии однородны

$G_{0,05}(10, 2) = 0.3346$	$G_{расч} = 0.33$	<	$G_{таб} = 0.3346$
----------------------------	-------------------	---	--------------------

Основные результаты статистического анализа данных, полученных в результате проведения эксперимента, направленного на изучение влияния на критерий оптимизации (остаточную концентрацию растворяемых органических загрязнений) параметров процесса: удельной энергоемкости перемешивания (X1), продолжительности процесса (X2), среднего размера частиц растворяемого продукта (X3)

Исходные данные

ORIGIN := 1

Матрица уровней варьирования факторов $F := \begin{pmatrix} 18770 & 600 & 5.75 \\ 9520 & 330 & 3.75 \\ 270 & 60 & 1.75 \end{pmatrix}$ $F1 := F^{(1)}$ $F2 := F^{(2)}$ $F3 := F^{(3)}$

Интервалы варьирования факторов $\Delta1 := F1_1 - F1_2$ $\Delta2 := F2_1 - F2_2$ $\Delta3 := F3_1 - F3_2$
 $\Delta1 = 9.25 \times 10^3$ $\Delta2 = 270$ $\Delta3 = 2$

План и результаты эксперимента

$$X1 := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad X2 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad X3 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 0.67 & 0.12 & 0.44 \\ 2.35 & 0.52 & 0.12 \\ 0.87 & 2.31 & 10.15 \\ 45.98 & 51.01 & 45.69 \\ 11.53 & 17.55 & 12.49 \\ 45.43 & 43.78 & 41.77 \\ 0.96 & 1.09 & 0.45 \\ 8.17 & 8.91 & 1.76 \\ 11.85 & 9.26 & 10.54 \\ 42.19 & 40.48 & 39.87 \\ 1.22 & 0.78 & 0.3 \\ 9.96 & 11.95 & 10.9 \\ 1.36 & 2.87 & 0.91 \\ 30.83 & 31.06 & 34.28 \\ 6.53 & 6.53 & 8.23 \end{pmatrix}$$

+

Количество строк плана:

Количество повторностей опыта

$n := \text{rows}(X1)$ $n = 15$

$m := \text{cols}(Y0)$ $m = 3$

$i := 1..n$

Средние значения откликов

Раскодирование факторов:

$x1_i := X1_i \cdot \Delta1 + F1_2$ $X1 := x1$

$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$

$Y =$

$x2_i := X2_i \cdot \Delta2 + F2_2$ $X2 := x2$

$Y := \ln(Y)$

$x3_i := X3_i \cdot \Delta3 + F3_2$ $X3 := x3$

Единичный вектор: $L_i := 1$

Системная матрица: $X := \text{augment}[L, X3, (X1 \cdot X2), (X1 \cdot X3), (X2 \cdot X3)]$

Количество оцениваемых параметров

$k := \text{cols}(X)$ $k = 5$ $j := 1..k$

$$\begin{pmatrix} 0.41 \\ 0.997 \\ 4.443 \\ 47.56 \\ 13.857 \\ 43.66 \\ 0.833 \\ 6.28 \\ 10.55 \\ 40.847 \\ 0.767 \\ 10.937 \\ 1.713 \\ 32.057 \\ 7.097 \end{pmatrix}$$

МНК (метод наименьших квадратов)

Дисперсионная матрица

$$C := (X^T \cdot X)^{-1}$$

Оценки коэффициентов регрессии

$$a := C \cdot X^T \cdot Y$$

Оценки результатов

$$y := e^{X \cdot a}$$

$$a = \begin{pmatrix} 0.387 \\ 0.753 \\ -1.368 \times 10^{-7} \\ -4.491 \times 10^{-6} \\ -6.003 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Определение ошибки оценивания

Суммы квадратов отклонений

$$Sd := \sum_{i=1}^n \left[m \cdot (Y_i - y_i)^2 \right]$$

$$Se := \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y_{0,i,j} - Y_i)^2$$

Числа степеней свободы

$$\nu_1 := n - k$$

$$\nu_2 := n \cdot (m - 1)$$

Проверка адекватности модели

$n > k = 1$ - условие применимости метода ("1" - применим; "0" - неприменим)

Уровень значимости $\alpha := 0.01$

$$F_{кр} := \text{root}(pF(x, \nu_1, \nu_2) - 1 + \alpha, x, 0, 10)$$

$$F_{кр} = 2.979$$

$$F := \frac{Sd \cdot \nu_2}{Se \cdot \nu_1}$$

$$F = 2.689$$

$F < F_{кр} = 1$ ("1" - модель адекватна; "0" - модель не адекватна)

Результаты анализа

Уравнение регрессии $Z(x_1, x_2, x_3) := e^{(a_1 + a_2 \cdot x_3 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_3 + a_5 \cdot x_2 \cdot x_3)}$

Оптимизация результатов

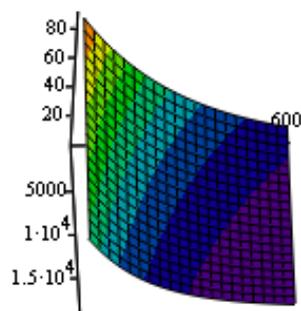
Начальные приближения $x_1 := 10000$ $x_2 := 300$ $x_3 := 3$

Given $270 < x_1 < 18770$ $60 < x_2 < 600$ $1.75 < x_3 < 5.75$

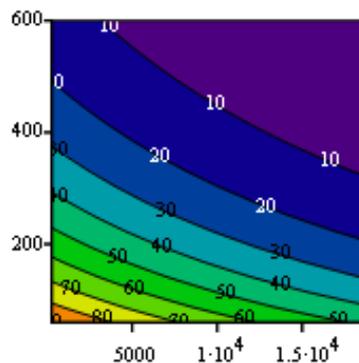
$$M := \text{Minimize}(Z, x_1, x_2, x_3) = \begin{pmatrix} 1.877 \times 10^4 \\ 600 \\ 1.75 \end{pmatrix}$$

$$Z_1(x_1, x_2) := Z(x_1, x_2, 5.75)$$

$$Z(M_1, M_2, M_3) = 0.542$$



Z1



Z1

Статистические данные, характеризующие зависимость мощности N (Вт), потребляемой перемешивающим устройством камеры диспергирования, и концентрации очищаемого сырья x (г/л) на степень удаления органических загрязнений P (%)

Фактор	Отклик							
	Полезная мощность N , Вт	Процент удаленных примесей P , %						
		Повторности					Среднее	Дисп.
		1	2	3	4	5		
50	16.5	25.71	26.86	23.18	26.39	26.86	25.8	2.363071
100	17	29.34	28.59	24.27	25.13	18.17	25.1	19.72737
150	17.4	24.01	27.24	21.09	25.20	22.46	24	5.701036
200	20.3	12.66	13.23	18.35	15.76	21.49	16.3	13.54196
250	21	6.48	12.00	10.34	9.16	9.53	9.5	4.060654

Сумма всех дисперсий **45.3941**

Максимальная из построчных дисперсий **19.7274**

G-критерий Кохрена

соответствует

$G_{0,05}(4,5) =$	0.544	$G_2 =$	0.43	<	$G_{таб} =$	0.544
-------------------	-------	---------	------	---	-------------	-------

Регрессионный анализ данных эксперимента, устанавливающего влияние зависимости мощности N (Вт), потребляемой перемешивающим устройством камеры диспергирования, и концентрации очищаемого сырья x (г/л) на степень удаления органических загрязнений P (%)

Исходные данные

ORIGIN := 1

$$X := \begin{pmatrix} 50 \\ 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 16.5 \\ 17 \\ 17.4 \\ 20.3 \\ 21 \end{pmatrix}$$

Количество опытов Число повторностей

$$N := \text{rows}(Y0) \quad m := \text{cols}(Y0)$$

$$N = 5 \quad m = 1$$

$$i := 1..N \quad j := 1..m$$

Средние значения зависимой переменной

$$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$$

$$Y = \begin{pmatrix} 16.5 \\ 17 \\ 17.4 \\ 20.3 \\ 21 \end{pmatrix}$$

Квадратичное приближение $F(x) = a_1 + a_2 x + a_3 x^2$

$$1_i := 1$$

$$XX := \text{augment}\left[1, X, \begin{matrix} \longrightarrow \\ (X \cdot X) \end{matrix}\right]$$

$$a := (XX^T \cdot XX)^{-1} \cdot XX^T \cdot Y$$

$$F(x) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2$$

Оценки коэффициентов регрессии

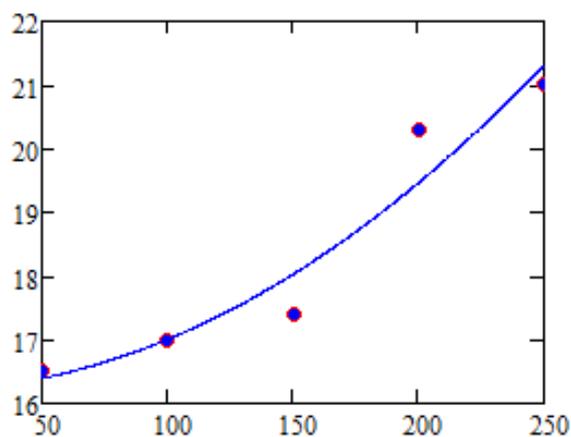
$$a = \begin{pmatrix} 16.2 \\ -2.571 \times 10^{-4} \\ 8.286 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$R2 := 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - F(X_i))^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \text{mean}(Y))^2}$$

