

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



ПАВЛОВ ВИКТОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ
ВОСКОВОГО СЫРЬЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Каширин Дмитрий Евгеньевич

Рязань 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования	10
1.1. Использование воска в народном хозяйстве	10
1.2. Характеристика и классификация воскового сырья	11
1.3. Анализ существующих механизированных способов получения воска	16
1.4. Анализ существующих средств получения воска из воскового сырья	18
1.5. Анализ существующих способов повышения качества воска	27
1.6. Обзор результатов исследований получения воска из воскового сырья .	37
1.7. Выводы по первой главе	42
1.8. Цель работы и задачи исследований	43
Глава 2. Исследование физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений	44
2.1. Программа исследований	44
2.2. Методика исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений	45
2.2.1. Методика определения влажности загрязнений воскового сырья и доведения ее до требуемых значений	45
2.2.2. Методика исследования влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, и ее грагулометрического состава на выход воска ...	47
2.2.3. Методика определения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава	49
2.2.4. Методика исследования растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий	51
2.2.5. Методика получения и статистической обработки экспериментальных данных	56

2.3. Результаты исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений	60
2.3.1. Результаты исследования влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, и ее гранулометрического состава на выход воска.....	60
2.3.2. Результаты определения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава	62
2.3.3. Результаты исследования растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий	63
2.4. Выводы по второй главе	66
Глава 3. Теоретическое исследование процесса очистки воскового сырья	68
3.1. Схема устройства очистки воскового сырья	68
3.2. Программа теоретического исследования	70
3.3. Теоретическое исследование параметров штифтового измельчителя	71
3.4. Теоретическое обоснование геометрических параметров перемешивающего устройства	75
3.5. Выводы по третьей главе	80
Глава 4. Исследование процесса очистки воскового сырья в лабораторных условиях	81
4.1. Программа исследований	81
4.2. Лабораторная установка	81
4.3. Методика лабораторных исследований	87
4.3.1. Методика исследования параметров штифтового измельчающего аппарата	87
4.3.2. Методика исследования растворимости перги в воде при перемешивании	91
4.3.3. Методика исследования очистки воскового сырья в воде при перемешивании	95
4.4. Результаты лабораторных исследований	98
4.4.1. Результаты исследования параметров штифтового измельчающего	

аппарата	98
4.4.2. Результаты исследования растворимости перги в воде при перемешивании	100
4.4.3. Результаты исследования очистки воскового сырья в воде при перемешивании	104
4.5. Выводы по четвертой главе	105
Глава 5. Производственные исследования и экономическое обоснование эффективности внедрения устройства очистки воскового сырья	107
5.1. Программа производственных исследований	107
5.2. Опытно-производственный образец устройства очистки воскового сырья от загрязнений	109
5.3. Методика сравнительных исследований	111
5.4. Результаты сравнительных исследований	114
5.5. Определение суммы капитальных вложений для внедрения предлагаемого устройства очистки воскового сырья в производство	115
5.6. Расчет экономических показателей эффективности внедрения предлагаемого устройства очистки воскового сырья	118
5.7. Выводы по пятой главе	124
Заключение	125
Рекомендации производству	126
Перспективы дальнейшей разработки темы	126
Список литературы	127
Приложения	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В основу доктрины продовольственной безопасности нашей страны, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 30.01.2010 № 120, положен принцип постепенного импортозамещения сырьевой базы основных производственных отраслей, в числе которых особое место отведено сельскохозяйственному производству. Отрасль пчеловодства составляет важную его часть, от развития которой зависит существование и развитие других сельскохозяйственных отраслей, а также ряда отраслей промышленности и медицины [44, 45, 49, 50, 53, 54, 55, 77, 80, 81, 83, 85, 90, 130, 139, 148, 149, 150, 152, 153].

Воск является ценнейшим продуктом пчеловодства, снискавшим широкое распространение при производстве ряда пищевых продуктов и лекарственных препаратов [12, 13, 14, 15, 16, 17, 42, 76, 122, 123, 124, 125]. Этот продукт также необходим для развития отрасли пчеловодства в целом, а, следовательно, для увеличения объемов производства продуктов растениеводства.

В настоящее время объемы заготовки воска недостаточны. Такое положение дел является следствием несовершенства технических средств, применяемых для его очистки.

При получении воска основным загрязняющим компонентом воскового сырья является перга, представляющая собой утрамбованные в ячейки сотов и ферментированные пчелами пыльцевые обножки [4, 52, 77, 79, 84, 145]. Наличие перги в восковом сырье способствует потере части воска при перетопке, так как перга хорошо впитывает расплавленный воск, переводя его в связанное состояние. Кроме того, свободно стекающий воск, а тем более воск прессовой, полученный отжатием вытопок, как правило сильно загрязнен и является низкосортным воском.

В связи с вышесказанным, обоснование параметров устройства очистки воскового сырья от загрязнений перед перетопкой представляется весьма актуальной.

Степень разработанности темы. Совершенствованием средств очистки воскового сырья занимались многие известные авторы и ученые, такие как: К.В. Богомолов, Н.В. Будникова, Л.А. Бурмистрова, Н.В. Бышов, Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, Ю.Н. Кирьянов, В.А. Киселева, В.И. Лебедев, Р.В. Мамонов, Д.В. Митрофанов, Н.Б. Нагаев, В.Ф. Некрашевич, Л.В. Прокофьева, Л.В. Репникова, А. Ритше, А.А. Рогов, А. Рут, Н.С. Серпокрылов, В.А. Темнов, И.А. Успенский, В.Ю. Фролов, М.Н. Харитонова и другие.

Анализ работ исследователей показывает, что наиболее целесообразным представляется проведение очистки воскового сырья до тепловой переработки, так как при этом существенно увеличивается процент воска, извлекаемого из сырья, а также значительно повышается его качество.

Для очистки сырья от примесей перед перетопкой многими пчеловодами рекомендуется залить его теплой водой и выдержать в ней несколько суток, чтобы удалить водорастворимые компоненты, включая пергу [136]. Воду при этом следует менять многократно. Однако на практике замачивание воскового сырья перед перетопкой применяется редко, так как это требует дополнительных затрат труда, времени и ресурсов. Кроме того, длительный (до нескольких суток) контакт рыхлого воскового сырья с теплой водой приводит к поражению патогенной микрофлорой [27, 28, 29, 30, 31, 106, 107], что делает восковое сырье непригодным для дальнейшей переработки. В связи с вышесказанным представляется целесообразным исследование возможности проведения активной кратковременной механизированной очистки воскового сырья от загрязняющих примесей перед перетопкой.

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. ААА-А16-116060910025-5).

Цель исследования – обоснование параметров устройства очистки воскового сырья от загрязнений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

- проанализировать существующие способы и технические средства переработки воскового сырья;
- изучить физико-механические свойства воскового сырья, а также физико-механические свойства и состав содержащихся в нем загрязнений;
- теоретически обосновать параметры устройства очистки воскового сырья;
- экспериментально установить параметры устройства очистки воскового сырья;
- исследовать устройство очистки воскового сырья в производственных условиях и произвести оценку технико-экономического эффекта от его внедрения.

Объект исследования – параметры устройства очистки воскового сырья.

Предмет исследования – зависимость количественных и качественных показателей устройства очистки воскового сырья от его параметров.

Научная новизна диссертационной работы:

- установленные теоретические зависимости, позволяющие определить рациональные соотношения частоты вращения рабочего вала, а также диаметров камеры измельчения и камеры перемешивания устройства очистки воскового сырья;
- экспериментально установленные математические модели влияния параметров устройства для очистки воскового сырья на его рабочий процесс;
- результаты исследования устройства очистки воскового сырья в производственных условиях и оценка технико-экономического эффекта от его использования.

Теоретическая значимость. Установлены теоретические и экспериментальные зависимости, позволяющие определить рациональные параметры устройства очистки воскового сырья.

Практическая значимость. Разработано устройство очистки воскового сырья от загрязнений, позволяющее получать измельченное и очищенное от перги и других загрязнений восковое сырье. Результаты исследования могут быть использованы в пчеловодческой практике, а также на предприятиях, специализирующихся на переработке продуктов пчеловодства.

Методология и методы исследования. Методологическую базу теоретического исследования составляло применение вероятностного подхода и теории подобия. Лабораторные и производственные исследования проводили с применением методик планирования эксперимента, статистическую обработку результатов осуществляли на основе известных математико-статистических методов с применением компьютерных программ MS Excel 2016, Mathcad 15.0.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование параметров устройства очистки воскового сырья;
- результаты экспериментального исследования устройства очистки воскового сырья;
- результаты производственного исследования и технико-экономические показатели устройства очистки воскового сырья.

Достоверность результатов исследований. Основные положения диссертационной работы и результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтверждаются применением современных технических средств исследования, методик анализа и обработки результатов.

Реализация результатов исследования. На основании проведенных исследований был изготовлен опытно-производственный образец устройства очистки воскового сырья от загрязнений, прошедший производственные исследования в КФХ «Бортники» Рыбновского района Рязанской области в 2019 году.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на научно-практических конференциях различного уровня: VI Всероссийской научно-практической конференции с международным

участием «Образование, наука, практика: инновационный аспект», посвященной 70-летию Рубцовского индустриального института, ФГБОУ ВО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова» (2016 г.); Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» (2020 г.); 65-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ» (2020 г.).

Вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований лично или с непосредственным участием, обосновании параметров устройства очистки воскового сырья, статистической обработке и анализе полученных результатов исследований, написании научных статей и заявки на получение патента.

Публикации результатов исследования. Основные положения диссертационной работы изложены в 9 печатных работах, в том числе 4 в журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 1 в издании, входящим в базу Scopus, 1 патенте РФ на изобретение. Общий объем публикаций по теме диссертации составил 3,68 п.л., из них соискателю принадлежит 1,73 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 162 наименований и приложений. Работа изложена на 144 страницах основного текста, содержит 66 формул, 11 таблиц и 55 рисунков.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Использование воска в народном хозяйстве

Важнейшим природным продуктом, до сих пор не нашедшим себе полноценного синтетического заменителя, является пчелиный воск. Причина тому кроется в уникальности его биохимического состава и свойств.

Для пчел воск имеет двоякое значение: он служит им строительным материалом и является естественным влагоизолятором их жилищ. Воск является продуктом выделения восковых желез, расположенных в нижней части брюшка пчелы, и, просачиваясь через мельчайшие поры наружу, застывает под воздействием воздуха в виде прозрачных чешуек (пластин). Вес одной такой чешуйки составляет 0,18-0,25 мг. Эти восковые пластинки подбираются рабочими пчелами, которые растворяют их с помощью секрета верхних челюстных желез и строят из них соты, при этом воск снова твердеет. Пчелы прикрепляют соты к стенкам и потолку улья или надстраивают с двух сторон вощину – специальную основу, закрепленную пчеловодом на стальной проволоке в деревянной рамке и помещенную в улей. Однокорпусный улей вмещает 12 гнездовых рамок [2, 18, 99, 134, 135].

В сотах выводятся новые поколения пчел и откладываются запасы меда, пыльцы и перги. Восковыделение возможно только при избытке в организме пчелы ценных биологических веществ, поэтому пчелы усиленно пытаются нектаром и пыльцой.

Пчелиный воск представляет собой сложную композицию в основном органических веществ. В его состав входят три основные группы органических соединений (рис. 1.1) – свободные жирные кислоты, сложные эфиры, предельные углеводороды. В соответствии с требованиями ГОСТ 21179-2000 «Воск пчелиный. Технические условия» допускается содержание в воске незначительного количества воды (0,5-1,5%) и механических примесей (<0,3%). Кроме того, в воске присутствуют пыльца растений, пигменты и ароматические вещества.

Воск известен с древних времен благодаря своим смягчающим, противовоспалительным и ранозаживляющим свойствам, а также использовался для ритуальных целей. В настоящее время воск применяется более чем в 40 отраслях промышленности и народного хозяйства: радио- и электротехнике, гальванопластике, пищевой, текстильной, бумажной, стекольной промышленности, машиностроении, кондитерском и косметическом производстве, медицине, искусстве.

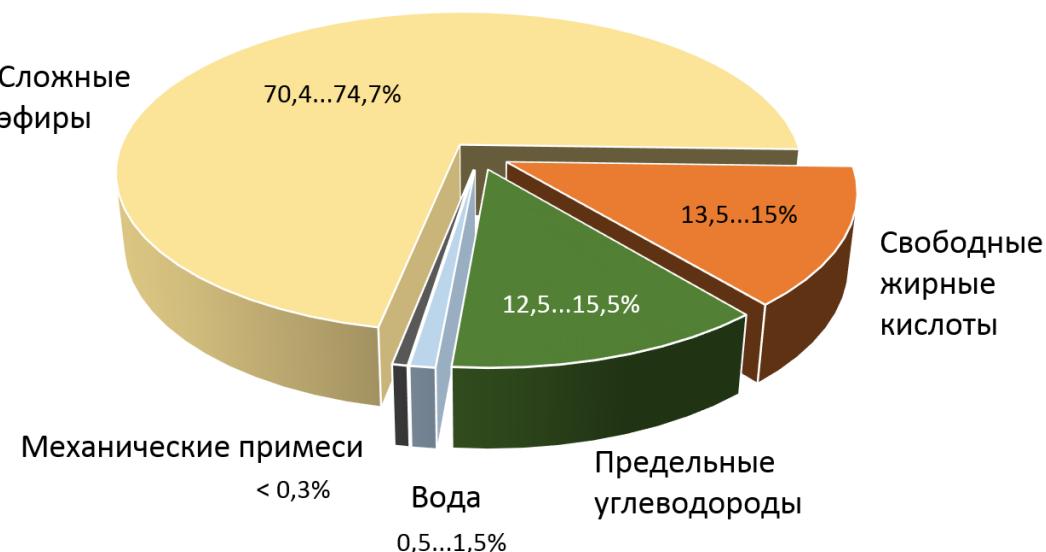


Рисунок 1.1 – Состав пчелиного воска

Однако, большая часть производимого на пасеках воска уходит на воспроизводство сотового хозяйства самих пасек, поэтому промышленность постоянно испытывает недостаток в его поставках, и неотложной задачей для пчеловодов является увеличение выхода товарного воска [122, 136, 154, 155].

Основной источник получения воска на пасеках – выбраковка старых и запергованных сотов, которые подлежат перетопке в воскотопках различных типов и конструкций.

1.2. Характеристика и классификация воскового сырья

Воск получают на пасеке или в заводских условиях из воскового сырья, которое в зависимости от стадии переработки принято подразделять на первичное

и вторичное сырье. К первичному восковому сырью относится сырье, которое еще не прошло горячую переработку – перетопку. Сюда относится сушь сотов, а также измельченные соты – восковой ворох, полученный, например, в результате выполнения технологических операций механизированного извлечения перги из сотов. Вторичное восковое сырье – это отходы, полученные после вытопки воска из первичного воскового сырья, а также его разваривания и прессования. Сюда относятся вытопки, пасечная и заводская мерва.

Новые, свежеотстроенные соты имеют светло-желтый, почти белый с кремовым оттенком цвет (рис.1.2-а). Их восковитость близка к 100%, перерабатывают их в основном на солнечных воскотопках сухим методом, а воск, вытапливаемый из таких сотов, является воском наивысшего качества и называется «капанец». Этим же способом перерабатывают забрус – восковые крышечки, которыми пчелы запечатывают ячейки с медом. Сушь светлых сотов без перги, с восковитостью более 70%, а также забрус относятся к восковому сырью 1-го сорта.

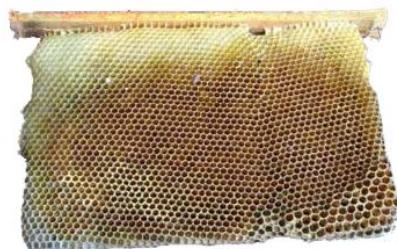
Со временем соты темнеют, приобретают желтый или темно-желтый цвет с красноватым или зеленоватым оттенком, который придают им включения пигментов и пыльцы, оставляемые рабочими пчелами при перемещении по сотам (рис.1.2-б). Кроме того, на пигментацию восковой основы оказывает влияние активность свободных жирных кислот. Такая сушь сотов относится к восковому сырью 2-го сорта, ее восковитость составляет 55-70%.

После вывода 3-4 поколений пчел цвет сотов постепенно доходит до темно-коричневого (рис.1.2-в). В ячейках присутствует большое количество перги и коконы, остающиеся от выводка (рис.1.2-г). Каждая личинка оставляет в ячейке два слоя коконов и экскременты между ними. Такие соты подлежат выбраковке и относятся к восковому сырью 3-го сорта, ее восковитость составляет 55% и ниже.

Забрус (восковые крышечки на медовых ячейках) срезают с сотов перед откачкой меда. Он практически целиком состоит из чистого воска, бактерициден (рис. 1.3). Забрус перерабатывают сухим методом, после предварительного отжатия остатков меда на специальных прессах.



а



б



в



г

Рисунок 1.2 – Сушь пчелиных сотов:

а – свежеотстроенные соты 1-го сорта; б – 2-й сорт; в – темная сушь 3-го сорта; г – перговые соты

Отдельной категорией воскового сырья является прополис. В нем содержится около 30% воска, который легко отделяется от смолы путем перетопки на солнечной воскотопке или простым нагреванием в воде, но выделенный воск является несортовым, прополисированным воском с низким по сравнению с обычным воском коэффициентом твердости и повышенным кислотным числом.