Коэффициент детерминации

$$R2 = 0.929$$

Полезная мощность, Вт



Регрессионный анализ данных эксперимента, устанавливающего влияние зависимости мощности N (Вт), потребляемой перемешивающим устройством камеры диспергирования, и концентрации очищаемого сырья x (г/л) на степень удаления органических загрязнений P (%)
(продолжение)

Исходные данные

ORIGIN := 1

$$X := \begin{pmatrix} 50 \\ 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 25.71 & 26.86 & 23.18 & 26.39 & 26.86 \\ 29.34 & 28.59 & 24.27 & 25.13 & 18.17 \\ 24.01 & 27.24 & 21.09 & 25.2 & 22.46 \\ 12.66 & 13.23 & 18.35 & 15.76 & 21.49 \\ 6.48 & 12 & 10.34 & 9.16 & 9.53 \end{pmatrix}$$

Количество опытов $N := \text{rows}(Y0) = 5$
 Число повторностей $m := \text{cols}(Y0) = 5$
 $i := 1..N$ $j := 1..m$

Средние значения зависимой переменной $Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$ $Y = \begin{pmatrix} 25.8 \\ 25.1 \\ 24 \\ 16.298 \\ 9.502 \end{pmatrix}$

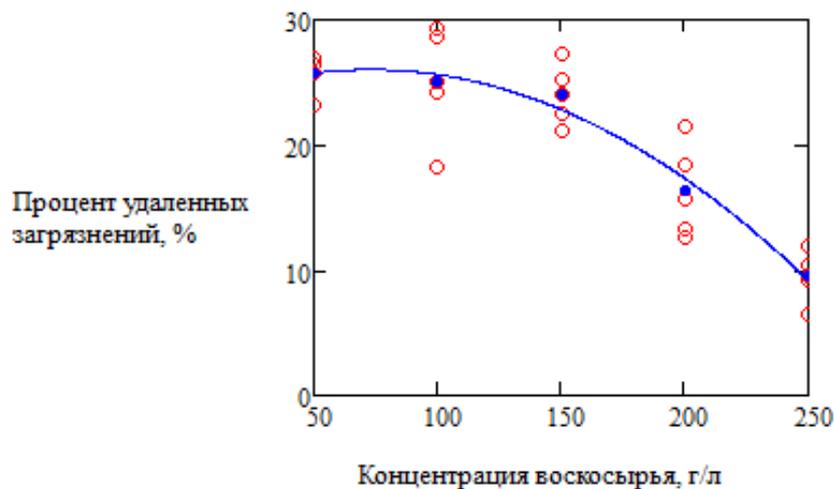
Квадратичное приближение $F(x) = a_1 + a_2 x + a_3 x^2$ $l_i := 1$
 $XX := \text{augment}[1, X, \overrightarrow{(X \cdot X)}]$

$a := (XX^T \cdot XX)^{-1} \cdot XX^T \cdot Y$ $F(x) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2$

Оценки коэффициентов регрессии $a = \begin{pmatrix} 23.162 \\ 0.078 \\ -5.37 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$ $R2 := 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - F(X_i))^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \text{mean}(Y))^2}$

Коэффициент детерминации $R2 = 0.986$

+



Приложение К

Данные эксперимента, устанавливающего влияние частоты (X1) и амплитуды (X2) на полезную мощность (Y), затрачиваемую на колебание рамки с сотами

Номер опыта	X ₁	X ₂	Y			Среднее	Дисп.
			1	2	3		
1	1	1	16.5	15	16.8	16.1	0.9300
2	1	-1	8.9	11.2	12.9	11.0	4.0300
3	-1	1	8.5	7.5	5.5	7.2	2.3333
4	-1	-1	6.6	5.3	7.9	6.6	1.6900
5	1	0	12.6	12.1	15.2	13.3	2.7700
6	-1	0	6.9	8.9	5.6	7.1	2.7633
7	0	1	11.3	11.5	9.8	10.9	0.8633
8	0	-1	6.8	5.5	4.2	5.5	1.6900
9	0	0	8.8	8.6	7.5	8.3	0.4900

Проверка условия однородности дисперсий

Сумма всех дисперсий **17.5600**
Максимальная из построчных дисперсий **4.0300**

G-критерий Кохрена		неравенство верно, дисперсии однородны	
$G_{0,05}(10, 2) = 0.4775$	$G_{расч} = 0.23$	<	$G_{таб} = 0.4775$

Регрессионный анализ данных эксперимента, устанавливающего влияние частоты (X1) и амплитуды (X2) на полезную мощность (Y), затрачиваемую на колебание рамки с сотами

Исходные данные

Матрица уровней варьирования факторов $F := \begin{pmatrix} 55 & 2.5 \\ 50 & 1.75 \\ 45 & 1 \end{pmatrix}$ $F1 := F^{(1)}$ $F2 := F^{(2)}$ ORIGIN := 1

Интервалы варьирования факторов $\Delta 1 := F1_1 - F1_2$ $\Delta 2 := F2_1 - F2_2$
 $\Delta 1 = 5$ $\Delta 2 = 0.75$

План эксперимента

$$X1 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X2 := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 16.5 & 15 & 16.8 \\ 8.9 & 11.2 & 12.9 \\ 8.5 & 7.5 & 5.5 \\ 6.6 & 5.3 & 7.9 \\ 12.6 & 12.1 & 15.2 \\ 6.9 & 8.9 & 5.6 \\ 11.3 & 11.5 & 9.8 \\ 6.8 & 5.5 & 4.2 \\ 8.8 & 8.6 & 7.5 \end{pmatrix}$$

Количество строк плана:

$n := \text{rows}(X1)$ $n = 9$ $i := 1..n$

Количество повторностей опыта

$m := \text{cols}(Y0)$ $m = 3$

Раскодирование факторов:

$x1_i := X1_i \cdot \Delta 1 + F1_2$ $X1 := x1$

Единичный вектор: $L_i := 1$

$x2_i := X2_i \cdot \Delta 2 + F2_2$ $X2 := x2$

Средние значения откликов

$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$

$$Y = \begin{pmatrix} 16.1 \\ 11 \\ 7.2 \\ 6.6 \\ 13.3 \\ 7.1 \\ 10.9 \\ 5.5 \\ 8.3 \end{pmatrix}$$

Системная матрица (после исключения незначимых эффектов):

$X := \text{augment}[L, X1, X2, (X1 \cdot X2), (X1 \cdot X1)]$

Количество оцениваемых параметров

$k := \text{cols}(X)$ $k = 5$ $j := 1..k$

МНК (метод наименьших квадратов)

Дисперсионная матрица $C := (X^T \cdot X)^{-1}$

Оценки коэффициентов регрессии

$a := C \cdot X^T \cdot Y$

Оценки результатов

$y := X \cdot a$

$a = \begin{pmatrix} 197.32 \\ -7.86 \\ -12.66 \\ 0.3 \\ 0.08 \end{pmatrix}$

Определение ошибки оценивания

Суммы квадратов отклонений

Числа степеней свободы

$\nu 1 := n - k$

$Sd := \sum_{i=1}^n [m \cdot (Y_i - y_i)^2]$

$Se := \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y0_{i,j} - Y_i)^2$

$\nu 2 := n \cdot (m - 1)$

Несмещённая оценка дисперсии ошибок наблюдений

$s2 := \frac{Se}{m \cdot \nu 2}$ +

Ковариационная матрица ошибок оценок параметров регрессии

$K := C \cdot s2$

Уровень значимости $\alpha := 0.05$

Критическое значение распределения Стьюдента с ν_2 степенями свободы, соответствующее выбранному уровню значимости α

$$t_{кр} := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, \nu_2\right)$$

Доверительные интервалы для оценок a_j

$$\Delta_j := t_{кр} \cdot \sqrt{K_{j,j}}$$

$$\Delta = \begin{pmatrix} 120.847 \\ 4.81 \\ 11.333 \\ 0.226 \\ 0.048 \end{pmatrix} \quad |a_j| > \Delta_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