Пчелиный воск присутствует в тех или иных количествах в меде, перге, прополисе, равно как и в самом воске содержится различное количество примесей в виде пыльцевых зерен, перги, прополиса, меда.

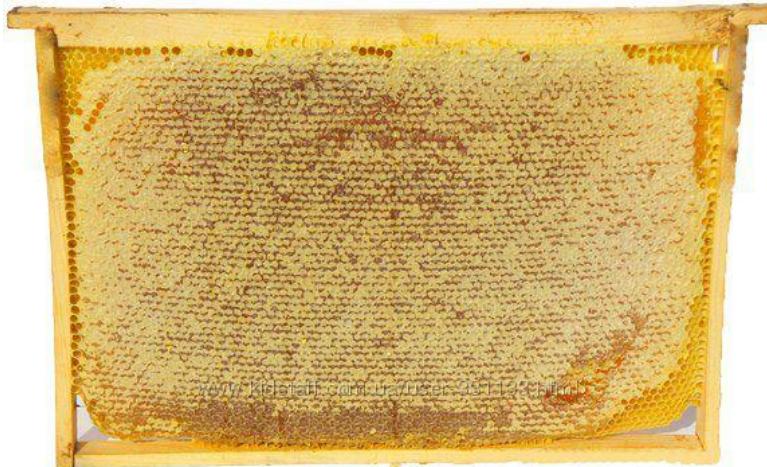


Рисунок 1.3 – Забрус на ячейках с медом

Все примеси, содержащиеся в восковом сырье принято разделять на растворимые и нерастворимые в воде примеси. К растворимым примесям относят мед, пергу, прополис, экскременты личинок пчел. К нерастворимым в воде примесям относятся коконы, остающиеся от расплода. Таким образом, восковое сырье состоит из трех групп компонентов: собственно воска, невосковых растворимых в воде компонентов и невосковых нерастворимых в воде компонентов.

Массовая доля воска в восковом сырье определяется понятием восковитости воскового сырья. Необходимо отметить, что в восковом сырье воск может быть как в свободном, так и в связанном состоянии, а восковитостью выражается общее процентное содержание воска в восковом сырье. С достаточной точностью восковитость можно определить только в лабораторных условиях методом экстрагирования (ГОСТ 31775-2012 «Сырье восковое. Технические условия»).

Выше было отмечено, что восковитость суши в зависимости от сорта находится в широком диапазоне значений. Однако, даже в одной рамке восковитость сотов может существенно варьировать. Часто сушь снизу бывает темной, а вверху желтой, и ее восковитость непостоянна по высоте сота (рис. 1.4).

Поэтому для правильного определения восковитости сырья отбирают так называемую среднюю пробу по методике, регламентированной ГОСТ 21179-2000.

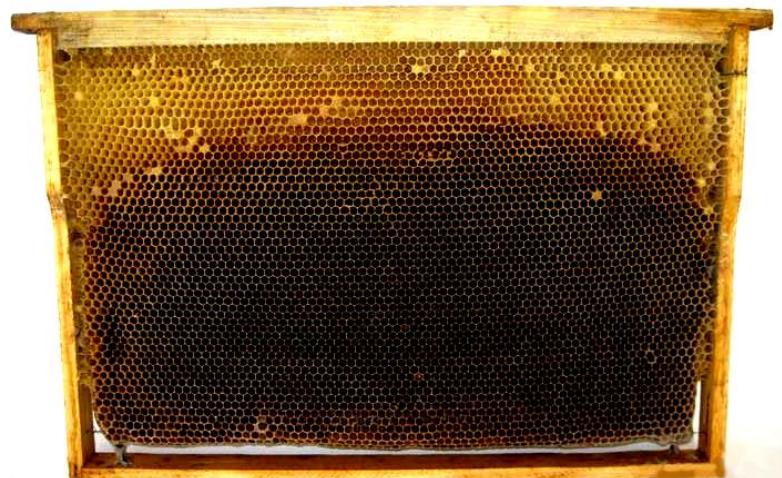


Рисунок 1.4 – Сушь с непостоянной восковитостью по высоте сота

Вторичное восковое сырье, получаемое как отходы после горячей переработки суши и выделения из нее свободного воска, – это пасечные вытопки и мерва (рис.1.5). В них содержится значительное количество связанного воска. Вытопки образуются непосредственно после стекания свободного воска, имеют восковитость до 50% и различимую ячеистую структуру (рис.1.5-а).



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

Они подлежат дальнейшему прессованию на пасечных воскопрессах, либо сдаются на воскозавод для переработки. В результате разваривания и прессования

воскового сырья (в том числе вытопок) на пасечных воскопрессах образуется мерва, или выжимки (рис.1.5-б), – не имеющая четко выраженной структуры масса с содержанием воска от 20 до 40%. В зависимости от условий переработки мерва бывает пасечная и заводская.

Количество и восковитость отходов, получаемых в результате переработки первичного воскового сырья, зависит от его сорта, степени загрязненности и качества переработки. Чем ниже сорт суши и больше содержащихся в ней загрязнений, тем больше вытопок и мервы образуется после перетопки, и тем ниже выход свободного воска.

1.3. Анализ существующих механизированных способов получения воска

Все известные способы выделения воска из воскового сырья основаны на трех физических процессах (рис. 1.6): стекание расплавленного воска под действием силы тяжести; отжатие воска прессованием или действием центробежных сил; растворение химическим растворителем с последующей перегонкой растворителя.

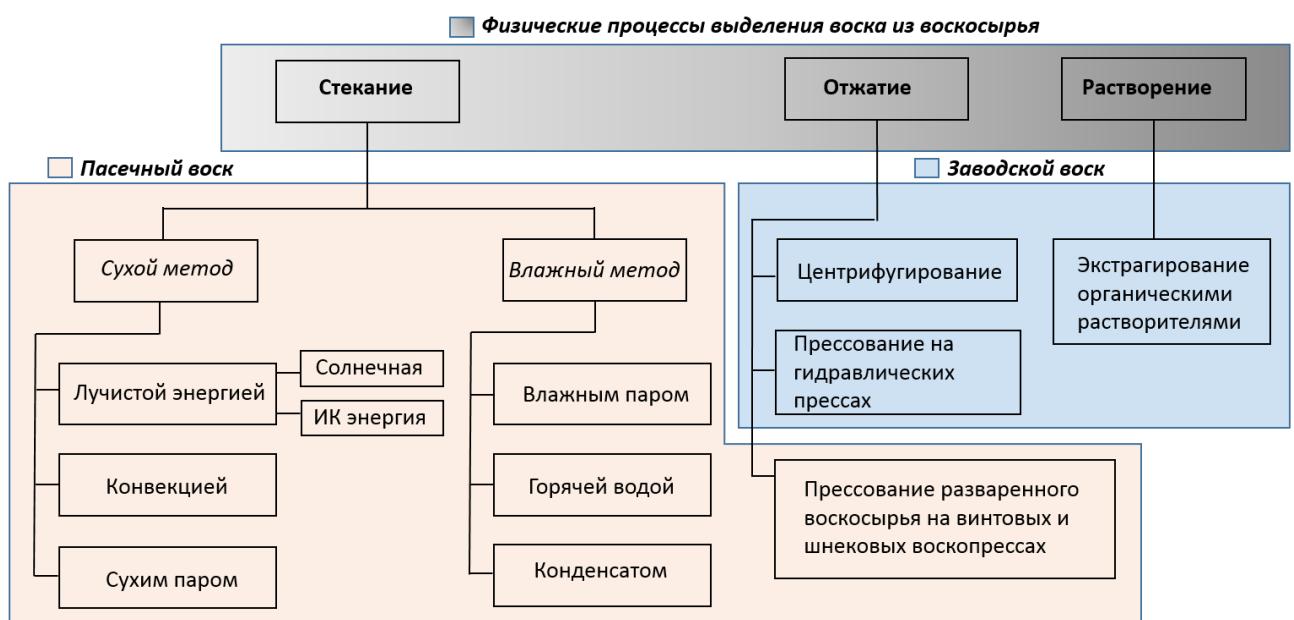


Рисунок 1.6 – Физические процессы, используемые для выделения воска из воскового сырья, и основанные на них методы получения пасечного и заводского (производственного) воска

В зависимости от того, в каких условиях перерабатывают восковое сырье, от стадии его переработки и восковитости, а также от сложности применяемой технологии и используемого оборудования получаемый воск принято подразделять на пасечный и заводской (производственный).

Практически все способы получения воска, за исключением основанных на экстрагировании, предполагают нагревание воскового сырья с переходом содержащегося в нем воска в расплавленное состояние. Данный процесс может быть осуществлен как при контакте воскового сырья с горячей водой, влажным водяным паром или конденсатом, так и другим путем. В первом случае метод переработки называется влажным методом. Во втором случае нагревание сырья происходит посредством передачи энергии лучеиспусканем (солнечные или инфракрасные лучи), взаимодействия с горячим воздухом (конвекция) или сухим паром. Этот метод переработки называется сухим методом.

Сухой и влажный метод переработки применяются при получении пасечного воска. В пачечных условиях перерабатывают сушь пчелиных сотов 1-3 сорта, забрус, а также получаемые при их перетопке т.н. вытопки путем разваривания и прессования на пасечных воскопрессах. Пасечный воск, полученный стеканием расплавленного воска, является воском наивысшего качества и идет на производство вошины с целью поддержания воскового баланса пасеки и увеличения ее сотового хозяйства. Этот воск имеет однородную зернистую структуру, приятный медовый запах, его температура плавления составляет 63-66 °C.

Полученные в результате разваривания и прессования пасечных вытопок отходы называются пасечной мервой. В ней содержится от 23 до 39 % воска, но выделить его возможно только в заводских условиях путем прессования на мощных прессах или центрифугированием. Получаемый воск называется производственным, он менее плотный и твердый по сравнению с пасечным воском, имеет неоднородную мелкозернистую структуру, температура плавления его находится в диапазоне от 63 до 69 °C. В отходах – заводской мерве, остается еще до 20% воска, который извлекают экстрагированием органическими

растворителями, такими как растворитель марки НЕФРАС, тетрахлорид углерода CCl_4 и т.п. Получаемый при этом воск называется экстракционным или техническим воском. Производственный, в том числе экстракционный воск идет на нужды промышленности и не пригоден для изготовления вошины для пчеловодства.

1.4. Анализ существующих средств получения воска из воскового сырья

На пасеках самым дешевым и доступным способом получения воска является сухой способ с использованием солнечной энергии. Для этого применяются солнечные воскотопки – несложные устройства, как правило изготавливаемые самими пчеловодами кустарным способом, но существуют и промышленные варианты (рис.1.7).

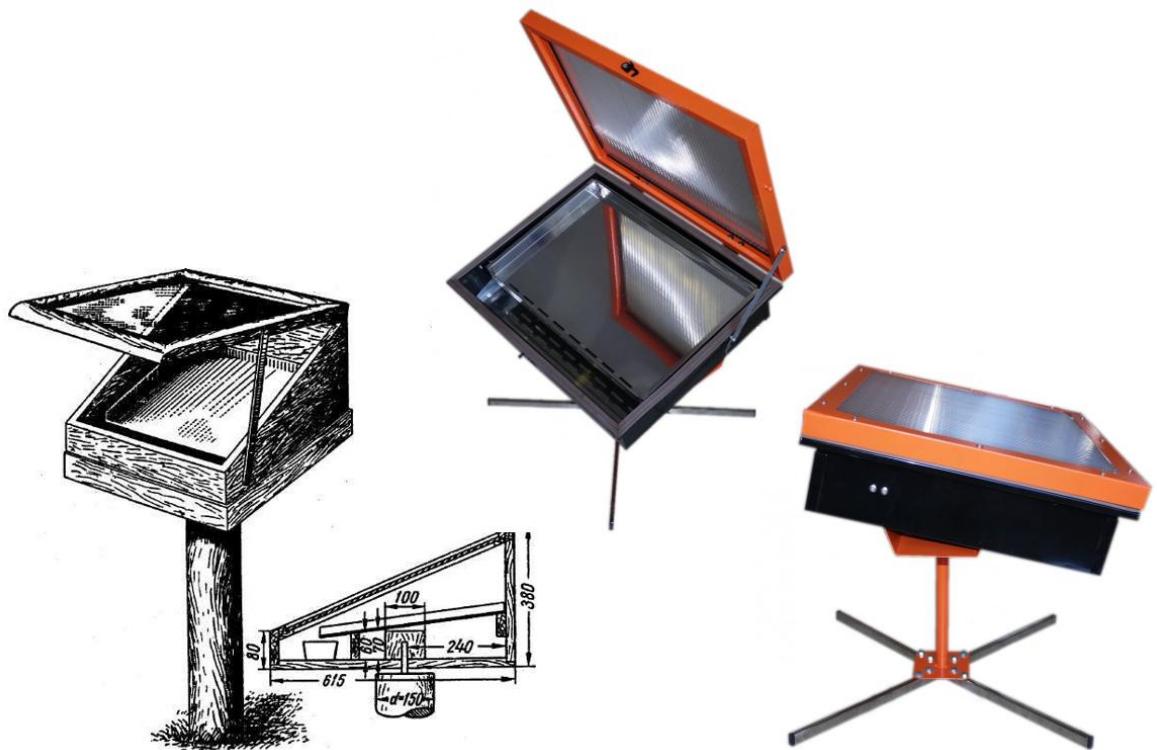


Рисунок 1.7 – Солнечная воскотопка

Чаще всего для изготовления корпуса солнечной воскотопки используется дерево или фанера, сверху корпус закрывается стеклянной рамой. Внутри корпуса устанавливается наклонное дно, на которое помещается восковое сырье. Находясь

под воздействием солнечных лучей в закрытом пространстве под стеклом, восковое сырье начинает нагреваться, воск плавится и стекает по наклонному дну в воскосборник. Для лучшего поглощения солнечных лучей воскотопку рекомендуется окрашивать снаружи в черный цвет, устанавливать в защищенном от ветра месте на столбе с возможностью поворачивания корпуса вокруг оси вручную или с использованием несложных механических приспособлений вслед за солнцем несколько раз в течении дня.

На солнечных воскотопках перетапливают сушь 1-го и 2-го сорта, а также забрус, предварительно отжатый от меда. Этим способом получают воск наивысшего качества, который идет на воспроизведение сотового хозяйства пасеки. В продажу этот воск поступает по самой высокой цене и используется в основном в медицине, косметической и пищевой промышленности.

Преимуществом солнечных воскотопок является экологичность и простота технологии, использование бесплатной солнечной энергии. Недостаток – зависимость от сезона (использование только в летний период), погодных условий, достаточно высокая восковитость отходов (в вытопках остается до 50% воска).

Сухим способом восковое сырье перерабатывается также с использованием водяных воскотопок. Теплоносителем в них является вода или минеральное масло, находящееся в межстенном пространстве корпуса с двойными стенками и нагреваемое на огне либо электрическим нагревателем с терморегулятором. Восковое сырье помещается во внутреннем баке в сетчатой кассете, а передача тепла происходит от внутренних стенок бака без контакта с теплоносителем.

Сушь 2-го и 3-го сорта, восковитость которой составляет 55-70% содержит значительное количество примесей в виде перги и других включений. Такое сырье рекомендуется перерабатывать влажным способом с использованием паровых воскотопок. Паровая воскотопка отличается от водяной тем, что верхняя половина внутренней стенки двустенного бака выполнена перфорированной. В межстенное пространство до отверстий перфорации внутренней стенки заливается вода, которая нагревается на огне либо электрическим нагревателем с

терморегулятором. При закипании воды пар через отверстия перфорации поступает внутрь корпуса, где находится сетчатая кассета с восковым сырьем. Таким образом сырье взаимодействует с влажным водяным паром. Конструкция такой воскотопки представлена на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Паровая воскотопка

Кассета вмещает до 20 кг воскового сырья, представляющего собой вырезанные из рамок куски сотов площадью до 250 см^2 . Аналогично описанной выше конструкции водяной воскотопки-воскопресса, паровую воскотопку также совмещают с прессующим устройством.

Значительно сокращает трудозатраты при переработке воскового сырья влажным способом применение паровых воскотопок, конструкция которых представлена на рис. 1.9. Они предназначены для перетопки сотов непосредственно в рамках. В двустенный бак прямоугольной формы помещают от 16 до 30 рамок. Преимуществом таких воскотопок, помимо отсутствия необходимости вырезать соты из рамок, является также осуществление дезинфекции деревянных рамок горячим паром в процессе вытопки воска.

Воск, остающийся в вытопках после горячей переработки сухим или влажным способом, является связанным с невосковыми компонентами и может быть частично извлечен путем применения давления на воскопрессах в пасечных

условиях. Наиболее типичная конструкция пасечного воскопресса приведена на рис. 1.10.

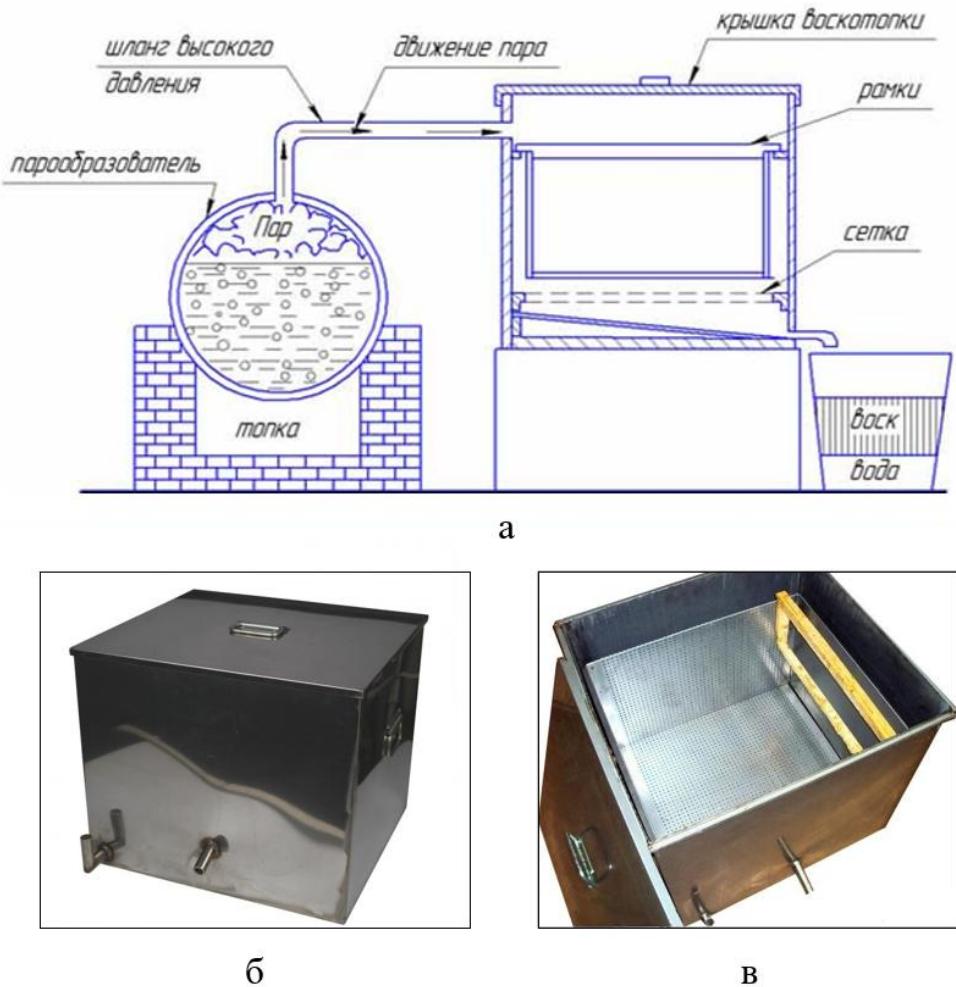


Рисунок 1.9 – Паровая воскотопка для вытопки воска из сотов в рамках:
а – схема рабочего процесса паровой воскотопки; б, в – общий вид паровой
воскотопки для вытопки воска из сотов в рамках.

Пасечный воскопресс состоит из корпуса (ступы), совмещенного с прессующим устройством, представляющим собой единый узел, состоящий из крышки (или перекладины), винта с рукояткой и прессующей плиты, перемещаемой внутри корпуса при вращении рукоятки винта.

Работа пасечного воскопресса осуществляется следующим образом. Восковое сырье (в том числе пасечные вытопки) предварительно разваривают в горячей воде в отдельном баке, например, в кормозапарнике, предназначенном для тепловой обработки кормов. Внутрь перфорированной камеры воскопресса

помещают мешковину, в которую загружают разваренное восковое сырье, затем сверху кладут прессующую плиту, закрепляют крышку или перекладину и вращением винта начинают прессование. Для поддержания температуры разваренного сырья воскопресс во время работы поливают горячей водой, которая стекает вместе с воском в специально установленную емкость.

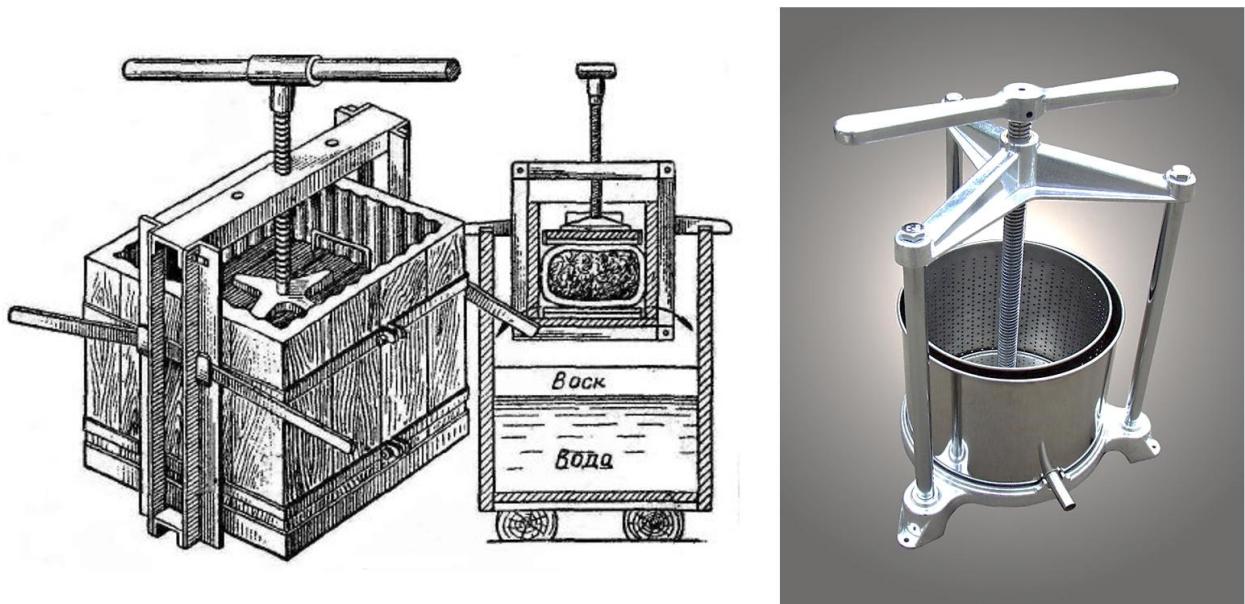
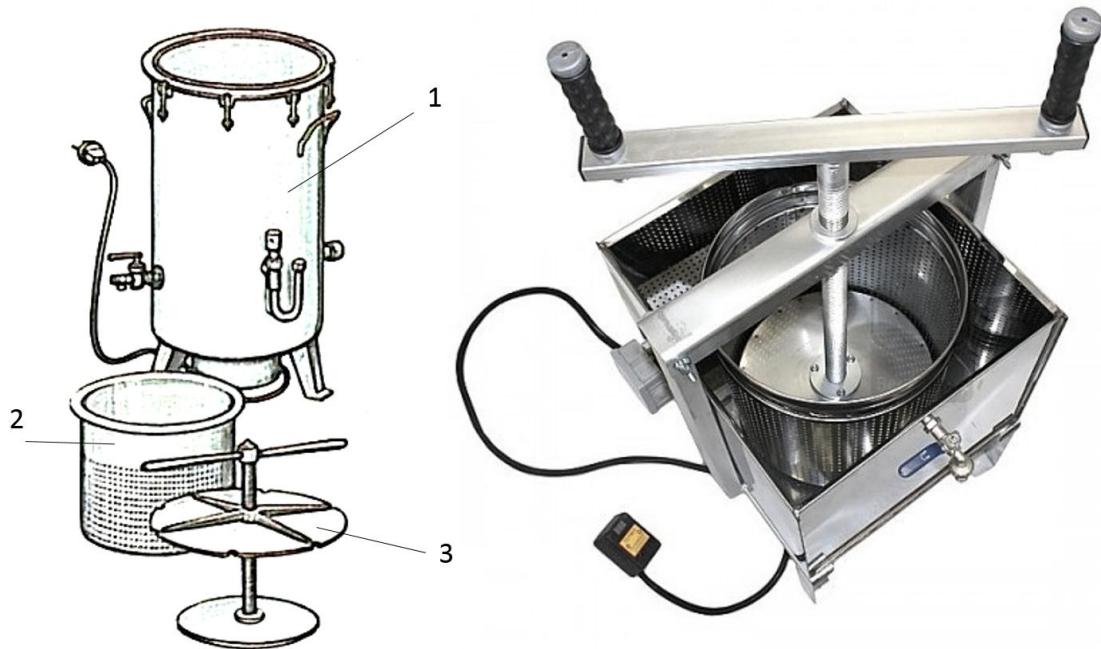


Рисунок 1.10 – Пасечный воскопресс

Популярностью у пчеловодов пользуется конструкция паровой или водяной воскотопки, совмещенная с прессующим устройством, описанным выше. Данное оборудование разработано в НИИ пчеловодства и называется воскотопка-воскопресс. Его конструкция представлена на рис. 1.11. Воскотопки-воскопрессы предназначены для переработки воскового сырья как влажным, так и сухим методами.

В первом случае теплоносителем является водяной пар, подаваемый непосредственно к воскосырю через отверстия внутренней стенки двухстенного корпуса, во втором случае – минеральное масло, находящееся в межстенном пространстве двухстенного корпуса устройства и нагреваемое электрическим нагревателем с терморегулятором до температуры выше 100 °C.



Условные обозначения: 1 – двухстенный корпус; 2 – прессовая камера; 3 – крышка с винтом и поршнем

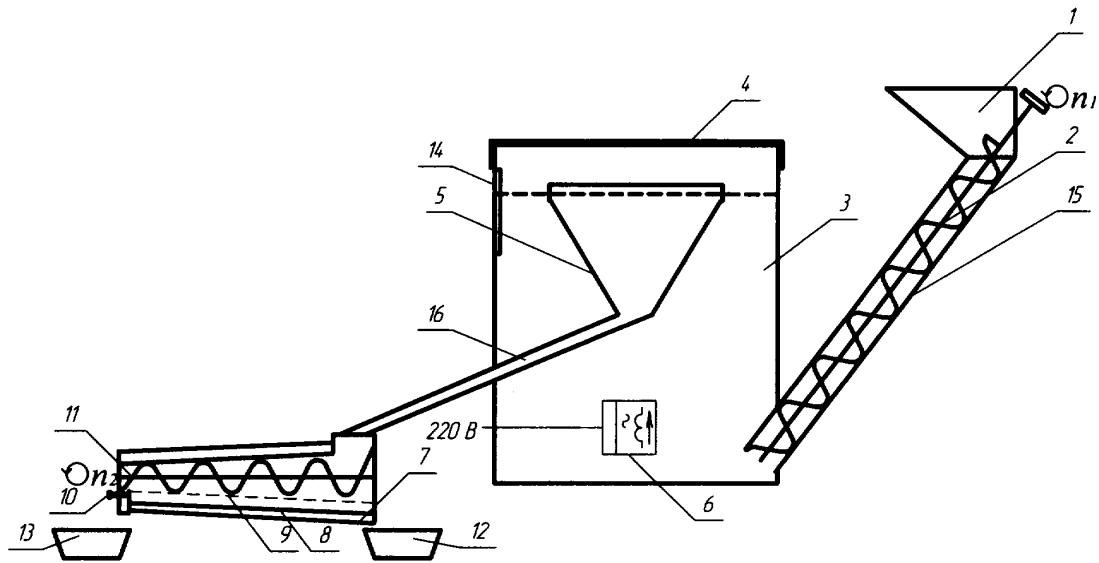
Рисунок 1.11 – Воскотопка-воскопресс

Сотрудниками РГАТУ им. П.А. Костычева под руководством д.т.н. профессора Некрашевича В.Ф. разработано несколько типов воскотопок, в конструкции которых имеется шнековое прессующее устройство (рис. 1.12-1.13).

Водяная воскотопка-воскопресс [99, 132, 133, 134, 135], схема которой изображена на рис.1.12, содержит бак 3 для разваривания воскового сырья, подающий механизм, состоящий из загрузочного бункера 1, патрубка 15 и подающего шнека 2, и прессующее устройство. Внутри бака 3 расположен ТЭН 6 и воскосборник 5 в виде воронки, соединенный патрубком 16 с прессующим устройством, снабженным собственным электрическим нагревателем 7, сеткой 9 и прессующим шнеком 11. Уровень воды в баке 3 контролируется визуально при помощи смотрового окна 14.

Работа воскотопки-воскопресса осуществляется следующим образом. В бак заливают воду до уровня ниже края воронки, включают ТЭН, и после закипания воды начинается подача воскового сырья через подающий механизм, при этом уровень воды постепенно поднимается. Всплывающее на поверхность воды растопленное восковое сырье переливается через край воронки и по патрубку 16

поступает в прессующее устройство, где разделяется на воск и мерву, собираемые в отдельные емкости.

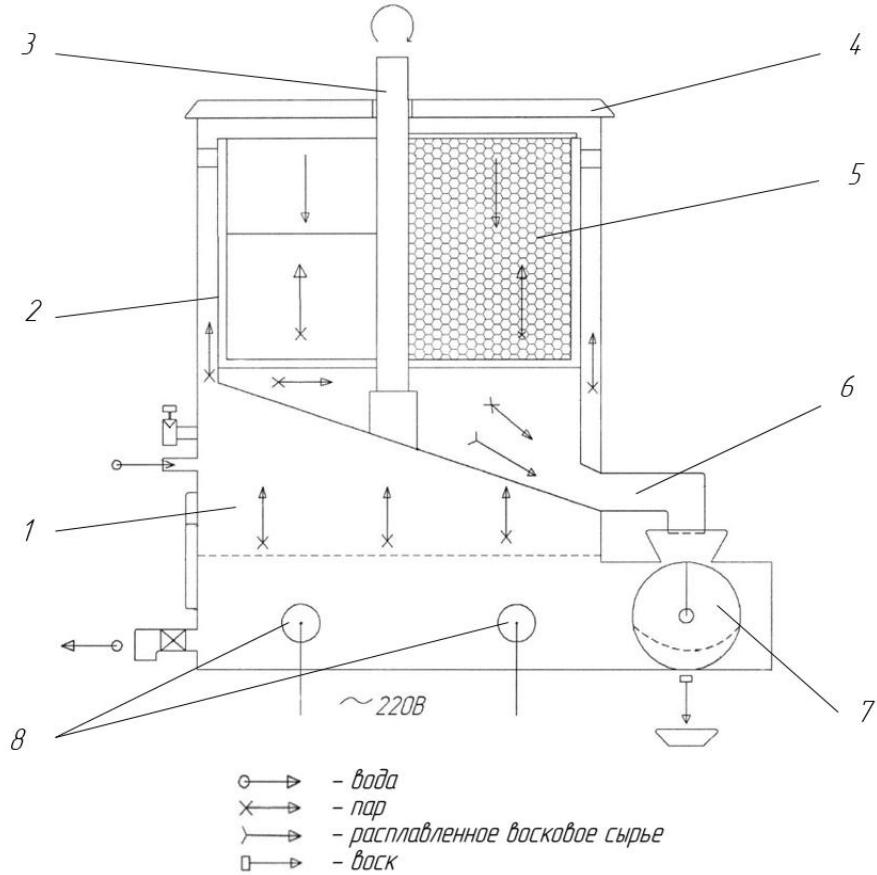


Условные обозначения: 1 – загрузочный бункер; 2 – подающий шнек; 3 – бак для разваривания воскового сырья; 4 – крышка; 5 – воскосборник; 6 – ТЭН; 7 – электронагреватель; 8 – корпус воскопресса; 9 – сетка; 10 – регулировочный винт; 11 – прессующий шнек; 12, 13 – емкости для сбора воска и мервы; 14 – смотровое окно; 15 – подающий патрубок; 16 – патрубок воскосборника

Рисунок 1.12 – Водяная воскотопка, снабженная шнековым прессующим устройством

Впоследствии авторы усовершенствовали данную конструкцию, разместив корпус шнекового прессующего устройства внутри бака для разваривания, что позволило сократить затраты на дополнительный обогрев воскопресса [99, 132, 133, 134, 135].

Изображенный на рис. 1.13 агрегат для вытопки воска [94] является паровой воскотопкой, которая, так же, как и предыдущее устройство, снабжена шнековым воскопрессом, размещенным внутри бака-парообразователя. Данный агрегат предназначен для переработки сотов непосредственно в рамках, которые размещаются радиально в креплениях на валу ротора-центрифуги, а отделение воскового сырья от рамок происходит под действием центробежной силы при вращении ротора. Расплавленное восковое сырье стекает по наклонному дну камеры центрифуги через сливной патрубок в воскопресс, где происходит отжатие воска и его выгрузка, а также выгрузка мервы.