"0" - коэффициент a_j статистически незначим с доверительной вероятностью $1 - \alpha = 0.95$

"1" - коэффициент a_j статистически значим на уровне $\alpha = 0.05$

Проверка адекватности модели

$n > k = 1$ - условие применимости метода: "1" - метод применим; "0" - метод не применим

Уровень значимости $\alpha := 0.05$

$$F_{кр} := \text{root}(pF(x, \nu_1, \nu_2) - 1 + \alpha, x, 0, 10) \quad F_{кр} = 2.928$$

$$F := \frac{Sd \cdot \nu_2}{Se \cdot \nu_1} \quad F = 0.858$$

$F < F_{кр} = 1$ ("1" - модель адекватна; "0" - модель не адекватна)

Результаты анализа и их оптимизация

$$P(x_1, x_2) := a_1 + a_2 \cdot x_1 + a_3 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_5 \cdot x_1^2$$

Начальные приближения $x_1 := 50$ $x_2 := 2$

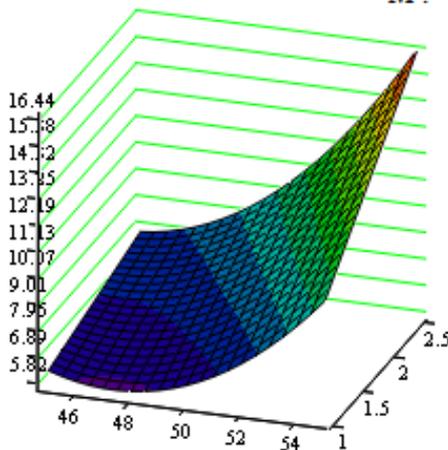
Блок решения Given $45 < x_1 < 55$ $1 < x_2 < 2.5$

$$M := \text{Minimize}(P, x_1, x_2) = \begin{pmatrix} 47.347 \\ 1 \end{pmatrix} \quad P(M_1, M_2) = 5.822$$

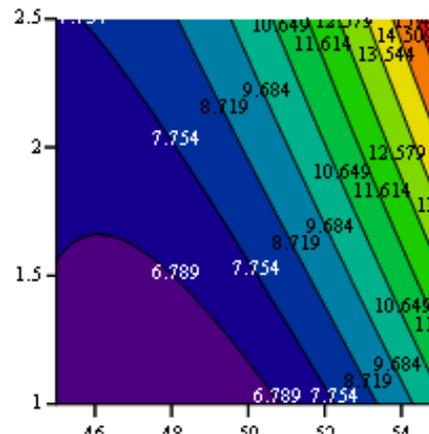
Начальные приближения $x_1 := 50$ $x_2 := 2$

Блок решения Given $45 < x_1 < 55$ $1 < x_2 < 2.5$

$$M := \text{Maximize}(P, x_1, x_2) = \begin{pmatrix} 55 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad P(M_1, M_2) = 16.439$$



P



P

Приложение Л

Статистические данные, полученные в результате эксперимента, описывающие влияния частоты (X1), амплитуды (X2) и времени (X3) вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах (Y1)

№ опыта	Факторы			Отклик (Y1)				
	X1	X2	X3	Повторности			Среднее	Дисп.
				1	2	3		
1	1	1	0	0.06	0.05	0.04	0.05	0.0001
2	-1	1	0	2.94	6.68	7.46	5.69	5.83773
3	1	-1	0	29.95	26.77	33.53	30.08	11.4377
4	-1	-1	0	34.16	34.66	35.73	34.85	0.6433
5	1	0	1	2.18	0.2	1.01	1.13	0.9909
6	-1	0	1	15.33	12.68	13.01	13.67	2.08563
7	1	0	-1	43.67	42.5	49.46	45.21	13.8891
8	-1	0	-1	74.86	76.78	72.77	74.80	4.02243
9	0	1	1	2.21	2.92	2.64	2.59	0.1279
10	0	-1	1	2.26	5.18	9.5	5.65	13.2677
11	0	1	-1	43.38	41.93	39.15	41.49	4.62063
12	0	-1	-1	74	71.46	66.4	70.62	14.9692
13	0	0	0	9.46	10.79	11.28	10.51	0.8869
14	-1	-1	-1	4.08	7.44	9.58	7.03	7.68653
15	1	1	1	19.46	19.9	14.94	18.10	7.5376

Проверка условия

Сумма всех дисперсий **88.0034**

однородности дисперсий

Максимальная из построчных дисперсий **14.9692**

G-критерий Кохрена

соответствует, дисперсии однородны

$G_{0,05}(10, 2) = 0.3346$	$G_{расч} = 0.17$	<	$G_{таб} = 0.3346$
----------------------------	-------------------	---	--------------------

Регрессионный анализ данных эксперимента, устанавливающего влияние частоты (X1), амплитуды (X2) и времени (X3) вибрационного воздействия на остаточную концентрацию перги в сотах (Y)

Исходные данные

ORIGIN := 1

Матрица уровней варьирования факторов $F := \begin{pmatrix} 55 & 2.5 & 420 \\ 50 & 1.75 & 240 \\ 45 & 1 & 60 \end{pmatrix}$ $F1 := F^{(1)}$ $F2 := F^{(2)}$ $F3 := F^{(3)}$

+

Интервалы варьирования факторов $\Delta 1 := F1_1 - F1_2$ $\Delta 2 := F2_1 - F2_2$ $\Delta 3 := F3_1 - F3_2$
 $\Delta 1 = 5$ $\Delta 2 = 0.75$ $\Delta 3 = 180$

План и результаты эксперимента

$$X1 := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X2 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X3 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad Y0 := \begin{pmatrix} 0.06 & 0.05 & 0.04 \\ 2.94 & 6.68 & 7.46 \\ 29.95 & 26.77 & 33.53 \\ 34.16 & 34.66 & 35.73 \\ 2.18 & 0.2 & 1.01 \\ 15.33 & 12.68 & 13.01 \\ 43.67 & 42.5 & 49.46 \\ 74.86 & 76.78 & 72.77 \\ 2.21 & 2.92 & 2.64 \\ 2.26 & 5.18 & 9.5 \\ 43.38 & 41.93 & 39.15 \\ 74 & 71.46 & 66.4 \\ 9.46 & 10.79 & 11.28 \\ 4.08 & 7.44 & 9.58 \\ 19.46 & 19.9 & 14.94 \end{pmatrix}$$

Количество строк плана:

$n := \text{rows}(X1)$ $n = 15$

$i := 1..n$

Раскодирование факторов:

$x1_i := X1_i \cdot \Delta 1 + F1_2$ $X1 := x1$

$x2_i := X2_i \cdot \Delta 2 + F2_2$ $X2 := x2$

$x3_i := X3_i \cdot \Delta 3 + F3_2$ $X3 := x3$

Количество повторностей опыта

$m := \text{cols}(Y0)$ $m = 3$

Средние значения откликов

$Y_i := \text{mean}(\text{submatrix}(Y0, i, i, 1, m))$

Единичный вектор: $L_i := 1$

Системная матрица: $X := \text{augment}[L, X1, X3, (X1 \cdot X2), (X2 \cdot X3), (X1 \cdot X1), (X3 \cdot X3)]$

Количество оцениваемых параметров

$k := \text{cols}(X)$ $k = 7$ $j := 1..k$

$$Y = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 5.693 \\ 30.083 \\ 34.85 \\ 1.13 \\ 13.673 \\ 45.21 \\ 74.803 \\ 2.59 \\ 5.647 \\ 41.487 \\ 70.62 \\ 10.51 \\ 7.033 \\ 18.1 \end{pmatrix}$$

МНК (метод наименьших квадратов)

$$Y := \ln(Y)$$

Дисперсионная матрица

$$C := (X^T \cdot X)^{-1}$$

Оценки коэффициентов регрессии

$$a := C \cdot X^T \cdot Y$$

$a =$

Оценки результатов

$$y := e^{X \cdot a}$$

Результаты анализа и их оптимизация

$$Z(x_1, x_2, x_3) := e^{(a_1 + a_2 \cdot x_1 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_5 \cdot x_2 \cdot x_3 + a_6 \cdot x_1^2 + a_7 \cdot x_3^2)}$$

$$\begin{pmatrix} -27.159 \\ 1.559 \\ -0.02 \\ -0.036 \\ 5.423 \times 10^{-4} \\ -0.017 \\ 2.526 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Начальные приближения

$$x_1 := 50$$

$$x_2 := 1.5$$

$$x_3 := 300$$

Блок решения

Given

$$45 < x_1 < 55$$

$$1 < x_2 < 2.5$$

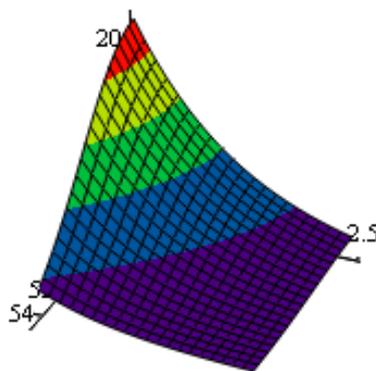
$$60 < x_3 < 420$$

$$M := \text{Minimize}(Z, x_1, x_2, x_3) = \begin{pmatrix} 55 \\ 2.5 \\ 378.872 \end{pmatrix}$$

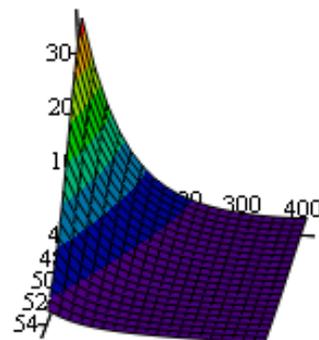
$$Z(M_1, M_2, M_3) = 0.305$$

$$Z1(x_1, x_2) := Z(x_1, x_2, M_3)$$

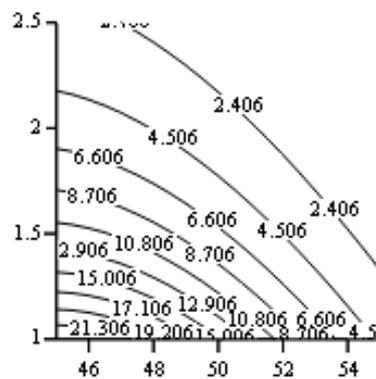
$$Z2(x_1, x_3) := Z(x_1, M_2, x_3)$$



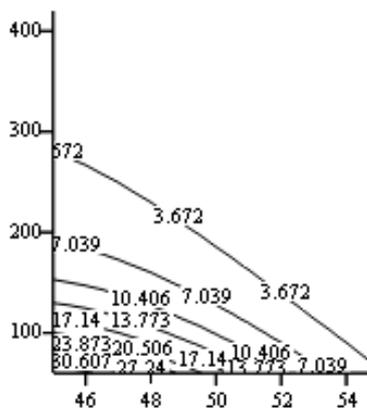
Z1



Z2



Z1



Z2

Приложение М

Расчет экономических показателей эффективности внедрения в производство очистки воскового сырья

Таблица П.1 - Расчет показателей экономической эффективности при размере пасеки 100 семей

№ стр.	Показатели		Ед. изм.	Объекты сравнительного анализа			Расчет показателей	Примечание, ссылка
				Предлагаемая установка	Совместное использование			
					АИП-10	ЭкоПром-60		
1	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	M	кг	3.75			-	табл. 6.5
2	Количество рамок, отбираемых в год с пасеки	R	шт/год	500			$R = 100 \cdot 5$	исх. данные
3	Средняя масса воскового сырья в рамке	m_c	кг	0.5			-	исх. данные
4	Годовой объем перерабатываемого воскового сырья	V	кг/год	250			$V = R \cdot m_c$	формула (6.4)
5	Тариф на эл. энергию для с/х предпр-й	$\Pi_э$	руб/кВт·ч	4.5			-	исх. данные
6	Часовая ставка оператора	$C_ч$	руб/ч	107			-	исх. данные
7	Численность обслуживающего персонала	n	чел	1			-	исх. данные
8	Капитальные вложения	K	руб	27 500	24 950	33 450	-	исх. данные
9	Потребляемая мощность	N	кВт	0.20	0.25	0.16	-	табл. 6.5
10	Время работы оборудования в одном цикле	$t_о$	ч	0.64	0.75	0.17	-	табл. 6.5
11	Продолжительность технологического цикла	$t_ц$	ч	0.76	0.80	0.37	-	табл. 6.5
12	Годовые нормы на ремонт и ТО	$H_{ТО}$	%	8%	8%	8%	-	исх. данные
13	Производительность оборудования	$Q_о$	кг/ч	5.90	5.00	22.50	$Q_о = M/t_о$	формула (6.5)
14	Производительность технологического цикла	$Q_ц$	кг/ч	4.93	4.69	10.23	$Q_ц = M/t_ц$	формула (6.6)
15	Энергоемкость	E	кВт·ч/кг	0.03	0.05	0.01	$E = N/Q_о$	формула (6.7)
16	Годовая нормативная нагрузка	U	ч/год	42.36	50.00	11.11	$U = V/Q_о$	формула (6.8)
17	Трудоемкость технологических операций	T	чел·ч/кг	0.20	0.21	0.10	$T = n/Q_ц$	формула (6.9)
18	Затраты труда на годовой объем работы	t	чел·ч/год	50.69	53.33	24.44	$t = T \cdot V$	формула (6.10)
19	Списание стоимости (часовая амортизация)	h_A	руб/ч	2.05	1.86	2.49	$h_A = K/(8 \cdot 210 \cdot 8)$	формула (6.13)
20	Затраты на эл. энергию в год	$Z_э$	руб	38р.	64р.		$Z_э = V \cdot E \cdot \Pi_э$	формула (6.15)
21	Расходы на оплату труда персонала в год	$Z_{от}$	руб	8 462р.	12 983р.		$Z_{от} = t \cdot C_ч \cdot 1,3 \cdot 1,2$	формула (6.16)
22	Сумма годовой амортизации	A	руб	87р.	93р.	28р.	$A = U \cdot h_A$	формула (6.12)
23	Затраты на ремонт и ТО в год	$Z_{рТО}$	руб	2 200р.	1 996р.	2 676р.	$Z_{рТО} = K \cdot H_{ТО} / 100$	формула (6.14)
24	Прямые затраты в год	Z	руб	10 787р.	17 839р.		$Z = Z_э + Z_{от} + A + Z_{рТО}$	формула (6.11)
25	Годовая экономия	$\mathcal{E}_Г$	руб	7 053р.	-		$\mathcal{E}_Г = Z_C - Z_П$	формула (6.19)
26	Годовая экономия	$\mathcal{E}_Г\%$	%	39.53%	-		$\mathcal{E}_Г\% = (\mathcal{E}_Г / Z_C) \cdot 100$	формула (6.20)
27	Срок окупаемости	D	лет	3.90	-		$D = K / \mathcal{E}_Г$	формула (6.27)

Таблица П.2 - Расчет показателей экономической эффективности при размере пасеки 400 семей

№ стр.	Показатели		Ед. изм.	Объекты сравнительного анализа			Расчет показателей	Примечание, ссылка
				Предлагаемая установка	Совместное использование			
					АИП-10	ЭкоПром-60		
1	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	M	кг	3.75			-	табл. 6.5
2	Количество рамок, отбираемых в год с пасеки	R	шт/год	2000			$R = 400 \cdot 5$	исх. данные
3	Средняя масса воскового сырья в рамке	m_c	кг	0.5			-	исх. данные
4	Годовой объем перерабатываемого воскового сырья	V	кг/год	1000			$V = R \cdot m_c$	формула (6.4)
5	Тариф на эл. энергию для с/х предпр-й	$\Pi_э$	руб/кВт·ч	4.5			-	исх. данные
6	Часовая ставка оператора	$C_ч$	руб/ч	107			-	исх. данные
7	Численность обслуживающего персонала	n	чел	1			-	исх. данные
8	Капитальные вложения	K	руб	27 500	24 950	33 450	-	исх. данные
9	Потребляемая мощность	N	кВт	0	0	0	-	табл. 6.5
10	Время работы оборудования в одном цикле	$t_о$	ч	0.64	0.75	0.17	-	табл. 6.5
11	Продолжительность технологического цикла	$t_ц$	ч	0.76	0.80	0.37	-	табл. 6.5
12	Годовые нормы на ремонт и ТО	$H_{ТО}$	%	8%	8%	8%	-	исх. данные
13	Производительность оборудования	$Q_о$	кг/ч	5.90	5.00	22.50	$Q_о = M/t_о$	формула (6.5)
14	Производительность технологического цикла	$Q_ц$	кг/ч	4.93	4.69	10.23	$Q_ц = M/t_ц$	формула (6.6)
15	Энергоемкость	E	кВт·ч/кг	0.03	0.05	0.01	$E = N/Q_о$	формула (6.7)
16	Годовая нормативная нагрузка	U	ч/год	169.44	200.00	44.44	$U = V/Q_о$	формула (6.8)
17	Трудоемкость технологических операций	T	чел·ч/кг	0.20	0.21	0.10	$T = n/Q_ц$	формула (6.9)
18	Затраты труда на годовой объем работы	t	чел·ч/год	202.78	213.33	97.78	$t = T \cdot V$	формула (6.10)
19	Списание стоимости (часовая амортизация)	h_A	руб/ч	2.05	1.86	2.49	$h_A = K/(8 \cdot 210 \cdot 8)$	формула (6.13)
20	Затраты на эл. энергию в год	$Z_э$	руб	153р.	257р.		$Z_э = V \cdot E \cdot \Pi_э$	формула (6.15)
21	Расходы на оплату труда персонала в год	$Z_{от}$	руб	33 848р.	51 931р.		$Z_{от} = t \cdot C_ч \cdot 1,3 \cdot 1,2$	формула (6.16)
22	Сумма годовой амортизации	A	руб	347р.	371р.	111р.	$A = U \cdot h_A$	формула (6.12)
23	Затраты на ремонт и ТО в год	$Z_{РТО}$	руб	2 200р.	1 996р.	2 676р.	$Z_{РТО} = K \cdot H_{ТО}/100$	формула (6.14)
24	Прямые затраты в год	Z	руб	36 547р.	57 342р.		$Z = Z_э + Z_{от} + A + Z_{РТО}$	формула (6.11)
25	Годовая экономия	$\mathcal{E}_Г$	руб	20 795р.	-		$\mathcal{E}_Г = Z_c - Z_{п}$	формула (6.19)
26	Годовая экономия	$\mathcal{E}_Г\%$	%	36.26%	-		$\mathcal{E}_Г\% = (\mathcal{E}_Г / Z_c) \cdot 100$	формула (6.20)
27	Срок окупаемости	D	лет	1.32	-		$D = K/\mathcal{E}_Г$	формула (6.27)