Условные обозначения: 1 – бак парообразователя; 2 – корпус центрифуги; 3 – вал ротора центрифуги; 4 – крышка; 5 – рамки с сотами; 6 – патрубок; 7 – шнековый воскопресс; 8 – ТЭН

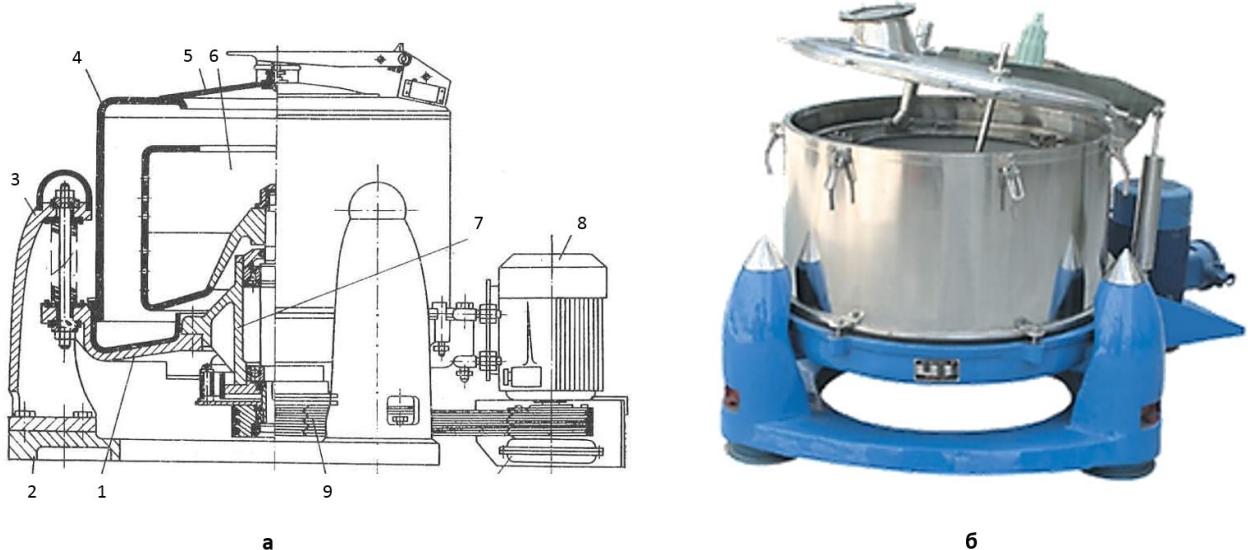
Рисунок 1.13 – Паровая воскотопка, снабженная центрифугой и шнековым прессующим устройством

При производстве воска в пасечных условиях с применением описанных выше технических средств образуются отходы – пасечные вытопки и мерва (рис. 1.5), в которых содержится связанный воск в количестве от 20 до 40% по массе. Эти отходы являются основным сырьем, поступающим на воскобойные заводы, оборудованные мощными гидравлическими прессами и центрифугами.

Используемые на воскозаводах гидравлические воскопрессы развивают давление от 2,5 до 4 кг/см². Восковое сырье измельчают вручную или с помощью механических приспособлений, разваривают острым паром, пропускаемым через шланги, затем прессуют, при этом прессуемую массу разделяют дренажными прослойками, в качестве которых используют солому. В процессе прессования

сырья его периодически поливают горячей водой с температурой 96...98 °С. Воск отстаивают в отстойниках емкостью 500 л и разливают в формы.

С.А. Доброхотовым разработан и внедрен способ переработки воскового сырья на воскозаводах с использованием промышленных фильтрующих центрифуг периодического действия типа ФМБ-600 и ТВ-600 (рис. 1.14). Станина 1 центрифуги расположена на трехколонном пружинном подвесе 3. Основу устройства составляет барабан 6 с перфорированными стенками, расположенный внутри кожуха 4, снабженного крышкой 5 с возможностью подачи пара внутрь центрифуги во время ее работы, приводимый во вращение от электродвигателя 8 посредством клиноременной передачи 9.



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 1.14 – Фильтрующая центрифуга периодического действия:
а – схема центрифуги; б – общий вид

Процесс центрифugирования воскосырья осуществляется следующим образом. Подготовленное измельченное восковое сырье влажностью 10...15% смешивают с дренажной соломой (2...4% от массы) и 18...20 кг этой смеси засыпают в мешковину центрифуги, которую размещают внутри перфорированного барабана. При его вращении сухое сырье равномерно

распределяется по перфорированной стенке. Затем в центрифугу подают острый пар температурой 103...105 °С под давлением 0,2...0,4 кг/см².

Длительность центрифугирования составляет 2 часа. Как правило, в цехах устанавливается несколько таких центрифуг, из которых выходящая восководяная эмульсия поступает в общую подогреваемую ванну вместимостью 600 л, в которой эмульсия отстаивается не менее 10...12 часов, разлагаясь на воск и воду при температуре не ниже 86 °С.

Центробежное отжатие воска, по сравнению с прессованием, является более производительным и эффективным, выход воска увеличивается приблизительно на 5-7%. Отход, получаемый при заводском прессовании или центрифугировании воскового сырья, называется заводской мервой и содержит до 20% воска, который может быть извлечен только растворением (экстрагированием) на специальных экстракционных установках.

1.5. Анализ существующих способов повышения качества воска

Пути улучшения качества товарного воска следует рассматривать в двух основных направлениях (рис. 1.15). Первое – это сортировка и тщательная подготовка воскового сырья к перетопке, включая его очистку от примесей. Второе направление связано с попытками повысить качество и чистоту самого воска непосредственно в процессе вытопки или после нее. Однако, единственным известным на сегодняшний день способом улучшения качества готового воска с сохранением его натуральных свойств является традиционное отстаивание воска после вытопки в горячем состоянии в течении 3-х и более суток, в результате чего коллоидные взвеси в виде пыльцы и других примесей постепенно оседают на нижней поверхности слитка, который после застывания приобретает относительно однородную структуру. Остальные способы улучшения качества воска после его вытопки связаны с изменением его физических, а иногда и химических свойств, а получаемый в результате «улучшенный» воск является несортированным, техническим воском и имеет ограниченное применение.

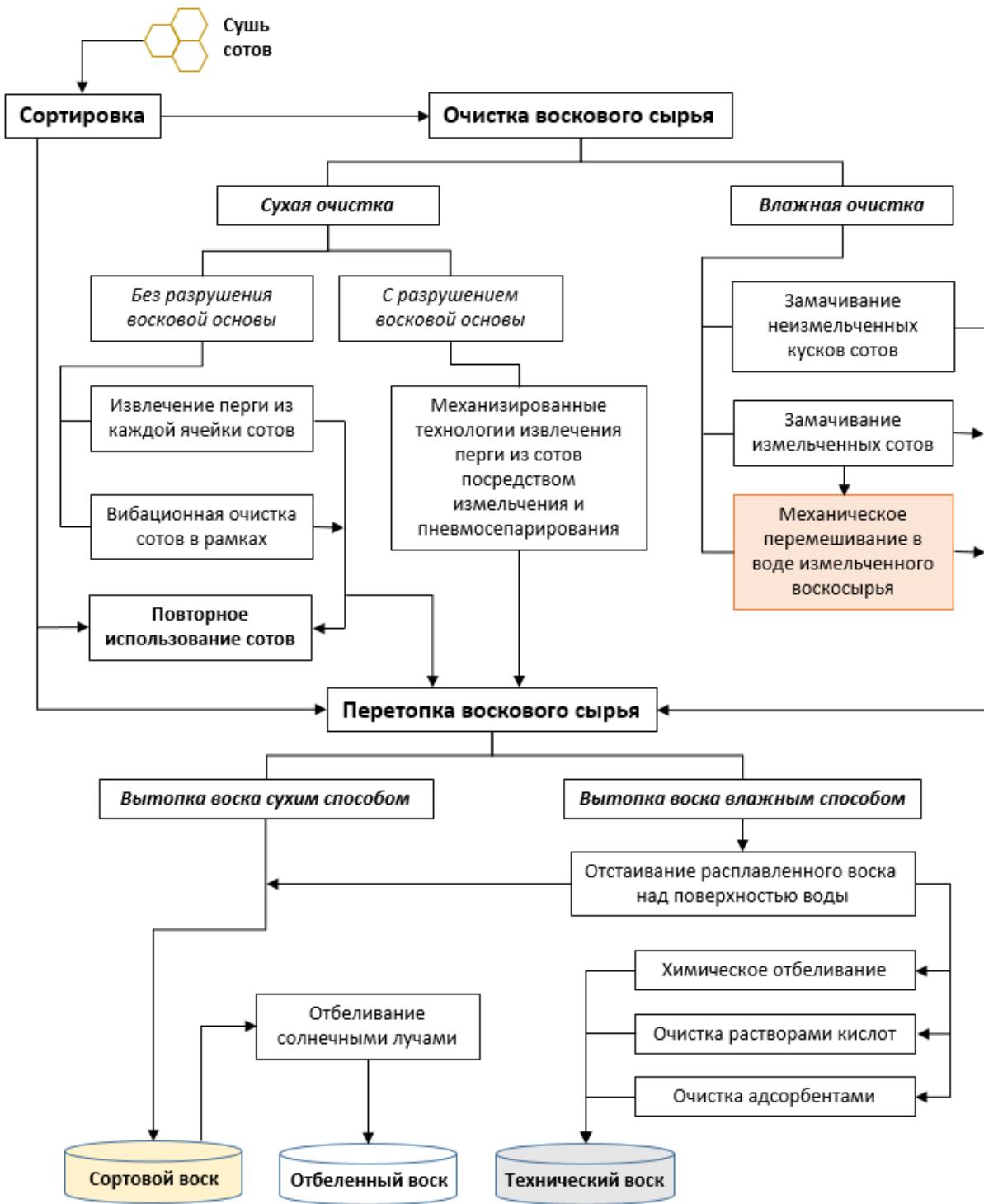


Рисунок 1.15 – Последовательность операций при переработке суши пчелиных сотов и способы повышения качества воска

В связи с выше сказанным представляется целесообразным исследовать первое направление улучшения качества товарного воска, а именно возможность

механизированной очистки воскового сырья от загрязняющих примесей до его перетопки и влияние процесса очистки на конечный результат.

Основным загрязняющим компонентом воскового сырья, существенно снижающим качество и выход товарного воска, является перга [32, 34, 35, 36, 37]. На сегодняшний день известно множество способов и основанных на них механизированных технологий извлечения перги из сотов. Эти способы и технологии можно объединить в две большие группы: способы извлечения перги из сотов с разрушением восковой основы и способы извлечения перги из сотов с сохранением целостности восковой основы.

Механизированные технологии извлечения перги из сотов с сохранением целостности восковой основы сотов позволяют получать очищенные от перги соты в рамках, которые подлежат дальнейшей перетопке непосредственно в рамках, или вырезанными из них, либо могут быть использованы вторично для закладки в улей.

Самые примитивные механизированные способы извлечения перги из сотов с сохранением восковой основы предполагают извлечение гранул из каждой ячейки отдельно. Наиболее известные устройства для выполнения этой трудоемкой процедуры представлены на рис. 1.16.

Вакуумное устройство (рис. 1.16-а), предложенное украинскими учеными И.А. Дудовым и Ю.В. Донченко [99, 132, 133, 134, 135], представляет держатель пистолетного типа с расположенным внутри вакуумным трубопроводом, заборный наконечник которого снабжен нагревательным элементом. Перед вводом в ячейку сота нагревательный элемент разогревает наконечник до температуры 50-55 °C, что способствует размягчению восковой основы ячейки и облегчает выход из нее гранулы перги, которая затем через вакуумный трубопровод транспортируется в накопительную емкость, соединенную с источником вакуума через заградительный фильтр.

Усовершенствованный вариант вакуумного устройства содержит несколько наконечников и предназначен для забора гранул перги из 6-7 ячеек одновременно.

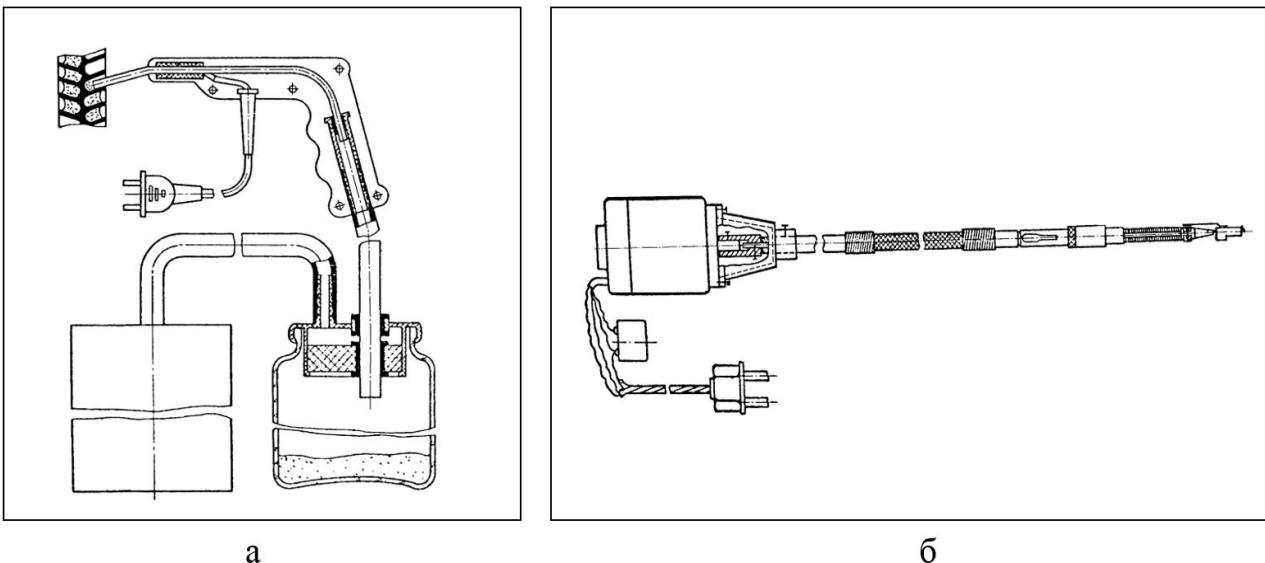


Рисунок 1.16 – Устройства для извлечения перги из каждой ячейки сотов:
а – вакуумное устройство; б – устройство с микрошнеком

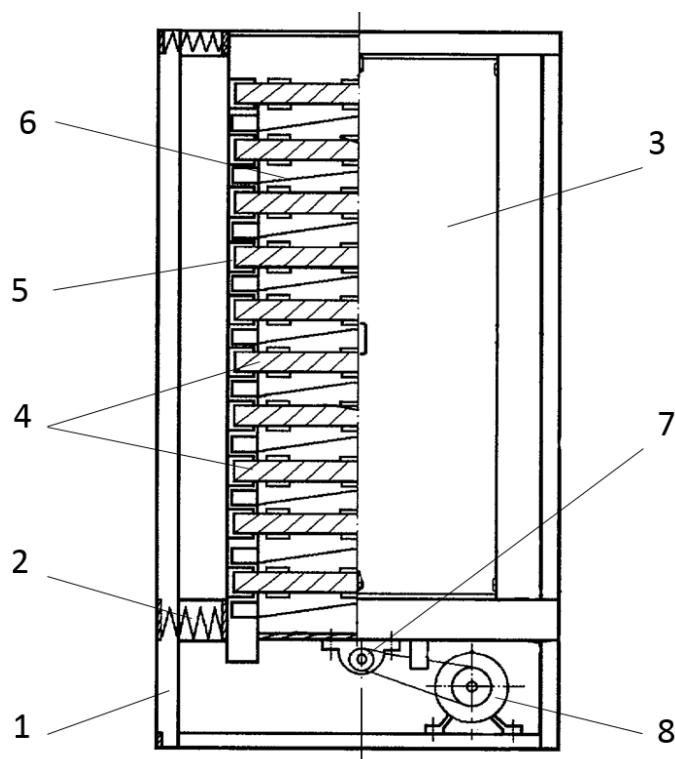
И.В. Бибиковым и Л.К. Бондарем [99, 132, 133, 134, 135] предложено шнековое устройство для извлечения перги из ячеек сотов (рис. 1.16-б). Основным рабочим органом данного устройства является микрошнек, приводимый во вращение электроприводом через гибкий вал и цанговый наконечник. Перед применением устройства сот необходимо распарить, затем в ячейку с пергой внедряют микрошнек и приводят его во вращение, в результате чего гранула разрушается и транспортируется через цанговый наконечник к выгрузному отверстию.

Как было отмечено выше, применение указанных устройств для извлечения перги из каждой ячейки сотов является наиболее трудоемким из всех известных механизированных способов извлечения перги из пчелиных сотов и не предназначено для переработки больших объемов продукта.

Существенно более производительным и менее трудоемким является способ извлечения перги из сотов посредством вибрационного воздействия с сохранением целостности сотов. Этот способ и вибрационная установка для его осуществления разработаны сотрудниками РГАТУ им. П.А. Костычева [113, 114].

Вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сотов, представленная на рис. 1.17, состоит из неподвижной несущей рамы 1 и

закрепленной внутри нее на пружинных подвесах 2 кассеты 3, в которой паярусно в горизонтальном положении располагаются соты в рамках 4. В пазах 5 кассеты 3 под каждой рамкой с сотами установлены выгрузные сборники 6 в виде наклонных плоскостей, соединенные с общей выгрузной трубой. В нижней части кассеты установлен эксцентриковый вибровозбудитель 7, приводимый от электродвигателя 8 посредством клиноременной передачи. Корпус кассеты снабжен технологической дверью с фиксирующими замками.



Условные обозначения: 1 – неподвижная рама; 2 – пружинные подвесы; 3 – кассета; 4 – рамки с сотами; 5 – пазы; 6 – наклонные выгрузные сборники; 7 – эксцентриковый вибровозбудитель; 8 – электродвигатель

Рисунок 1.17 – Вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сотов

Предварительно осущененные пчелами от меда соты, высушенные до влажности перги 11-14 %, закрепляют в пазах кассеты 3, закрывают технологическую дверь и фиксируют ее замками, после чего включают вибровозбудитель 7, который создает вибрацию кассеты. При этом гранулы перги высвобождаются из ячеек сотов и попадают на наклонные выгрузные сборники 6,

откуда под действием силы тяжести, а также вибрации корпуса, устремляются в выгрузную трубу. После очистки сотов от перги вибрационный возбудитель отключают и производят разгрузку установки.

Преимуществом данного устройства является высокая производительность, возможность одновременной обработки до 10 и более сотовых рамок. Недостатком является невысокая эффективность очистки восковой основы от перги.

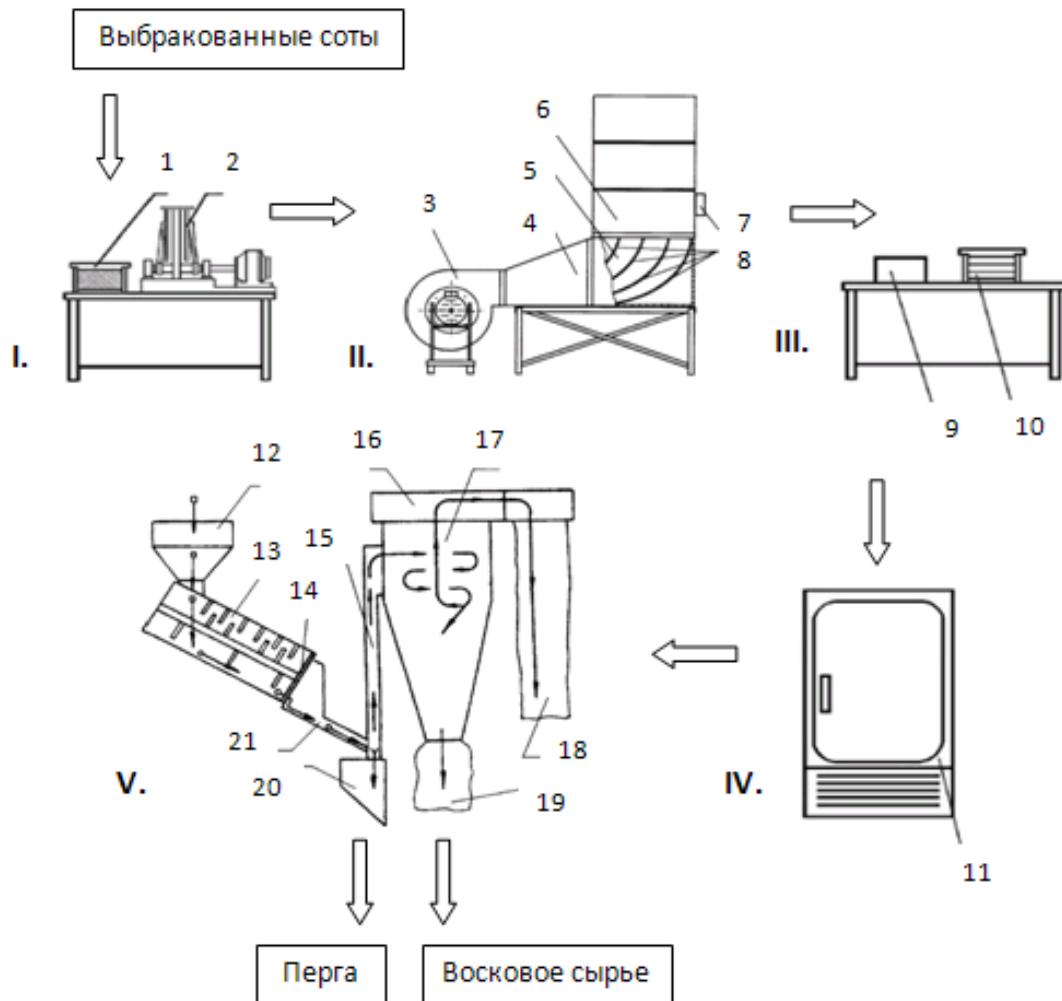
Извлечение перги из сотов с разрушением восковой основы предполагает использование многоэтапных механизированных технологий. Данные технологии разработаны сотрудниками РГАТУ им. П.А. Костычева (В.И. Бронников, Д.Е. Каширин под руководством профессора В.Ф. Некрашевича) совместно с НИИ пчеловодства (С.А. Стройков) и успешно применяются в настоящее время. Технологии и средства механизации для извлечения перги из сотов [39, 41, 61, 62, 64, 65, 69, 71, 72, 82, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 111, 112] позволяют получать отдельно пергу, как продукт пчеловодства, используемый в качестве биологически активной добавки к питанию [4, 52, 77, 79, 84], и очищенное от перги измельченное восковое сырье.

Схема механизированного технологического процесса извлечения перги из сотов с разрушением восковой основы сотов представлена на рисунке 1.18.

Технология включает в себя выполнение ряда технологических этапов в следующей последовательности [99, 100, 101, 103]:

- выбраковка сотов и осушение их от остатков меда;
- скарификация (при необходимости);
- сушка сотов в рамках до достижения пергой требуемой влажности (10-13%), при которой уменьшаются ее адгезионные свойства;
- вырезка кусков сотов из рамок;
- охлаждение сотов до температуры, при которой восковая основа приобретает хрупкие свойства и подвержена измельчению под ударными воздействиями рабочих органов измельчителя;
- измельчение (как правило, в измельчителях штифтового типа);

- пневмосепарирование с разделением на пергу и измельченное восковое сырье.

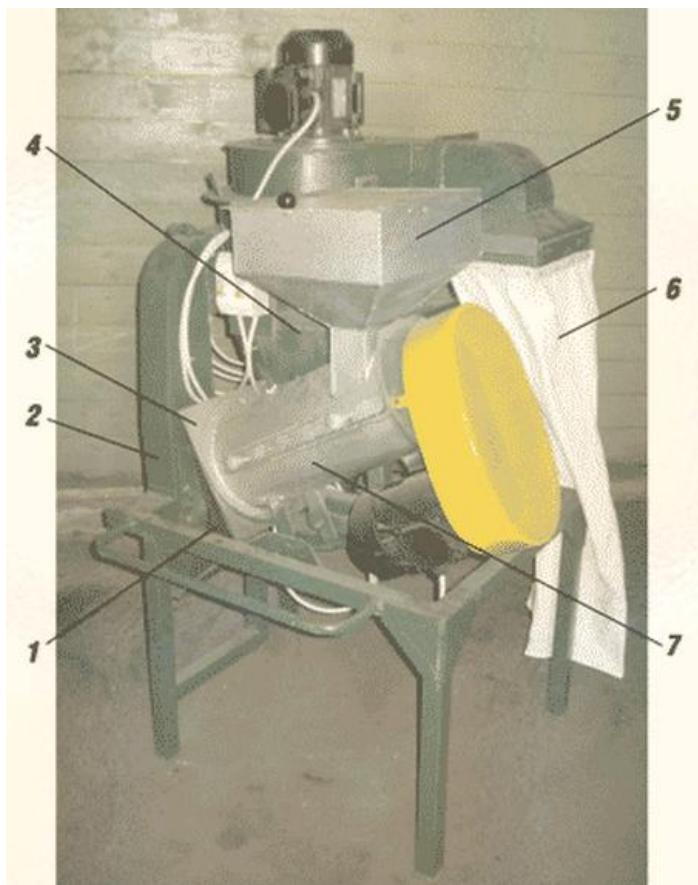


Условные обозначения: 1 – выбракованные перговые соты; 2 – устройство для сканирования; 3 – электрический калорифер; 4 – диффузор; 5 – камера преломления воздушного потока; 6 – корпуса ульев; 7 – электронный регулятор температуры; 8 – дуговые направляющие; 9 – куски сотов; 10 – рамки; 11 – морозильник; 12 – загрузочный бункер; 13 – наклонная рабочая камера измельчителя; 14 – решето; 15 – аспирационный канал; 16 – вентилятор; 17 – циклон; 18 – пылесборник; 19 – сборник воскового сырья; 20 – емкость для сбора перговых гранул; 21 – выгрузной лоток

Рисунок 1.18 – Технологический процесс извлечения перги из сотов:
I – сканирование; II – конвективная сушка; III – вырезка сот из рамок; IV – охлаждение; V – измельчение и пневмосепарация.

Этап измельчения и пневмосепарирования измельченной массы сотов осуществляется на разработанном специалистами РГАТУ им. А.П. Костычева агрегате для извлечения перги (АИП-50), изображенном на рис. 1.19.

Основу конструкции агрегата составляют два устройства, установленные на общей раме – штифтовой измельчитель 7 с наклонной рабочей камерой и вертикальный циклон 4 (рис. 1.19). Оба устройства имеют индивидуальный электропривод. В бункер 5 загружают высушенные, отделенные от рамок и охлажденные куски выбракованных перговых сотов, которые поступают в камеру штифтового измельчителя 7.



Условные обозначения: 1 – выгрузной лоток; 2 – аспирационный канал; 3 – решето; 4 – циклон; 5 – загрузочный бункер; 6 – пылесборник; 7 – измельчитель.

Рисунок 1.19 – Агрегат для извлечения перги АИП-50

При вращении ротора измельчителя в рабочей камере образуется измельченная воскоперговая масса, которая под действием силы тяжести

перемещается к решету 3, проходит через него и попадает в аспирационный канал 2 циклона 4, где под действием восходящего потока воздуха более легкие восковые частицы устремляются в циклон, а перговые гранулы падают в выгрузной лоток 1. Таким образом происходит разделение измельченной воскоперговой массы на пергу и восковой ворох

Данная технологическая линия обладает рядом недостатков, которые препятствуют ее широкому внедрению, в том числе на малых пасеках: высокая стоимость оборудования; длительность технологического процесса; высокие энергозатраты, особенно на этапе сушки с применением конвективной сушильной установки незамкнутого типа, как например СП-40 [71]. Кроме того, в процессе измельчения не удается полностью обеспечить целостность перговых гранул, часть перги переизмельчается и уносится вместе с восковыми частицами в процессе пневмосепарирования, что ведет к потерям продукта и загрязнению воскового сырья переизмельченной пергой. Потери перги в результате переизмельчения могут достигать 30% [71, 108].

Другое направление повышения качества воска, как было отмечено выше, связано с обработкой готового воска после его вытопки из воскосырья, когда он находится еще в расплавленном состоянии, либо после застывания. Сюда относят: отстаивание расплавленного воска над слоем горячей воды в течение 3 суток и более; отбеливание; очистка от мелкодисперсных примесей путем обработки растворами кислот либо адсорбентами.

Отстаивание воска применяют при влажном способе переработки воскового сырья для отделения от воска воды и загрязнений [42, 76, 122, 134, 135]. Воск находится в расплавленном состоянии над слоем горячей воды в двустенной емкости по типу водяной бани. В процессе отстаивания часть коллоидных взвесей (пыльца, перга, обрывки коконов, механические примеси) постепенно оседает и скапливается на нижней поверхности слоя жидкого воска. Чем дольше воск находится в жидком состоянии, тем больше примесей оседает. Время отстаивания составляет трое суток и более в зависимости от сорта воскового сырья и степени его загрязненности. Затем воду сливают, а жидкий воск разливают по формам.

После застывания слиток воска извлекают из форм и зачищают скребком его нижнюю поверхность, соскабливая загрязнения и рыхлую структуру слитка. Очевидно, что при этом часть воска теряется или уходит в восковое сырье более низкого сорта.

При отстаивании все натуральные свойства товарного воска сохраняются. Такой воск может быть использован при производстве вошины.

Отбеливание воска приводит к разрушению загрязняющих примесей и полному или частичному его обесцвечиванию. Применяют отбеливание солнечными лучами, а также химическое отбеливание.

При отбеливании солнечными лучами воск предварительно измельчают до образования стружки и располагают тонким слоем при доступе воздуха и периодическом ворошении, и увлажнении. Процесс длится от 10 до 60 дней, при этом белеет только поверхность стружки, затем стружку заново перетапливают. Эти операции повторяют до достижения требуемой белизны воска.

Отбеливание с помощью химических средств проводят в кислой или щелочной среде как в твердом, так и расплавленном состоянии над поверхностью горячей воды (соотношение воск/вода составляет 1:4) при температуре 70-90 °C, а также в виде эмульсий и растворов в органических растворителях. Серную кислоту добавляют в несколько приемов, тщательно перемешивают с расплавленным воском и отстаивают не менее 5 часов. Депигментация происходит за счет разрушения красящих и непредельных соединений, преимущественно олефинов, и образования карбоновых и оксикарбоновых кислот, кетоспиртов и перекисей. Таким образом, химический состав отбеленного воска несколько отличается от обычного, что приводит к изменению и его физических свойств: заметно увеличивается его твердость, плотность и хрупкость, возрастает температура плавления.

При очистке расплавленного воска адсорбентами применяют преимущественно активированный уголь либо диатомит (инфузорную землю).

1.6. Обзор результатов исследований получения воска из воскового сырья

Важнейшими критериями, определяющими качество и сортность воскового сырья, а, следовательно, влияющими на качество и сортность вытапливаемого воска, является влажность воскового сырья и его восковитость.

Влажность (массовая доля воды) воскового сырья в ряде случаев может быть достаточно высокой. Если в сухой пасечной мерве, полученной при прессовании вытопок, воды содержится около 8%, то влажность мервы, разваренной в кипящей воде, может достигать 50%. При одинаковой восковитости выход воска из более влажного сырья будет меньше, а в отходах его будет оставаться больше, чем при переработке сухого сырья. Поэтому необходимо различать понятия восковитости на абсолютно сухое вещество и восковитости при заданной влажности.

Восковитость на абсолютно сухое вещество выражается через восковитость при заданной влажности следующим пересчетом:

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

где V' – восковитость на абсолютно сухое вещество, %;

V – восковитость при заданной влажности, %

W – влажность воскового сырья, %.

Кроме влаги и воска сушь содержит еще и невосковые компоненты, которые по отношению к воде можно разделить на растворимые и нерастворимые в воде вещества.

К невосковым нерастворимым в воде веществам относятся коконы после расплода и механические примеси. Частично растворимыми считаются перга и экскременты пчел. Эти компоненты преимущественно входят в состав мервы после отжима воска прессованием.

К невосковым растворимым в воде веществам относятся остатки меда в сотах, прополис. При влажной переработке воскового сырья эти компоненты растворяются в воде и составляют убыль сырья – так называемый «угар».

В.А. Темновым установлено следующее соотношение невосковых компонентов в восковом сырье (без учета количества воды в сырье):

$$\frac{H}{P} = 1,2..1,25,$$

где H – невосковые нерастворимые в воде компоненты;

P – невосковые растворимые в воде компоненты.

Нерастворимые и растворимые в воде компоненты составляют невосковую часть сырья:

$$H + P = 100 - V,$$

где V – восковитость сырья, %.

Пользуясь этими двумя соотношениями, можно легко определить содержание в супи растворимых и нерастворимых веществ при заданной восковитости V , %.

Обычно в восковом сырье содержание нерастворимых в воде веществ выше, чем растворимых. Наличие в супи перги и меда сдвигает это соотношение в сторону растворимых компонентов.

Если из воскового сырья промыванием или развариванием удалить невосковые растворимые в воде вещества (P), то масса сырья уменьшится (за счет убыли), а его восковитость станет выше. Данный процесс называется «обогащением» воскового сырья. Выход воска из обогащенного сырья при переработке увеличивается [134, 135].

Невосковые компоненты воскового сырья обладают водопоглощающими свойствами. Поэтому с уменьшением сортности сырья (то есть с увеличением содержания гидрофильных невосковых компонентов) его влажность увеличивается.

В таблице 1.1 приведены значения влажности воскового сырья в зависимости от его сортности.

Известно, что в восковом сырье воск может присутствовать в двух состояниях – свободном и связанном с невосковыми составными частями. Свободный воск легко выделяется при нагревании: стекает в воскосборник при

переработки сухим способом, например, на солнечной воскотопке, или всплывает на поверхность воды при разваривании [132, 133, 134, 135]

Таблица 1.1 – Соответствие сортности и влажности воскового сырья

Восковое сырье		Влажность, %
Сушь	I сорт	0,1...0,5
	II сорт	0,5...2,2
	III сорт	2,2...3,8
Вытопки и мерва		6...8

Связанный воск присутствует в виде мелких частичек в невосковых компонентах – в капиллярах коконов и т.п. и удерживается в них силами межмолекулярного взаимодействия. В пасечных вытопках и мерве свободного воска почти не содержится. Выделить связанный воск возможно только посредством прессования разваренного воскового сырья, когда частицы невосковых компонентов сближаются, выжимая содержащийся между ними воск. При этом вместе с воском выделяется большое количество загрязняющих примесей, поэтому прессовой воск всегда более низкого качества по сравнению с сортовым воском, полученным путем свободного стекания. Однако даже после прессования на мощных заводских воскопрессах (достигаемое давление составляет 20-30 кг/см²) в заводской мерве остается 18-25% связанного воска. Этот воск извлекается путем экстрагирования на воскоэкстракционных установках и называется экстракционным.

Воск, выделенный из связанного состояния, то есть прессовой и экстракционный воск, является несортовым, ценится ниже и имеет ограниченное применение.

Определение содержания свободного воска в восковом сырье являлось предметом исследования некоторых ученых.