Приложение Н

Расчет экономических показателей гидровибрационной установки для очистки пчелиных сотов

Таблица Р.1 - Расчет показателей экономической эффективности при размере пасеки 100 семей

№ стр.	Показатели	Ед. изм.	Технологии		Расчет показателей	Примечание, ссылка	
			№1	№2			
1	Количество рамок, отбираемых в год с пасеки	R	шт/год	500	500	$R = 100 \cdot 5$	исх. данные
2	Средняя масса воскового сырья в рамке	m_c	кг	0.5	0.5	-	исх. данные
3	Годовой объем перерабатываемого воскового сырья	V	кг/год	250.0	250.0	$V = R \cdot m_c$	формула (6.4)
4	Тариф на эл. энергию для с/х предпр-й	$\Pi_э$	руб/кВт·ч	4.5	-	-	исх. данные
5	Тариф на воду	$\Pi_в$	руб/куб.м	25	-	-	исх. данные
6	Часовая ставка оператора	$C_ч$	руб/ч	107	-	-	исх. данные
7	Численность обслуживающего персонала	n	чел	1	-	-	исх. данные
8	Капитальные вложения	K	руб	18 000	-	-	исх. данные
9	Потребляемая мощность	N	кВт	0.05	-	-	исх. данные
10	Время работы оборудования в одном цикле	$t_о$	ч	0.10	-	-	исх. данные
11	Годовые нормы на ремонт и ТО	$H_{ТО}$	%	8%	-	-	исх. данные
12	Производительность оборудования	Q	кг/ч	5.00	-	$Q = M/t_о$	формула (6.5)
13	Энергоемкость	E	кВт·ч/кг	0.01	-	$E = N/Q$	формула (6.7)
14	Годовая нормативная нагрузка	U	ч/год	50.00	-	$U = V/Q$	формула (6.8)
15	Трудоемкость технологических операций	T	чел·ч/кг	0.20	-	$T = n/Q$	формула (6.9)
16	Затраты труда на годовой объем работы	t	чел·ч/год	50.00	-	$t = T \cdot V$	формула (6.10)
17	Списание стоимости (часовая амортизация)	h_A	руб/ч	1.34	-	$h_A = K/(8 \cdot 210 \cdot 8)$	формула (6.13)
18	Удельный расход воды	w	куб.м/кг	0.02	-	-	табл.6.6
19	Годовой расход воды	W	куб.м./год	5.00	-	$W = V \cdot w$	формула (6.17)
20	Затраты на воду в год	$Z_в$	руб/год	125.00	-	$Z_в = W \cdot \Pi_в$	формула (6.18)
21	Затраты на эл. энергию в год	$Z_э$	руб/год	11р.	-	$Z_э = V \cdot E \cdot \Pi_э$	формула (6.15)
22	Расходы на оплату труда персонала в год	$Z_{от}$	руб/год	8 346р.	-	$Z_{от} = t \cdot C_ч \cdot 1,3 \cdot 1,2$	формула (6.16)
23	Сумма годовой амортизации	A	руб/год	67р.	-	$A = U \cdot h_A$	формула (6.12)
24	Затраты на ремонт и ТО в год	$Z_{РТО}$	руб/год	1 440р.	-	$Z_{РТО} = K \cdot H_{ТО} / 100$	формула (6.14)
25	Прямые затраты в год	Z	руб/год	9 989р.	0р.	$Z = Z_э + Z_{от} + A + Z_{РТО} + Z_в$	формула (6.11)
26	Норма потери массы сырья в результате очистки	L	%	23%	0%	-	табл.6.6
27	Годовой объем переработки с учетом потерь	V^*	кг/год	192.5	250.0	$V^* = V \cdot (100 - L) / 100$	формула (6.21)
28	Норма выхода воска	b	%	52%	25%	-	ур-ние (3.18)
29	Прогнозируемый годовой объем производства воска	B	кг/год	100.1	62.5	$B = V^* \cdot b / 100$	формула (6.22)
30	Рыночная цена на воск	P	руб/кг	330р.	330р.	-	исх. данные
31	Валовая выручка	G_R	руб/год	33 033р.	20 625р.	$G_R = B \cdot P$	формула (6.23)
32	Валовая прибыль	G_P	руб/год	23 044р.	20 625р.	$G_P = G_R - Z$	формула (6.24)
33	Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_Г$	руб/год	2 419р.	-	$\mathcal{E}_Г = G_{P1} - G_{P2}$	формула (6.25)
34	Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_Г\%$	%	11.73%	-	$\mathcal{E}_Г\% = (\mathcal{E}_Г / G_{P2}) \cdot 100$	формула (6.26)
35	Срок окупаемости	D	лет	7.44	-	$D = K / \mathcal{E}_Г$	формула (6.27)

окончание приложения Н

Таблица Р.2 - Расчет показателей экономической эффективности при размере пасеки 400 семей