Сотрудниками НИИ пчеловодства (г. Рыбное) проведены исследования, устанавливающие зависимость содержания свободного воска от восковитости

суши при сухой перетопке и при разваривании в воде. Результаты исследования приведены в табл. 1.2.

Из данных исследования видно, что при разваривании в воде свободного воска выделяется больше, чем при сухой перетопке. Этот эффект объясняется тем, что растворимые вещества, которые также удерживают часть связанного воска, вымываются при влажной переработке, а удерживаемый ими связанный воск при этом становится свободным.

Из табл. 1.2 также следует, что сушь восковитостью менее 40% свободного воска практически не содержит. Сушь, восковитость которой близка к 100% (свежеотстроенные соты), почти целиком состоит из свободного воска.

Таблица 1.2 – Содержание свободного воска в суши с различной восковитостью

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%	-	-

Н.Б. Нагаевым проведены исследования выхода воска из суши 1-го и 2-го сорта средней влажности 7%, использованной пчеловодами не менее 2-х сезонов, при переработке на паровой воскотопке, снабженной центрифугой (рис. 1.13), без отжима разваренной массы в воскопрессе [94]. Получившийся в процессе выпотки средний процент воска составил 61,6%. Такой результат достигается типичными паровыми воскотопками, популярными у пчеловодов.

Тем же автором установлена зависимость процента выхода воска из сушки с начальной восковитостью 89% от основных параметров процесса вытопки на центробежном агрегате с отжимом разваренной массы на воскопрессе шнекового типа, конструктивно входящего в состав данного агрегата [94]. Максимальных значений процента выхода воска (82,1%) в процессе вытопки можно достичь при следующих параметрах агрегата: частота вращения ротора центрифуги 310 мин^{-1} , частота вращения шнека воскопресса 190 мин^{-1} , подача пара 30 г/мин, при которых соблюдается условие минимальной энергоемкости процесса вытопки.

Основным источником поступления воска в народное хозяйство являются крупные и мелкие пасеки, пчелокомбинаты, которые сдают на заготовительные пункты лишь часть производимого ими товарного воска и воскосырья. Основная же часть уходит на производство вошины для обновления и увеличения сотового хозяйства пасек. Исходя из этого, важной задачей для пчеловодов представляется увеличение объемов получения и использования качественного воска I и II сорта.

Традиционно для получения воска в условиях пасеки пчеловоды перетапливают в паровых или водяных воскотопках выбракованные пчелиные соты, которые как правило сильно загрязнены испорченной пергой. Такие соты нецелесообразно перерабатывать сухим методом, так как выход воска при этом будет небольшим.

При влажном методе переработки восковое сырье взаимодействует с влажным паром, горячей водой или конденсатом. Воск, полученный влажным методом, будет содержать в себе больше воды и загрязняющих примесей, перешедших в него дополнительно из растворимых в воде компонентов воскового сырья. Кроме, того при контакте с горячей водой и периодическом перемешивании в ней разваренного сырья возможно образование эмульсий [136]. Наличие в сотах перги существенно осложняет процесс добывания воска, загрязняет получаемый воск, при этом снижается его сортность, примеси частично растворяются в расплавленном воске, впитывая при этом большое количество воска, в результате чего образуется много отходов воскового производства – мервы и вытопок. В большинстве случаев мерва не подлежит

дальнейшей переработке в качестве воскового сырья. Очистка суши сотов от перги перед перетопкой позволяет увеличить выход товарного воска.

Для получения качественного воска с наименьшим количеством загрязняющих примесей и невосковых веществ, во избежание образования эмульсий воска с водой и наоборот, следует соблюдать некоторые технологические условия. Восковое сырье разных сортов следует перерабатывать раздельно. Нельзя допускать попадания в воскосыре значительного количества перги и прополиса. Так каждый процент перги, отнесенный к объему ячеек сота, понижает восковитость сырья приблизительно на 2,5 %. Перед перетопкой следует восковое сырье залить теплой водой и выдержать в ней двое суток, чтобы удалить из него водорастворимые компоненты. Воду при этом следует менять несколько раз. Удаление растворимых компонентов из воскового сырья ведет к его обогащению воском, увеличивая выход его при переработке [136]. Однако на практике пчеловоды редко прибегают к замачиванию воскового сырья перед перетопкой, так как это требует дополнительных затрат труда, времени и ресурсов. Кроме того, длительный (до нескольких суток) контакт рыхлого воскового сырья с теплой водой приводит к развитию патогенной микрофлоры и гнильцевых поражений, что делает восковое сырье непригодным для дальнейшей переработки. В связи с вышесказанным, представляется целесообразным проводить очистку воскового сырья от загрязнений перед его горячей переработкой (перетопкой) в течение непродолжительного времени, что возможно достичь посредством интенсивного механического перемешивания воде (рис. 1.15). Это приведет к удалению водорастворимых примесей и большей части не растворимых в воде примесей, таких как перга [36, 37]. Уменьшение контакта расплавленного воска с загрязнениями позволит увеличить процент выхода получаемого воска и улучшить его качество [27, 29, 70, 74, 75, 107, 108].

1.7. Выводы по первой главе

1. Установлено, что наличие в восковом сырье органических примесей, таких как перга, приводит к снижению качества и количества вытапливаемого из

него воска, увеличению количества отходов воскового производства – вытопок и мервы.

2. Установлено, что существующие способы и технические средства переработки воскового сырья малоэффективны, так как большинство применяемых способов предполагает проведение очистки воска, уже извлеченного из воскового сырья.

3. Представляется целесообразным проводить очистку воскового сырья от загрязнений перед его перетопкой, так как при этом увеличивается количество получаемого воска, а вследствие меньшего контакта расплавленного воска и органических загрязнений улучшается и его качество.

4. Установлено, что наибольшее количество органических загрязнений, содержащихся в восковом сырье, являются водорастворимыми. Повысить эффективность очистки воскового сырья от загрязнений возможно путем использования специального устройства, содержащего измельчитель пчелиных сотов (например штифтового типа) и камеру для гидроочистки измельченного продукта.

1.8. Цель работы и задачи исследований

В связи с выше сказанным, цель работы заключается в обосновании параметров устройства очистки воскового сырья от загрязнений, для чего необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующие способы и технические средства переработки воскового сырья;
- изучить физико-механические свойства воскового сырья, а также физико-механические свойства и состав содержащихся в нем загрязнений;
- теоретически обосновать параметры устройства очистки воскового сырья;
- экспериментально установить параметры устройства очистки воскового сырья;
- исследовать устройство очистки воскового сырья в производственных условиях и произвести оценку технико-экономического эффекта от его внедрения.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

2.1. Программа исследований

Для обоснования параметров устройства, предназначенной для очистки воскового сырья от загрязнений, необходимо располагать точными данными о физико-механических свойствах воска и его загрязняющих компонентов.

Известно, что восковым сырьем традиционно называют выбракованные пчелиные соты, как правило, загрязненные ульевым сором и пергой. Ульевой сор представляет собой коконы, остающиеся в ячейках сотов после выхода личинок пчел, остатки мертвых пчел и их экскременты. Перга представляет собой утрамбованные в ячейки сота и ферментированные пчелами пыльцевые обножки, связанные между собой секретами слюнных желез пчел [4, 52, 77, 79, 84, 145]. Таким образом, элементарным твердым структурным компонентом перги является пыльца, или пыльцевое зерно. Поскольку зерна пыльцы представляют собой покрытые спорополлениновой оболочкой, т.н. экзиной, растительные образования, устойчивые не только в воде, но и в агрессивных средах, то говорить о растворимости перги в воде, как о таковой, было бы не совсем правильно [106, 145]. Перга относится к частично растворимым в воде компонентам. Но, так как размер пыльцевых зерен достаточно мал и составляет от единиц до нескольких десятков микрон, здесь и далее условно применим к перге понятие растворимость.

Известно, что состав перги весьма лабилен, так как подвержен влиянию внешних факторов [52, 63, 77, 84]. По данным НИИ пчеловодства основными компонентами перги являются:

- пыльцевые зерна растений;
- мед;
- секреты желез пчел и т.д.

Из анализа литературных источников [23, 38, 42, 76, 122, 123, 124, 125] известно, основным загрязнителем воскового сырья является перга (25...80%).

Присутствие остальных загрязнений в сырье не является существенным фактором, так как они легко отделяемы.

Предложенный нами способ очистки воскового сырья (патент РФ №2656968) и установка для выполнения его основных операций (патент РФ №2672403) предполагают отделять загрязнения от воскового сырья путем их растворения в воде, после чего отфильтровывать восковые частицы и перерабатывать очищенное восковое сырье в соответствии с традиционной технологией [118, 119].

Для обоснования основных параметров предлагаемого устройства необходимо провести следующие исследования физико-механических свойств воскового сырья и его загрязнений:

- исследование влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, и ее гранулометрического состава на выход воска;
- определение объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава;
- исследование растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий;

2.2. Методика исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений

2.2.1. Методика определения влажности загрязнений воскового сырья и доведения ее до требуемых значений

Перга является весьма гигроскопичным компонентом воскового сырья. Ее относительная влажность варьирует в достаточно широких пределах и может принимать значения в диапазоне от 19 до 27% для нативной (свежей в сотах) перги, или менее 18-19% после проведения естественной или искусственной сушки (ГОСТ 31776-2012 «Перга. Технические условия»). В связи с этим, в процессе исследования физико-механических свойств перги, как основного загрязнителя воскового сырья, необходимо учитывать значение ее относительной влажности.

Относительную влажность материала W , % определяли по стандартной методике (ГОСТ 31776-2012). Навеску перги массой $2\pm0,2$ г. в металлической 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 $\pm0,01$ г. Высушивание и взвешивание повторяли до достижения постоянной массы. Относительную влажность W , % определяли по формуле:

$$W = \frac{m_H - m_K}{m_K} \cdot 100, \quad (2.1)$$

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 подсушки или добавления воды. При подсушивании навески взвешивали и доводили до требуемой массы m_T , г., определяемой по формуле:

$$m_T = m_H \cdot \frac{W_T + 100}{W_H + 100}, \quad (2.2)$$

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:

$$\Delta_m = \frac{m_H \cdot (W_T - W_H)}{W_H + 100}. \quad (2.3)$$

Увлажненная перга выдерживалась в герметично закрытой емкости в течение двух недель.

Часть перги подсушивали до требуемой влажности (19...23 %), выдерживая в электрическом сушильном шкафу 2В-151 (ТУ64-1-1411-72) на протяжении нескольких часов при температуре 43-45 °С.

2.2.2. Методика исследования влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, и ее гранулометрического состава на выход воска

Исследование проводили для определения зависимости выхода воска в результате перетопки искусственно загрязненного сырья от количества и гранулометрического состава добавленных загрязнений. Загрязняющим компонентом является перга.

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 [71, 122, 123, 124, 125].

Для проведения эксперимента использовали сушь желтых и светло-коричневых сотов, не содержащих перги. Исследуемый материал охлаждали до температуры 0...-5 °С и измельчали в штифтовом измельчителе до образования частиц однородной измельченной массы [60, 66, 67, 68, 71, 73, 105, 115, 116, 117]. Перед проведением эксперимента определяли восковитость воскового вороха по стандартной методике (ГОСТ 31775-2012 «Сырье восковое. Технические условия»).

Затем сырье искусственно загрязняли измельченной пергой среднего гранулометрического состава 1,75, 3,75 и 5,75 мм (целые гранулы) в различном соотношении. Таким образом получили экспериментальные партии искусственно загрязненной суши с восковитостью 76% (исходная восковитость) и далее с шагом 10% – с восковитостью 66%, 56%, 46% и 36%. Восковое сырье с меньшей восковитостью относится к вытопкам и интереса для исследования не представляет.

Для получения заданной восковитости определяли массу добавляемых загрязнений по формуле:

$$m = M_H \cdot \left(\frac{V_1 - V_2}{V_2} \right) \cdot \left(1 - \frac{W_{B.C.}}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{W_{\Pi}}{100} \right)^{-1}, \quad (2.4)$$

где M_H – начальная масса воскового сырья, г;

V_1 – начальная восковитость сырья, % (принимается 76%);

V_2 – требуемая восковитость сырья, %;

$W_{B.C.}$ – относительная влажность воскового сырья, %;

W_P – относительная влажность добавляемых загрязнений (перги), %.

Для исследования процесса с двумя факторами был выбран некомпозиционный ротатабельный план второго порядка типа правильного шестиугольника с четырьмя центральными точками [3, 46, 88, 99, 96]. 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 [96].

Уровни и интервалы варьирования факторами представлены в таблице 2.1.

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

Таблица 2.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозна- чение	Ед. изм.	Уровни варьирования							Интервал варьиро- вания
			-1	-0,866	-0,5	0	+0,5	+0,866	+1	
Восковитость	X1	%	36		46	56	66		76	10
Г/м состав	X2	мм		1,75		3,75		5,75		2

Эксперимент проводили следующим образом. 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:

$$P = \frac{M_{\Pi}}{M_H} \cdot 100, \quad (2.5)$$

где P – выход воска, %;

M_{Π} – масса воска, полученная в результате перетопки искусственно загрязненного сырья, г;

M_H – масса навески искусственно загрязненного сырья, г.

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

2.2.3. Методика определения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава

Для определения основных параметров технологического процесса очистки воскового сырья в воде, в частности объема загрузки сырья в емкость с водой, соотношение объемов воды и загружаемого сырья и т.п., которые в свою очередь влияют на производительность, энергоемкость и эффективность процесса очистки, необходимо точно знать показатели плотности и объемной массы как самого очищаемого материала, так и его основного загрязняющего компонента – перги.

Очевидно, что показатель объемной массы напрямую зависит от гранулометрического состава исследуемого сыпучего материала – перги и измельченной восковой основы суши сотов, так как подобное явление присуще многим сыпучим продуктам [26, 52, 59, 63, 80].

Для проведения исследования была получена перга механизированным способом, влажность которой составляла 10...14% [39, 41, 61, 62, 64, 65, 69, 71, 72, 82, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 111, 112]. Путем выдерживания при температуре 0...-3 °С с последующим измельчением на электромельнице и разделением с помощью ситового классификатора были получены три фракции (рис. 2.1) со средним гранулометрическим составом 1,75 мм, 3,75 мм и 5,75 мм.

Аналогичным способом из суши сотов 1-го и 2-го сорта без содержания перги были получены три фракции измельченной восковой основы со средним гранулометрическим составом соответственно 3 мм, 5,5 мм и > 6 мм (рис. 2.2).

Определение объемной массы исследуемых материалов проводили с использованием образцовой литровой пурки ПХ-1 (ГОСТ 16464-70 «Пурки литровые образцовые. Основные параметры и размеры. Технические требования») по методике, регламентированной ГОСТ 28254-2014 «Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса» и ГОСТ 10840-2017 «Зерно. Метод определения натуры».

Процесс определения объемной массы представлен на рис. 2.3. Измерения проводили с 2-кратной повторностью для каждой фракции.



Рисунок 2.1 – Три фракции перги различного среднего гранулометрического состава:

а – целые гранулы (5,75 мм); б – фракция 3,75 мм; в – фракция 1,75 мм



Рисунок 2.2 – Измельченное восковое сырье без содержания перги:

а – фракция > 6 мм; б – фракция 5 мм; в – фракция 3 мм

Окончательный результат измерения – среднеарифметическое значение результатов двух определений, выполненных в условиях повторяемости и удовлетворяющих условию приемлемости (сходимости) в соответствии с ГОСТ 28254-2014.



Рисунок 2.3 – Процесс определения объемной массы измельченного воскового сырья среднего гранулометрического состава 3 мм при помощи образцовой литровой пурки ПХ-1

2.2.4. Методика исследования растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий

На данном этапе исследований необходимо количественно оценить способность перги к размоканию и диспергированию в воде при ее замачивании без механического перемешивания, и влияние на степень диспергирования следующих факторов: время замачивания, гранулометрический состав перги.

Поскольку предлагаемый способ очистки не предусматривает сушки сотов перед их измельчением (самый энергозатратный процесс во всех технологиях переработки сотов), то значение влажности исследуемого материала было фиксировано на уровне 19-23%, который является типичным для свежей, нативной перги.

Температура воды, применяемой для растворения перги, составляла 18...22 °C, так как превышение данного диапазона приводит к тому, что восковая основа

начинает приобретать пластические свойства, а, следовательно, увеличивается адгезия восковых частиц с частицами загрязнений, что затрудняет процесс очистки [1, 19, 48, 51, 120, 121, 128, 129, 160]. При температуре воды ниже 15...18 °С, по данным предварительных экспериментов, процесс диспергирования существенно замедляется.

Диапазон варьирования фактором средний гранулометрический состав составлял от 1,75 мм (нижний уровень), что соответствует переизмельченной перге, примеси которой присутствуют в восковом ворохе, полученном при извлечении перги из сотов посредством механизированной технологии, до 5,75 мм (верхний уровень) – это целые перговые гранулы, которые также могут присутствовать в измельченном восковом сырье.

Продолжительность замачивания ограничивали 26 часами (верхний уровень фактора), так как при более длительном замачивании в воде, имеющей принятый диапазон температуры, перга начинает портиться. Нижний уровень составлял 2 часа, так как при меньшем времени замачивания перга почти не размокает, что подтверждается результатами предварительно проведенных экспериментов [28, 31, 106, 107].

Для получения воскового сырья в виде массы частиц измельченных сотов, содержащей минимум перги, необходимо профильтровать водяной раствор через сито с таким размером отверстий, через которые свободно проходит растворенная в воде перга, и не проходят самые маленькие частицы восковой основы. Поэтому, критерием оптимизации является степень диспергирования загрязнений в воде, определяемая количеством оставшихся на сите частиц.

Размер восковых частиц в восковом ворохе, получаемом при измельчении сотов на штифтовых измельчителях различных конструкций [8, 60, 73, 91, 110], находится в диапазоне от 1,5 до 150 мм², при этом толщина восковой чешуйки обычно не превышает 1,5 мм [59, 71, 109]. 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.

Принимая во внимание изложенные выше соображения, было решено провести двухфакторный трехуровневый эксперимент. Факторы и уровни их варьирования приведены в табл. 2.2.

Для проведения опытов был выбран композиционный симметричный ортогональный трехуровневый план 2-го порядка, представленный в приложении Г. Для выполнения плана при 2-х факторах необходимо было провести 9 опытов.

Таблица 2.2 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			-1	0	+1	
1 Время замачивания	t	час	2	14	26	12
2 Гранулометрический состав	d	мм	1,75	3,75	5,75	2

Принимая во внимание высокую трудоемкость и продолжительность проведения опытов, методика их выполнения состояла из 3-х этапов:

- подготовка экспериментального материала;
- непосредственное проведение опытов;
- вакуумное фильтрование водяной взвеси.

Подготовку экспериментального материала проводили следующим образом.

Перга, извлеченная из выбракованных пчелиных сотов, привезенных из Рыбновского и Старожиловского районов Рязанской области, с применением механизированной технологии ее извлечения [39, 41, 61, 62, 64, 65, 69, 71, 72, 82, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 111, 112], подлежала измельчению на лабораторной мельнице ЛМТ-1 [8] и рассеиванию полученной массы на ситовом рассеве, 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.

Доведенные до требуемой относительной влажности и рассортированные по гранулометрическому составу пробы герметично запечатывались в

полипропиленовые пакеты толщиной 35 мкм, маркировались и хранились в таком виде до начала проведения эксперимента (рис. 2.4).

В результате выдерживания в герметично закрытых емкостях на протяжении 14 дней влажность продукта приобретала высокую однородность. Далее приступали к выполнению второй части эксперимента – замачивание в соответствии с планом опытов (рис. 2.5).

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 требуемой температуре воды (18...22 °C) с различной продолжительностью замачивания в соответствии с планом эксперимента (рис. 2.5-а). 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 $0,5\times0,5$ мм (рис. 2.5-б).



Рисунок 2.4 – Перга, сортированная по гранулометрическому составу (первый этап исследования – подготовка экспериментального материала)

Оставшиеся на решете 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. 2.5-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. 2.5-г), затем повторно взвешивали высушенные фильтры с отцеженным осадком.



Рисунок 2.5 – Этапы проведения эксперимента по определению влияния времени, и гранулометрического состава на растворимость 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:

$$P = \frac{M_{\Phi+O} - M_\Phi}{M_H} \cdot \left(1 - \frac{W_H}{100}\right)^{-1} \cdot 100, \quad (2.6)$$

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.

Повторность опытов в каждой точке плана равна трем. Критерий оптимизации должен быть минимизирован при оптимизации результатов эксперимента.

2.2.5. Методика получения и статистической обработки экспериментальных данных

Планирование экспериментов осуществляли в соответствии с известными методиками [3, 46, 88, 89, 96], при этом учитывали требования, предъявляемые к факторам: управляемость, однородность, совместимость факторов и отсутствие корреляций между ними. При обработке экспериментальных данных применяли математико-статистические методы.

Для получения искомых эмпирических зависимостей исходили из предположения, что исследуемые процессы с достаточной точностью описываются выражениями полиномиального вида:

$$y(x_1, x_2, \dots, x_k) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2.7)$$

где k – количество факторов;

x_i – факторы, $i = \overline{1, k}$;

a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} – коэффициенты регрессии.

Многоточие в правой части (2.7) означает возможное повышение степени полинома.

После проведения серий измерений и заполнения таблиц планов экспериментов перед нахождением коэффициентов регрессии проводили проверку условия воспроизводимости опытов (однородности построчных дисперсий) по критерию Кохрена (G -критерию) на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Поскольку каждый опыт, соответствующий одной строке плана эксперимента, проводили с m повторениями, то для каждой строки рассчитывали построчные дисперсии по формуле:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (2.8)$$

где m – количество повторений опыта;

y_i – значение функции отклика в каждом повторении i -го опыта;

\bar{y}_i – среднее значение функции отклика в i -м опыте.

Далее находили расчетное значение критерия Кохрена по формуле:

$$G_{расч.} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (2.9)$$

где n – количество опытов (строк плана);

S_{\max}^2 – наибольшая из построчных дисперсий.

Расчетное значение критерия Кохрена $G_{расч.}$ сравнивается с табличным значением $G_{0,05}(m-1, n)$, где $m-1$ – число степеней свободы.

Если $G_{расч.} < G_{0,05}(m-1, n)$, то гипотеза об однородности дисперсий принимается с вероятностью ошибки $\alpha = 0,05$. Только в этом случае проводится дальнейший регрессионный анализ.

При обработке результатов многофакторных экспериментов расчет оценок коэффициентов полинома (2.7) – коэффициентов (или параметров) регрессии – проводили методом наименьших квадратов (МНК). Вычисления проводили в среде математического пакета Mathcad 15.0.

Для удобства расчета и наглядности представления результатов вычислений использовали матричную форму записи МНК:

$$a = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (2.10)$$

где a – вектор оценок коэффициентов регрессии с размерностью $(r \times 1)$;

r – количество оцениваемых параметров;

X – системная матрица с размерностью $(n \times r)$, полученная последовательным

объединением векторов X_0, X_i, X_{ij}, X_i^2 ;

X_0 – единичный вектор $(n \times 1)$;

X_i – вектор $(n \times 1)$ уровней i -го фактора в натуральных значениях в

соответствии с планом эксперимента, $i = (\overline{1, k})$;

X_{ij} – вектор $(n \times 1)$ взаимодействия i -го и j -го факторов, $1 \leq i < j \leq k$;

Y – вектор $(n \times 1)$ экспериментальных значений зависимой переменной;

После нахождения параметров регрессионной модели производится проверка ее на адекватность. Традиционно в качестве статистического критерия для проверки модели на адекватность используется критерий Фишера (F -критерий):

$$F = \frac{S_h^2}{S_e^2}, \quad (2.11)$$

где S_h^2 – дисперсия неадекватности;

S_e^2 – оценка дисперсии единичного наблюдения.

Числитель и знаменатель (2.11) определяются выражениями:

$$S_h^2 = \frac{m \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{n - k}, \quad (2.12)$$

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n \cdot (m-1)}, \quad (2.13)$$

где y_{ij} – опытные данные (с учетом повторений);

\bar{y}_i – средние значения опытных данных в i -м опыте;

\hat{y}_i – оценки результатов (значения функции отклика, рассчитанные по эмпирической модели).

Расчетное значение F -критерия сравнивается с табличным (критическим) значением F_{kp} при уровне значимости $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,1$, и известных числах степеней свободы числителя и знаменателя: $\phi_1 = n - k$ и $\phi_2 = n \cdot (m - 1)$ соответственно.

При $F < F_{kp}$ гипотеза об адекватности модели принимается с вероятностью ошибки первого рода, равной принятому значению α .

В случае признания полученной регрессионной модели адекватной производится оценка статистической значимости параметров регрессии, для которых определяются доверительные интервалы.

Сначала вычисляется оценка дисперсии ошибок наблюдений:

$$s^2 = \frac{S_e^2}{m} \quad (2.14)$$

Затем определяется ковариационная матрица K ошибок оценок параметров регрессии \hat{a}_i :

$$K = s^2 \cdot (X^T X)^{-1} \quad (2.15)$$

Элементы главной диагонали этой матрицы K_{ii} соответствуют оценкам дисперсий оценок параметров регрессии \hat{a}_i .

Доверительный интервал для истинных значений параметров регрессии a_i определяется неравенством:

$$(\hat{a}_i - t_{kp} \cdot \sqrt{K_{ii}}) < a_i < (\hat{a}_i + t_{kp} \cdot \sqrt{K_{ii}}) \quad (2.16)$$

где: t_{kp} – табличное (критическое) значение критерия Стьюдента (t -критерия), при заданном уровне значимости α и числе степеней свободы $\phi_2 = n \cdot (m - 1)$.

Если i -й коэффициент в уравнении регрессии не превосходит по абсолютной величине свой доверительный интервал, то есть $|\hat{a}_i| < t_{kp} \cdot \sqrt{K_{ii}}$, то этот коэффициент a_i признается статистически не значимым и исключается из состава

регрессии с последующим пересчетом оценок всех остальных коэффициентов и их дисперсий (при условии адекватности модели).

2.3. Результаты исследования физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений

2.3.1. Результаты исследования влияния количества перги, содержащейся в восковом сырье, и ее гранулометрического состава на выход воска

Результаты исследования и их статистическая обработка представлены в приложении Б. Получено уравнение регрессии, определяющее зависимость процента выхода воска P , % из искусственно загрязненной суши сотов от ее восковитости V , % и гранулометрического состава добавляемых загрязнений d , мм:

$$P(V, d) = -18.326 + 2,634 \cdot d + 0.011 \cdot V^2 \quad (2.17)$$

Все факторы, влияющие на процесс, оказались значимыми на уровне $\alpha = 0,1$. Не значимыми оказались коэффициенты при x_2 , $x_1 \cdot x_2$ и $x_2 \cdot x_3$. Модель прошла проверку на адекватность по критерию Фишера на уровне $\alpha = 0,01$.

На рис. 2.6 полученная модель (2.17) представлена графически.

Из представленной зависимости следует, что функция отклика не имеет локальных экстремумов. Наибольшему значению процента выхода воска соответствуют максимальные значения восковитости и гранулометрического состава, наименьшему значению критерия оптимизации – минимальные значения обоих факторов. Так, при восковитости сотов, равной 76%, загрязненной целыми гранулами перги (неизмельченная сушь) выход воска при перетопке составит 61,9%, тогда как из измельченного воскового сырья с содержанием воска 36%, загрязненного примесями перги среднего гранулометрического состава 1,75 мм, удается вытопить не более 1% воска от первоначальной массы сырья.

Данный результат является ожидаемым, так как снижение восковитости сырья способствует уменьшению выхода воска при перетопке; при уменьшении величины среднего гранулометрического состава частиц добавляемых

загрязнений в виде перги увеличивается площадь их контакта с расплавленным воском, при этом большее количество воска впитывается в пергу и уменьшается выход чистого воска.

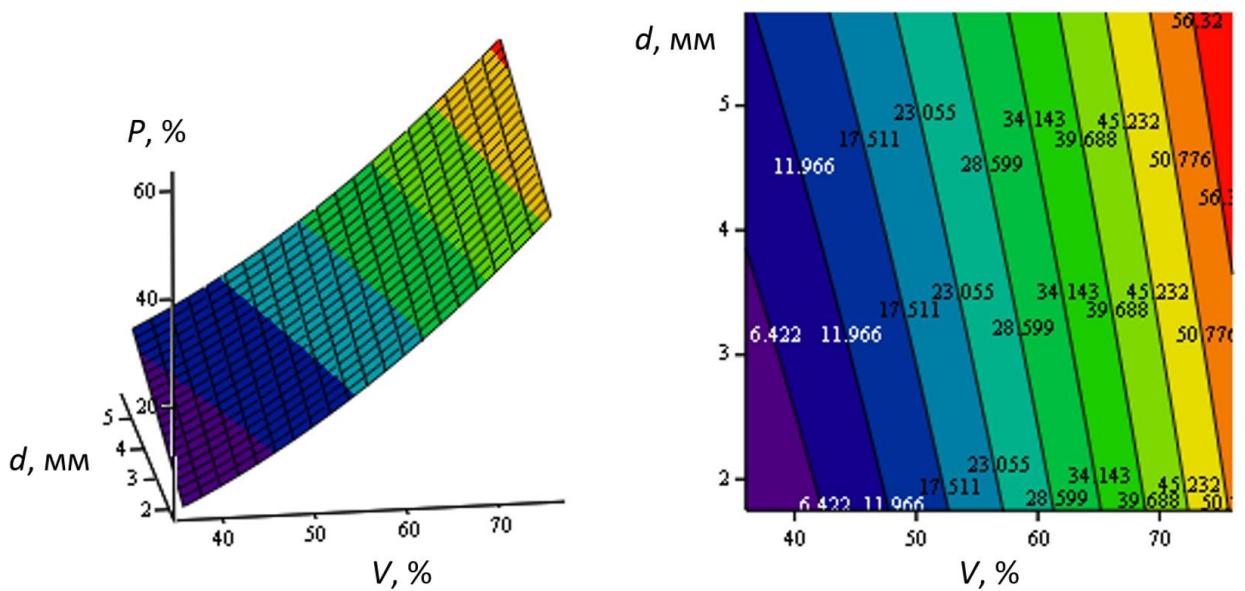


Рисунок 2.6 – Зависимость процента выхода воска P , % из искусственно загрязненной пергой суши сотов от ее восковитости V , % и гранулометрического состава добавляемой перги d , мм

В таблице 2.3 представлены табулированные значения полученной эмпирической функции (2.17) при различных значениях исследуемых факторов в пределах размаха их вариации в проведенном эксперименте.

Таблица 2.3 – Зависимость процента выхода воска (%) из искусственно загрязненной пергой суши сотов от ее восковитости (%) и гранулометрического состава содержащейся в ней перги (мм)

Восковитость суши, %	Гранулометрический состав содержащихся загрязнений, мм								
	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75
36	0.9	2.2	3.5	4.8	6.1	7.5	8.8	10.1	11.4
41	5.2	6.5	7.8	9.2	10.5	11.8	13.1	14.4	15.7
46	10.1	11.4	12.7	14.1	15.4	16.7	18.0	19.3	20.6
51	15.6	16.9	18.2	19.5	20.8	22.2	23.5	24.8	26.1
56	21.6	22.9	24.2	25.5	26.9	28.2	29.5	30.8	32.1
61	28.2	29.5	30.8	32.1	33.5	34.8	36.1	37.4	38.7
66	35.3	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.6	45.9
71	43.1	44.4	45.7	47.0	48.3	49.6	51.0	52.3	53.6
76	51.3	52.6	54.0	55.3	56.6	57.9	59.2	60.5	61.9

Полученная эмпирическая зависимость (2.17), представленная данном виде (табл. 2.3) может быть использована для оценки нормы выхода воска в зависимости от загрязненности суши сотов, в частности – при экономическом обосновании внедрения предлагаемого оборудования в производство (глава 5).

2.3.2. Результаты определения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава

Результаты измерения объемной массы перги и воскового сырья в соответствии с ГОСТ 28254-2014 и ГОСТ 10840-2017 представлены в приложении В. Абсолютное расхождение между результатами двух отдельных независимых испытаний не превышает допустимого значения предела повторяемости ($r = 10$ г/дм³) при доверительной вероятности $P = 0,95$.

На рис. 2.7-2.8 представлены гистограммы результатов определения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава в сравнении с кажущейся плотностью этих материалов (плотность без учета наличия закрытых пор) – в среднем 1270 и 860 кг/м³ для перги и восковой основы соответственно [26, 52, 59, 63, 80].