№ стр.	Показатели		Ед. изм.	Технологии		Расчет показателей	Примечание, ссылка
				№1	№2		
1	Количество рамок, отбираемых в год с пасеки	R	шт/год	2000	2000	$R = 400 \cdot 5$	исх. данные
2	Средняя масса воскового сырья в рамке	m_c	кг	0.5	0.5	-	исх. данные
3	Годовой объем перерабатываемого воскового сырья	V	кг/год	1000.0	1000.0	$V = R \cdot m_c$	формула (6.4)
4	Тариф на эл. энергию для с/х предпр-ий	$\Pi_э$	руб/кВт·ч	4.5	-	-	исх. данные
5	Тариф на воду	$\Pi_в$	руб/куб.м	25	-	-	исх. данные
6	Часовая ставка оператора	$C_ч$	руб/ч	107	-	-	исх. данные
7	Численность обслуживающего персонала	n	чел	1	-	-	исх. данные
8	Капитальные вложения	K	руб	18 000	-	-	исх. данные
9	Потребляемая мощность	N	кВт	0.05	-	-	исх. данные
10	Время работы оборудования в одном цикле	$t_о$	ч	0.10	-	-	исх. данные
11	Годовые нормы на ремонт и ТО	$H_{ТО}$	%	8%	-	-	исх. данные
12	Производительность оборудования	Q	кг/ч	5.00	-	$Q = M/t_о$	формула (6.5)
13	Энергоемкость	E	кВт·ч/кг	0.01	-	$E = N/Q$	формула (6.7)
14	Годовая нормативная нагрузка	U	ч/год	200.00	-	$U = V/Q$	формула (6.8)
15	Трудоемкость технологических операций	T	чел·ч/кг	0.20	-	$T = n/Q$	формула (6.9)
16	Затраты труда на годовой объем работы	t	чел·ч/год	200.00	-	$t = T \cdot V$	формула (6.10)
17	Списание стоимости (часовая амортизация)	h_A	руб/ч	1.34	-	$h_A = K/(8 \cdot 210 \cdot 8)$	формула (6.13)
18	Удельный расход воды	w	куб.м./кг	0.02	-	-	табл.6.6
19	Годовой расход воды	W	куб.м./год	20.00	-	$W = V \cdot w$	формула (6.17)
20	Затраты на воду в год	$Z_в$	руб/год	500.00	-	$Z_в = W \cdot \Pi_в$	формула (6.18)
21	Затраты на эл. энергию в год	$Z_э$	руб/год	45р.	-	$Z_э = V \cdot E \cdot \Pi_э$	формула (6.15)
22	Расходы на оплату труда персонала в год	$Z_{от}$	руб/год	33 384р.	-	$Z_{от} = t \cdot C_ч \cdot 1,3 \cdot 1,2$	формула (6.16)
23	Сумма годовой амортизации	A	руб/год	268р.	-	$A = U \cdot h_A$	формула (6.12)
24	Затраты на ремонт и ТО в год	$Z_{РТО}$	руб/год	1 440р.	-	$Z_{РТО} = K \cdot H_{ТО}/100$	формула (6.14)
25	Прямые затраты в год	Z	руб/год	35 637р.	0р.	$Z = Z_э + Z_{от} + A + Z_{РТО} + Z_в$	формула (6.11)
26	Норма потери массы сырья в результате очистки	L	%	23%	0%	-	табл.6.6
27	Годовой объем переработки с учетом потерь	V^*	кг/год	770.0	1000.0	$V^* = V \cdot (100 - L)/100$	формула (6.21)
28	Норма выхода воска	b	%	52%	25%	-	ур-ние (3.18)
29	Прогнозируемый годовой объем производства воска	B	кг/год	400.4	250.0	$B = V^* \cdot b/100$	формула (6.22)
30	Рыночная цена на воск	P	руб/кг	330р.	330р.	-	исх. данные
31	Валовая выручка	G_R	руб/год	132 132р.	82 500р.	$G_R = B \cdot P$	формула (6.23)
32	Валовая прибыль	G_P	руб/год	96 495р.	82 500р.	$G_P = G_R - Z$	формула (6.24)
33	Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_Г$	руб/год	13 995р.	-	$\mathcal{E}_Г = G_{P1} - G_{P2}$	формула (6.25)
34	Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_Г\%$	%	16.96%	-	$\mathcal{E}_Г\% = (\mathcal{E}_Г / G_{P2}) \cdot 100$	формула (6.26)
35	Срок окупаемости	D	лет	1.29	-	$D = K/\mathcal{E}_Г$	формула (6.27)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2667734

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ ПЕРГИ
ИЗ ПЕРГОВЫХ СОТОВ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *Бышов Дмитрий Николаевич (RU), Каширин Дмитрий Евгеньевич (RU), Коченов Виталий Васильевич (RU), Павлов Виктор Вячеславович (RU), Петухов Алексей Андреевич (RU)*

Заявка № 2017145725

Приоритет изобретения 25 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 24 сентября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 25 декабря 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 656 968** (13) **C1**
 (51) МПК
A01K 51/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
A01K 51/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017106065, 20.02.2017
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 20.02.2017
 Дата регистрации:
 07.06.2018
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 20.02.2017
 (45) Опубликовано: 07.06.2018 Бюл. № 16
 Адрес для переписки:
 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО
 РГАТУ, отдел патентования, Безносюк Р.В.

(72) Автор(ы):
 Бышов Дмитрий Николаевич (RU),
 Каширин Дмитрий Евгеньевич (RU),
 Павлов Виктор Вячеславович (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Рязанский государственный
 агротехнологический университет имени
 П.А. Костычева" (RU)
 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2408665 C1, 10.01.2011. FR
 2516446 A1, 20.05.1983. RU 2013143774 A,
 27.11.2015. US 3272339 A1, 13.09.1966. RU
 2483812 C1, 10.06.2013. SU 152754 A1,
 22.03.1963.

RU
 2
 6
 5
 6
 9
 6
 8
 C
 1

(54) СПОСОБ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

(57) Формула изобретения

Способ очистки воскового сырья от загрязнений, включающий измельчение воскового сырья с разрушением ячеек сотов и гранул перги, промывание измельченного воскового сырья в воде с температурой 30-35°C, отличающийся тем, что промывание осуществляют путем механического перемешивания в сочетании с воздействием ультразвуковыми колебаниями в диапазоне частот от 16 до 22 кГц в течение 2-3 часов, с последующим интенсивным перемешиванием, отстаиванием и фильтрованием через сито.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2672403

УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *Бышов Дмитрий Николаевич (RU), Каширин Дмитрий Евгеньевич (RU), Павлов Виктор Вячеславович (RU), Петухов Алексей Андреевич (RU)*

Заявка № 2018104393

Приоритет изобретения 05 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

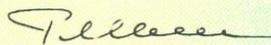
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 14 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 05 февраля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2708918

УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *Бышов Дмитрий Николаевич (RU), Каширин Дмитрий Евгеньевич (RU), Павлов Виктор Вячеславович (RU), Петухов Алексей Андреевич (RU)*

Заявка № 2018137343

Приоритет изобретения 22 октября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 22 октября 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный центр пчеловодства
391110, г. Рыбное Рязанской области, ул. Почтовая, 22, телефон (49137) 5-15-47

Протокол испытаний № 2
№ 24 января 2020

ИЛ ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»

Наименование образца: СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ (образец №1)
Наименование и адрес заказчика: Бышов Д.Н., г.Рязань, ул.Костычева, д.1
НД на продукцию: ГОСТ 31775-2012 СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
Дата проведения испытаний: 22.01.2020 – 24.01.2020г.
Результаты испытаний:

Наименование определяемого показателя	Значение показателя		НД на метод испытания
	Норма по НД	Фактически	
Цвет	От светло-коричневого до бурого	От коричневого до темно-коричневого	ГОСТ 31775-2012
Структура	Рассыпчатая, с комочками, сохранившими форму ячеек, размером не более 75 мм	Рассыпчатая, с чешуйками размером до 4 мм	ГОСТ 31775-2012
Посторонние примеси (комки земли, камни, деревянные стружки, щепки и др.)	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воды, %, не более	10	5,2	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воска, %, не менее	18	48	ГОСТ 31775-2012
Пораженность восковой молью	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012

Частичная перепечатка протокола не допускается.

Настоящий протокол распространяется только на образцы, предоставленные для испытаний.

Руководитель ИЛ

С.Н.Есенкина

Исполнитель
Ст. лаборант-исследователь

Г.А. Седова

М.П.



продолжение приложения П

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный центр пчеловодства
391110, г. Рыбное Рязанской области, ул. Почтовая, 22, телефон (49137) 5-15-47

Протокол испытаний № 3
№ 24 января 2020 г

ИЛ ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»

Наименование образца: СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ (образец №2)

Наименование и адрес заказчика: Бышов Д.Н., г.Рязань, ул.Костычева, д.1

НД на продукцию: ГОСТ 31775-2012 СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Дата проведения испытаний: 22.01.2020 г – 24.01.2020 г

Результаты испытаний:

Наименование определяемого показателя	Значение показателя		НД на метод испытания
	Норма по НД	Фактически	
Цвет	От светло-коричневого до бурого	От коричневого до темно-коричневого	ГОСТ 31775-2012
Структура	Рассыпчатая, с комочками, сохранившими форму ячеек, размером не более 75 мм	Рассыпчатая, с чешуйками размером до 4 мм	ГОСТ 31775-2012
Посторонние примеси (комки земли, камни, деревянные стружки, щепки и др.)	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воды, %, не более	10	9,6	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воска, %, не менее	18	64	ГОСТ 31775-2012
Пораженность восковой молью	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012

Частичная перепечатка протокола не допускается.

Настоящий протокол распространяется только на образцы, предоставленные для испытаний.

Руководитель ИЛ

С.Н. Есенкина

Исполнители

Ст. лаборант-исследователь

Г.А. Седова



Продолжение приложения П

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный центр пчеловодства
391110, г. Рыбное Рязанской области, ул. Почтовая, 22, телефон (49137) 5-15-47

Протокол испытаний № 4 № 24 января 2020 г

ИЛ ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»

Наименование образца: СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ (образец №3)

Наименование и адрес заказчика: Бышов Д.Н., г.Рязань, ул.костычева, д.1

НД на продукцию: ГОСТ 31775-2012 СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Дата проведения испытаний: 22.01.2020 Г – 24.01.2020 Г.

Результаты испытаний:

Наименование определяемого показателя	Значение показателя		НД на метод испытания
	Норма по НД	Фактически	
Цвет	От светло-коричневого до бурого	От светло-коричневого до коричневого	ГОСТ 31775-2012
Структура	Рассыпчатая, с комочками, сохранившими форму ячеек, размером не более 75 мм	Рассыпчатая, с чешуйками размером до 4 мм	ГОСТ 31775-2012
Посторонние примеси (комки земли, камни, деревянные стружки, щепки и др.)	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воды, %, не более	10	4,2	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воска, %, не менее	18	54	ГОСТ 31775-2012
Пораженность восковой молью	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012

Частичная перепечатка протокола не допускается.

Настоящий протокол распространяется только на образцы, предоставленные для испытаний.

Руководитель ИЛ



С.Н. Есенкина

Исполнители

Ст. лаборант - исследователь



Г.А. Седова



окончание приложения П

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный центр пчеловодства
391110, г. Рыбное Рязанской области, ул. Почтовая, 22, телефон (49137) 5-15-47

Протокол испытаний № 5 24 января 2020 г

ИЛ ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»

Наименование образца: СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ (образец №4)
Наименование и адрес заказчика: Бышов Д.Н., г.Рязань, ул.Костычева, д.1
НД на продукцию: ГОСТ 31775-2012 СЫРЬЕ ВОСКОВОЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
Дата проведения испытаний: 22.01.2020 г -24.01.2020 г
Результаты испытаний:

Наименование определяемого показателя	Значение показателя		НД на метод испытания
	Норма по НД	Фактически	
Цвет	От светло-коричневого до бурого	От светло-коричневого до коричневого	ГОСТ 31775-2012
Структура	Рассыпчатая, с комочками, сохранившими форму ячеек, размером не более 75 мм	Рассыпчатая, с чешуйками размером до 4 мм	ГОСТ 31775-2012
Посторонние примеси (комки земли, камни, деревянные стружки, щепки и др.)	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воды, %, не более	10	8,7	ГОСТ 31775-2012
Массовая доля воска, %, не менее	18	72	ГОСТ 31775-2012
Пораженность восковой молью	Не допускается	нет	ГОСТ 31775-2012

Частичная перепечатка протокола не допускается.

Настоящий протокол распространяется только на образцы, предоставленные для испытаний.

Руководитель ИЛ



С.Н. Есенкина

Исполнитель
Ст. лаборант-исследователь



Г.А. Седова



Тел. (905) 571-74-39
e-mail: bortniki-kfh@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ
Глава КФХ «Бортники»
«Бортники» Д.В. Колесниченко
2019 г.



АКТ

производственных испытаний устройства очистки воскового сырья

Комиссия в составе: заведующий кафедрой электроснабжения, д.т.н., доцент Каширин Д.Е., к.т.н., доцент Гобелев С.Н., к.т.н., старший преподаватель Нагаев Н.Б., соискатель Павлов В.В., глава КФХ «Бортники» Колесниченко Д.В. составили настоящий акт.

В период с 18.11.2019 по 29.11.2019 в КФХ «Бортники» проходили производственные исследования устройства очистки воскового сырья, созданного на кафедре электроснабжения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

Устройство содержит вертикальную цилиндрическую камеру, предназначенную для измельчения сотов, с установленным внутри ротором с штифтами, под камерой измельчения расположена камера гидравлической очистки с установленными внутри мешалками, рабочие органы в виде штифтов и мешалок расположены на одном рабочем валу.

В процессе очистки частота вращения ротора составляла 1150-1200 Об/мин и контролировалась при помощи частотного регулятора ALTIVAR-31, максимальная потребляемая мощность не превышала 0,55 кВт. В процессе испытаний было переработано 205 соторамок, получено 76,7 кг воскового вороха, очищенного от перги и других водорастворимых органических загрязнений. Остаточная загрязненность очищенного воскового сырья составляет 0,8-0,9%. Производительность технологического цикла очистки составляла 13-14 кг воскового сырья в час. За время испытаний устройства очистки воскового сырья поломок и отказов не наблюдалось. В результате проведения очистки воскового сырья с использованием данного устройства выход товарного воска увеличился от 22,5% до 37% (до 27,7% по отношению к исходной массе сырья).

Заведующий кафедрой электроснабжения,

д.т.н., доцент

К.т.н., доцент

К.т.н., старший преподаватель

Соискатель

 Д.Е. Каширин

 С.Н. Гобелев

 Н.Б. Нагаев

 В.В. Павлов

продолжение приложения Р

Тел. (905)571-74-39
E-mail: bortniki-kfh@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ
Глава КФХ «Бортники»

Д.В. Колесниченко
« 11 » 2019 г.



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ

Настоящим актом подтверждается, что в августе 2018 года на пасеке КФХ «Бортники», расположенной в деревне Синьково Рыбновского района Рязанской области, проведены исследования по определению эффективности внедрения технологии очистки воскового сырья (патент РФ № 2656968 «Способ очистки воскового сырья») с использованием установки для очистки воскового сырья (патент РФ № 2672403) и технологии очистки пчелиных сотов от загрязнений (патент РФ № 2662169 «Способ очистки пчелиных сотов от загрязнений») с использованием вибрационной установки для очистки пчелиных сотов от загрязнений (патент РФ № 2634432), разработанные сотрудниками ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева».

Форма внедрения: установка для очистки воскового сырья (патент РФ № 2672403) и вибрационная установка для очистки пчелиных сотов от загрязнений (патент РФ № 2634432).

Степень внедрения: опытно-производственные образцы установки для очистки воскового сырья и вибрационной установки для очистки пчелиных сотов от загрязнений.

Объем внедрения мероприятия: крестьянско-фермерское хозяйство.

Эффективность от внедрения: применение способа и установки для очистки воскового сырья позволяет получить очищенное восковое сырье с примесями перги и других водорастворимых загрязнений в количестве, не превышающем 2%; применение способа и вибрационной установки для очистки пчелиных сотов от загрязнений позволяет получить неповрежденные соты, очищенные от перги и других водорастворимых загрязнений, пригодные для перетопки в качестве воскового сырья или повторного использования в качестве гнездовых соторамок.

ФИО, должность работников, участвующих во внедрении: д.т.н. доцент Каширин Дмитрий Евгеньевич, к.т.н. доцент Бышов Дмитрий Николаевич, аспирант Павлов Виктор Вячеславович, аспирант Протасов Андрей Викторович.

д.т.н., доцент

Д.Е. Каширин

к.т.н., доцент

Д.Н. Бышов

аспирант

В.В. Павлов

аспирант

А.В. Протасов

«Утверждаю»

Научный руководитель

ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»



«14» сентября 2020 г.



АКТ ИСПЫТАНИЙ

результатов диссертационной работы БЫШОВА Д.Н.
«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО
СЫРЬЯ» в ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства» .

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе председателя – научного руководителя Лебедева В.И., и членов комиссии: научного сотрудника С.Н. Есенкиной и старшего лаборанта-исследователя Г.А.Седовой, удостоверяем, что на протяжении периода с 08.2018 по 04.2019 года были испытаны технологии очистки воскового сырья (патент РФ № 2656968) и очистки пчелиных сотов от загрязнений (патент РФ № 2662169), разработанные доцентом кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Рязанского Государственного агротехнологического университета Бышовым Д.Н. Испытанные технологии являются эффективными при производстве воска в условиях предприятий разных форм собственности.

Председатель:

Научный руководитель
Лебедев В.И.



Члены комиссии:
Научный сотрудник
Есенкина С.Н



Старший лаборант-исследователь
Седова Г.А.





**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

ул. Есенина, 9, Рязань, 390006. Тел.: (4912) 97-17-07, факс: (4912) 21-06-69
e-mail: mshp@ryazagro.ru http://www.ryazagro.ru/
ОКПО 00073536, ОГРН 1026201267223, ИНН 6231005198

12.02.2024

№

27/3-698

На № _____ от _____

Информация для рекомендации и
внедрения

В ФГБОУ ВО РГАТУ
к.т.н., доценту кафедры
эксплуатации машинно-
тракторного парка

БЫШОВУ Д.Н.

Уважаемый Дмитрий Николаевич!

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области рассмотрело рекомендации по увеличению выхода воска и повышению его чистоты путём создания и применения технических устройств, удаляющих органические загрязнения из воскового сырья, созданные в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ).

В условиях реализации приоритетного национального проекта развития АПК, направленного на формирование благоприятных для развития сельского хозяйства условий производства и обеспечения населения продуктами питания собственного производства, общего повышения уровня жизни и состояния экономики страны, автором рекомендаций выбрана весьма актуальная тема работы. Увеличение выхода воска и повышение его чистоты, особенно в небольших хозяйствах, для которых пчеловодство не является единственным видом хозяйственной деятельности, актуально и жизненно важно как для сельскохозяйственных товаропроизводителей и потребителей продукции отечественного АПК, так и для продовольственной безопасности России в целом.

В соответствии с поставленной целью, автору удалось решить следующие задачи:

-проанализировать научно-производственный опыт очистки воскового сырья от органических загрязнений и существующие способы, а также средства механизации очистки;

-исследовать физико-механические свойства воскового сырья и содержащихся в нём загрязнений для обоснования основных требований, предъявляемых к техническим устройствам, перерабатывающим данное сырьё;

-теоретически обосновать и экспериментально уточнить параметры технических устройств, позволяющих удалять органические загрязнения из воскового сырья;

-разработать и внедрить установку для очистки воскового сырья и вибрационную установку для очистки пчелиных сотов для осуществления предложенных способов очистки применительно к конкретным эксплуатационным и природно-климатическим условиям хозяйств Рязанской области;

-дать оценку технико-экономической эффективности применения разработанных технологий и технических устройств очистки воскового сырья в сравнении с серийными аналогами и конкретные (практические) рекомендации производству;

-выявить перспективные направления научных исследований, направленных на дальнейшую модернизацию технологий и технических устройств очистки воскового сырья для АПК.

На основе проведенных исследований представлены практические рекомендации по внедрению в сельскохозяйственное производство научнообоснованных технических решений, позволяющих удалять органические загрязнения из воскового сырья.

В наши дни разработка приобрела особую актуальность. Массовая гибель больших пасек от химических отравлений и болезней требует минимализации потерь, очистки и переработки погибшего, сильно засоренного биомассой сотового хозяйства, за короткий период времени. Малая механизация даёт такую возможность.

Повышение цен на воск и его периодическая востребованность для разнонаправленных производств, изменяют требования к качеству этого продукта пчеловодства.

Основные положения и результаты работы представляют значительный практический и научный интерес для агропромышленного комплекса региона, в том числе механизированные способы очистки воскового сырья от загрязнений (патенты РФ №2656968, №2662169) перед тепловой переработкой, установка для очистки воскового сырья (пат. РФ №2672403), вибрационная установка для очистки пчелиных сотов (пат. РФ №2634432).

Вышеуказанные технические и технологические решения рекомендуются к внедрению в хозяйствах АПК Российской Федерации, а также на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения.

окончание приложения Р

Теоретические основы и результаты исследований по очистке воскового сырья от органических загрязнений рекомендуются к использованию научно-исследовательскими институтами, проектными организациями и конструкторскими бюро, а также к внедрению в учебном процессе образовательных учреждений, подведомственных МСХ РФ.

Министр



Д.И. Филиппов

Колова Ольга Владимировна
+7(4912) 21-07-70

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОРДОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ АГРОБИЗНЕСА»

Адрес: 430904, Республика Мордовия,
г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 33

факс: (8-8342) 25-37-40
25-37-40; 25-37-35
e-mail: ipka-rm@mail.ru

В федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ), доценту кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка к.т.н., доценту Д.Н. Бышов

СПРАВКА о внедрении

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса» рассмотрело рекомендации по увеличению выхода воска и повышению его чистоты путём создания и применения технических устройств, удаляющих органические загрязнения из воскового сырья, созданные в ФГБОУ ВО РГАТУ.

При реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, с учетом обеспечения продовольственной безопасности России в связи с санкциями западных стран, которые отразились на рынке продукции пчеловодства, автором рекомендаций выбрана весьма актуальная тема исследований. Очистка воскового сырья от загрязнений перед вытопкой воска весьма перспективна как в небольших хозяйствах, для которых пчеловодство не является единственным видом хозяйственной деятельности, так и в малых, средних фермерских и крупных хозяйствах.

Автором проведены исследования, включающие научно-обоснованные и широко апробированные рекомендации по внедрению в сельскохозяйственное производство технических решений по применению устройств, позволяющих удалять органические загрязнения из воскового сырья.

Основные положения и результаты работы представляют несомненный практический и научный интерес для пчеловодческих хозяйств, предприятий, специализирующихся на переработке продукции пчеловодства, научных организаций, работающих в этой сфере, послужат методическим пособием при подготовке и переподготовке специалистов АПК в ВУЗах, учреждениях дополнительного профессионального образования подведомственных Министерству сельского хозяйства Российской Федерации.

Рекомендации одобрены методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса» и внедрены в учебный процесс.

Ректор ФГБОУ ДПО МИПКА
доктор техн. наук, профессор



М.Н. Чаткин

продолжение приложения С

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 1

от 19 сентября 2023 года

заседания Методического совета ФГБОУ ВО РГАТУ

Председатель Методического совета	- первый проректор	Борычев Сергей Николаевич
Заместитель председателя Методического совета	- начальник Методического отдела	Якунин Юрий Викторович
Секретарь Методического совета	- преподаватель кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита	Стишкова Елена Владимировна

Присутствовали члены Методического совета:

председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте) декана автодорожного факультета		Андреев Константин Петрович Аникин Николай Викторович Бакулина Галина Николаевна
декан факультета экономики и менеджмента, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент (Производственный менеджмент, Экономика и управление на предприятиях отрасли) декан инженерного факультета		Бачурин Алексей Николаевич Быстрова Ирина Юрьевна
декан факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.04.02 Зоотехния (Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства) зам. декана технологического факультета		Вавилова Наталья Владимировна Ваулина Ольга Анатольевна Гаврилина Ольга Петровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)		Голиков Алексей Анатольевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.10 Гидромелиорация (Строительство и эксплуатация гидромелиоративных систем)		Евсенина Марина Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Автомобильный сервис)		Ерофеева Татьяна Валериевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия (Агрономия)		
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции (Технология производства, хранения и переработки продукции животноводства)		
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)		Есенин Михаил Анатольевич
директор научной библиотеки		Коваленко Татьяна Александровна

продолжение приложения С

председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Автомобильные дороги)	Колошеин Дмитрий Владимирович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.06.01 Ветеринария и зоотехния (Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза, Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства)	Кондакова Ирина Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве)	Костенко Михаил Юрьевич
председатель учебно-методической комиссии по специальности 36.05.01 Ветеринария (Ветеринария)	Кулаков Виталий Владиславович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение (Инновационные экологически безопасные агротехнологии),	Кунцевич Алексей Александрович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия (Адаптивное земледелие)	Лупова Екатерина Ивановна
председатель учебно-методической комиссии по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (Автомобили и тракторы)	Максименко Ольга Олеговна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции)	Морозов Александр Сергеевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.05 Садоводство (Декоративное садоводство, газоноведение и флористика)	Назарова Анна Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)	Олейник Дмитрий Олегович
начальник отдела по работе с инвалидами и лицами с ограниченными возможностями по здоровью	Пашканг Наталья Николаевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)	Поликарпова Елена Петровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (Агроэкология)	Ручкина Анастасия Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза (Ветеринарно-санитарная экспертиза)	Сайтханов Эльман Олегович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)	Терентьев Вячеслав Викторович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Городское строительство и хозяйство)	Ткач Татьяна Сергеевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.03.01 Биология (Биоэкология)	Уливанова Галина Викторовна

продолжение приложения С

председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Общее земледелие, растениеводство, Агрохимия)	Фадькин Геннадий Николаевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Лесное и лесопарковое хозяйство)	
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния (Зоотехния)	Федосова Ольга Николаевна
декан технологического факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организации общественного питания (Технология организации ресторанного дела)	Черкасов Олег Викторович
проректор по развитию и качеству образовательного процесса, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.02 Менеджмент(Управленческая деятельность в АПК)	Шашкова Ирина Геннадьевна
начальник отдела аспирантуры и докторантуры, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов(Техническая эксплуатация транспорта и автосервис)	Юхин Иван Александрович

ПОВЕСТКА СОВЕТА:

3. Разное (рассмотрение учебно-методических пособий, разработанных кафедрами, на предмет рекомендации в печать и использования в учебном процессе).

СЛУШАЛИ: О рассмотрении:

- монографии «Бышов Д.Н. Совершенствование энергосберегающих технологий извлечения перги / Бышов Н.В. и др. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГТУ. – 2017. – 192 с.»;

- патентов:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

Для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение,

Электрические станции и подстанции), на предмет рекомендации использования в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности.

Монография и патенты подготовлены кандидатом технических наук, доцентом кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Бышовым Дмитрием Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электроснабжение инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Кашириным Дмитрием Евгеньевичем.

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к использованию в учебном процессе монографию «Бышов Д.Н. Совершенствование энергосберегающих технологий извлечения перги / Бышов Н.В. и др. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 2017. – 192 с.», а также патентов:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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. Предназначенных для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции).

Монография и патенты подготовлены кандидатом технических наук, доцентом кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Бышовым Дмитрием Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электроснабжение инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Кашириным Дмитрием Евгеньевичем.

ГОЛОСОВАНИЕ – ЕДИНОГЛАСНО.

Председатель Методического совета

Секретарь Методического совета



С. Н. Борычев

Е. В. Стишкова