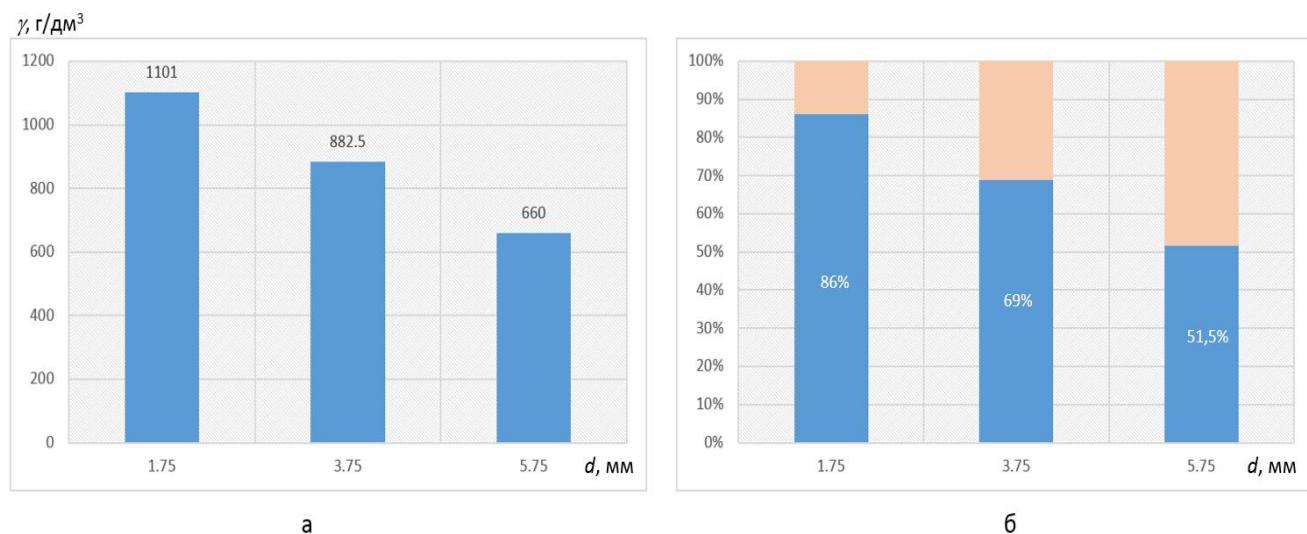


Рисунок 2.7 – Результаты определения объемной массы перги различного гранулометрического состава: а – объемная масса различных фракций перги; б – нормированная диаграмма (процент от средней плотности перги)

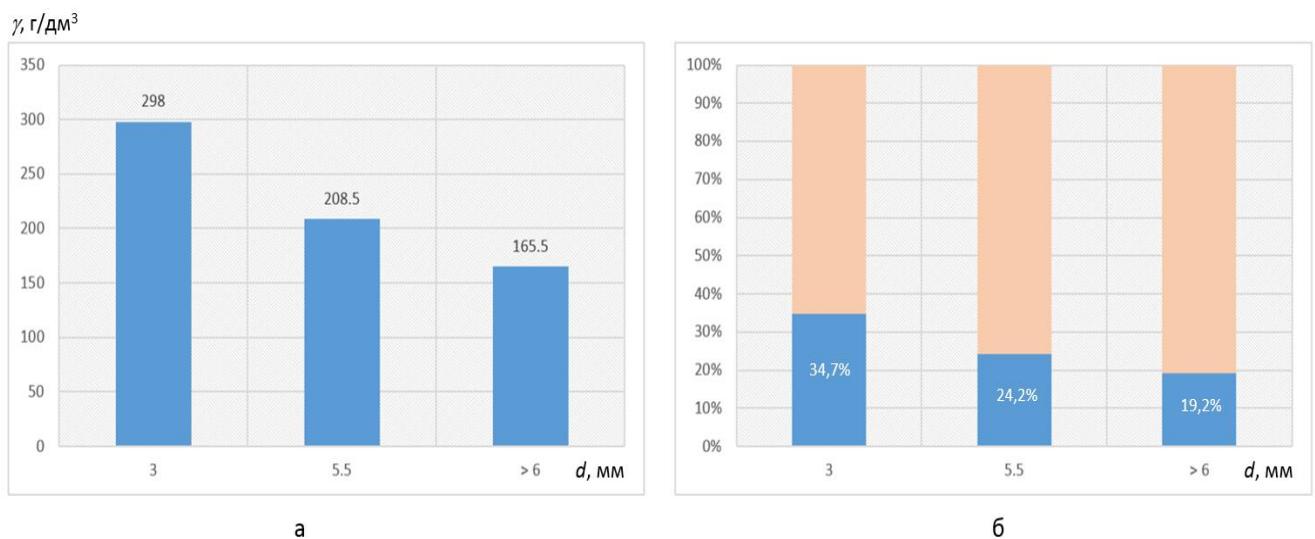


Рисунок 2.8 – Результаты определения объемной массы измельченного воскового сырья без содержания перги:

- а – объемная масса различных фракций измельченной суши сотов;
- б – нормированная диаграмма (процент от средней плотности суши сотов)

Из полученных результатов исследования можно сделать вывод, что в зависимости от крупности частиц перги, варьирующей от 1,75 мм до 5,75 мм (целые гранулы) ее объемная масса изменяется от 1100 до 660 г/дм³, что соответствует диапазону 86...52% среднего значения кажущейся плотности перги (рис. 2.7). Соответствующий показатель для измельченной суши сотов при изменении среднего размера частиц от 3 мм до 6 мм и более варьирует от 298 до 166 г/дм³, что соответствует диапазону 35...19% кажущейся плотности данного материала (рис. 2.8).

2.3.3. Результаты исследования растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий

План и результаты проведенного эксперимента по определению влияния времени замачивания перги и ее начального гранулометрического состава на количество не растворившегося осадка представлены в приложении Г. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных

осуществлялась в программе Mathcad 15. В качестве приближающей функции выбран квадратичный полином:

$$y(x_1, x_2) = a_1 + a_2 \cdot x_1 + a_3 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_5 \cdot x_1^2 + a_6 \cdot x_2^2$$

В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, описывающее влияние двух факторов – времени замачивания перги в воде и ее начального гранулометрического состава, – на критерий оптимизации – процент не растворившегося осадка, при фиксированном значении температуры воды и начальной относительной влажности перги:

$$P(t, d) = 11,09 - 1,785 \cdot d - 0,055 \cdot t \cdot d + 0,667 \cdot d^2, \quad (2.18)$$

где P – процент не растворившейся перги (критерий оптимизации), %;

t – время выдерживания в воде, час.;

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 факторе t и квадратичном эффекте t^2 .

Произведена проверка полученной модели на адекватность по критерию Фишера на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Модель адекватна при отношении расчетного и критического значений критерия $1,256 < 2,773$ соответственно.

Оптимизация полученной модели встроенными средствами Mathcad 15 позволила определить значения факторов, при которых функция (2.18) достигает минимального значения:

$$P_{\min}(t, d) = P(26, 2.414) = 7.13\%$$

На рисунке 2.9 представлено графическое изображение полученной регрессионной зависимости (2.18) в виде трехмерной поверхности и линий уровня. На рисунке 2.10 представлены двухмерные зависимости данной модели при фиксировании одного из двух факторов на рациональном уровне, полученном в результате оптимизации.

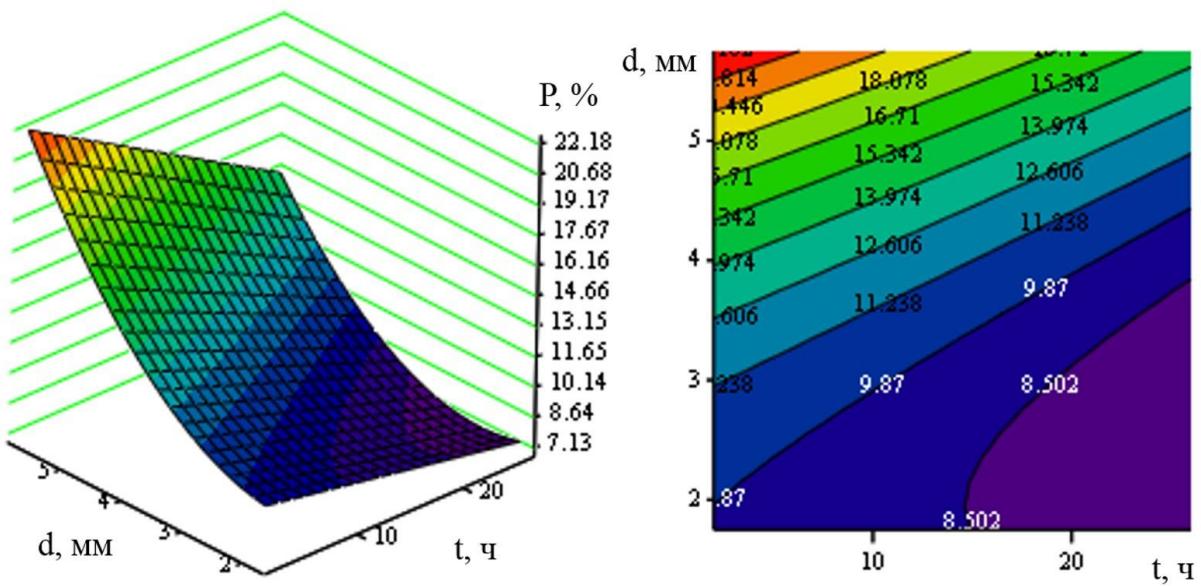


Рисунок 2.9 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений P (%) от продолжительности замачивания перги в воде t (ч) и ее первоначального гранулометрического состава d (мм)

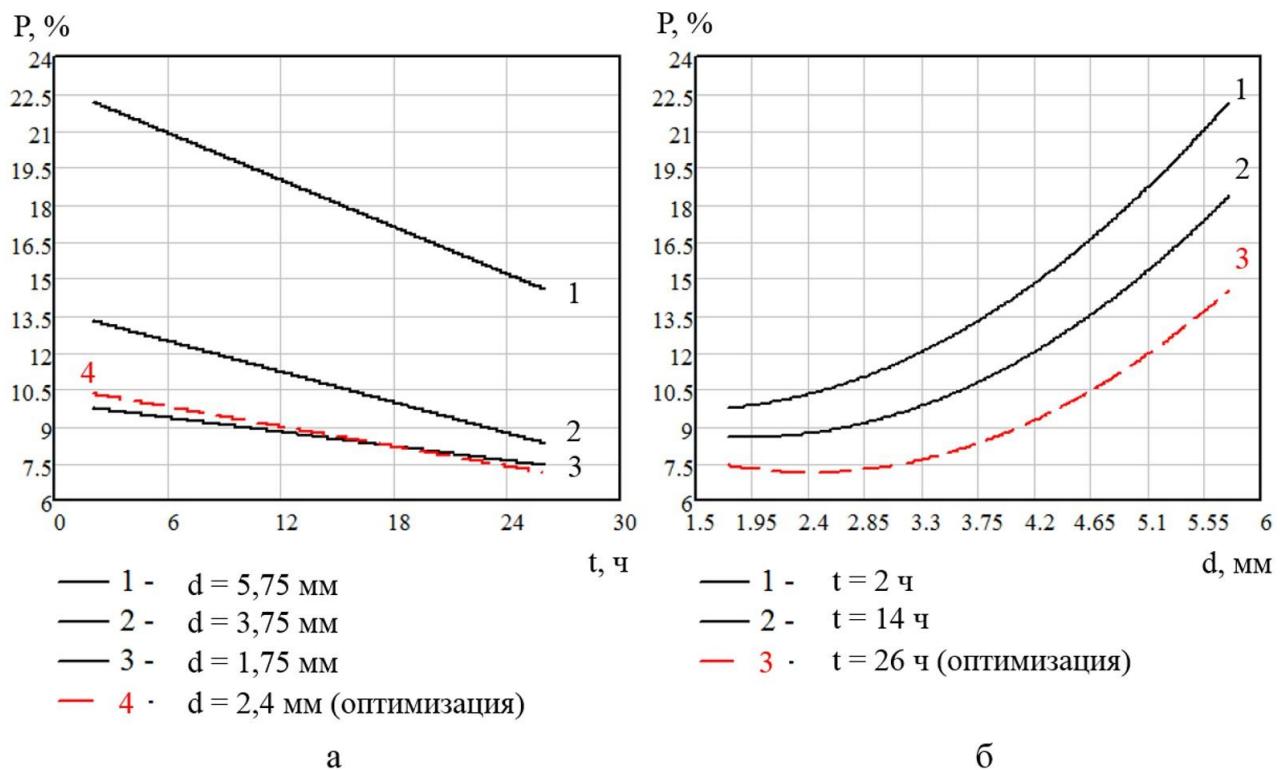


Рисунок 2.10 – Зависимость процента не растворившихся загрязнений P (%): а – от времени замачивания перги в воде t (ч) при фиксировании начального гранулометрического состава на различных уровнях; б – от первоначального гранулометрического состава пеги d (мм) при фиксировании времени замачивания в воде на различных уровнях

Анализируя полученную зависимость, можно выявить закономерное изменение критерия оптимизации при изменении времени замачивания: минимум не растворившихся частиц ожидаемо расположен на границе факторного пространства этого фактора. Также обстоит дело и с влиянием начального гранулометрического состава перги на критерий оптимизации, хотя в данном случае оптимум несколько смещен вправо от нижнего уровня фактора (рис. 2.10-б). Небольшое увеличение количества осадка при изменении фактора в сторону уменьшения от рационального уровня $d_{\min} = 2,414$ мм связано с повышенным содержанием нерастворимых компонентов (обрывков коконов, восковых частиц и пр.) в мелкой фракции.

В целом, результат анализа проведенного исследования позволяет сделать вывод, что статическое замачивание перги в воде в границах исследуемого факторного пространства не позволяет ей полностью раствориться при отсутствии внешнего механического воздействия. При наиболее рациональном сочетании факторов в осадке остается не менее 7 % не растворившихся загрязнений.

2.4. Выводы по второй главе

1. Исследование влияния количества загрязнений (перги), содержащихся в восковом сырье, на количество вытапливаемого воска показало, что выход воска при тепловой переработке воскового сырья существенно зависит от количества содержащихся в нем органических загрязнений и их гранулометрического состава. Установлено, что наибольшему значению процента выхода воска соответствуют максимальные значения восковитости и гранулометрического состава, наименьшему значению критерия оптимизации – минимальные значения обоих факторов. Так, при восковитости сотов, равной 76%, загрязненной целыми гранулами перги (неизмельченная сушь) выход воска при перетопке составит 61,9%, тогда как из измельченного воскового сырья с содержанием воска 36%, загрязненного примесями перги среднего гранулометрического состава 1,75 мм, удается вытопить не более 1% воска от первоначальной массы сырья.

2. Проведены исследования по определению объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава. Установлено, что в зависимости от крупности частиц перги, варьирующей от 1,75 мм до 5,75 мм (целые гранулы) ее объемная масса изменяется от 1100 до 660 г/дм³, что соответствует диапазону 86...52% среднего значения кажущейся плотности перги. Соответствующий показатель для измельченной сухи сотов при изменении среднего размера частиц от 3 мм до 6 мм и более варьирует от 298 до 166 г/дм³, что соответствует диапазону 35...19% кажущейся плотности данного материала.

3. Проведены исследования растворимости перги при ее замачивании без внешних механических воздействий под влиянием двух факторов: времени замачивания и гранулометрического состава материала. Установлено, что все факторы оказывают значимое влияние на критерий оптимизации – процент не растворившегося осадка. Установлена адекватная эмпирическая зависимость критерия оптимизации от исследуемых факторов. При оптимальных значениях факторов ($t = 26$ часов; $d = 2,4$ мм) количество не растворившегося осадка составляет не менее 7,13 % от первоначальной массы загрязнений в пересчете на сухое вещество.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

3.1. Схема устройства очистки воскового сырья

Задача теоретического исследования заключается в обосновании параметров устройства, которое позволяет очищать восковое сырье, представляющее собой выбракованные пчелиные соты, от водорастворимых органических загрязнений и перги перед вытопкой воска (патент РФ № 2672403).

На рис. 3.1 изображена конструктивно-технологическая схема устройства очистки воскового сырья.

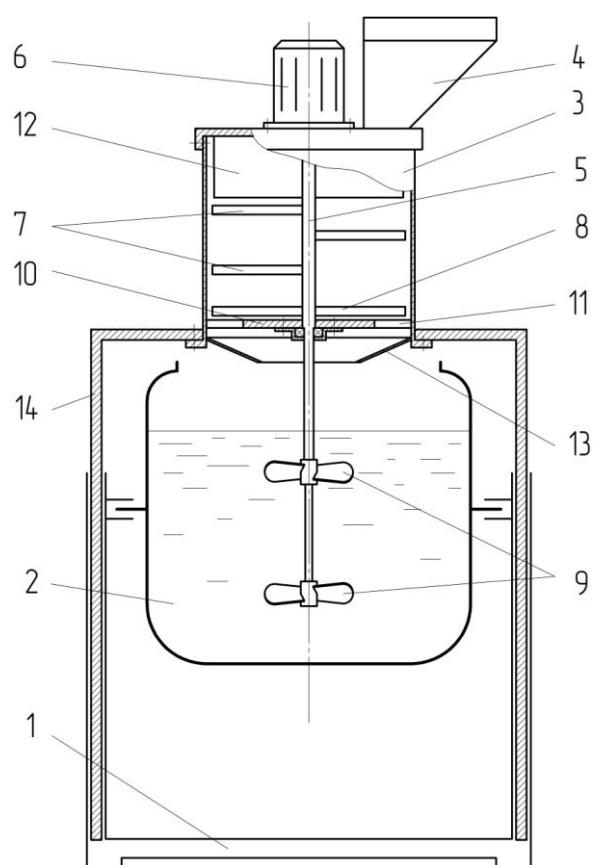


Рисунок 3.1 – Схема устройства очистки воскового сырья

Устройство состоит из неподвижной рамы 1 с расположенной на ней в подшипниковых опорах цилиндрической камерой гидравлической очистки 2, имеющей возможность поворота относительно горизонтальной оси. Над камерой

гидравлической очистки 2 на подвижной раме 14, имеющей возможность вертикального перемещения с фиксацией положения, 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 с пярусным радиальным расположением, при этом нижний штифт 8 имеет прямоугольное сечение, а в зоне камеры гидравлической очистки 2 рабочий вал 5 снабжен мешалками 9. Дно камеры измельчения 3 выполнено в виде неподвижного диска 10, снабженного противорезами 11, расположенными радиально в кольцевом зазоре, образованном между краем диска 10 и стенками камеры измельчения. В верхней части камеры измельчения имеется ограничительная (противорежущая) пластина 12. Под противорезами 11 установлен конический отражатель 13.

Работа устройства очистки воскового сырья осуществляется следующим образом. Перед началом рабочего цикла камера гидравлической очистки 2 заполняется водой до уровня, обозначенного на рис. 3.1 и контролируемого визуально или при помощи электронного датчика. Заранее подготовленные куски пчелиных сотов (отделенные от рамок и охлажденные до температуры 0...-5 °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. Ограничительная пластина 12 препятствует выходу продукта, отраженного от штифтов, из камеры измельчения в загрузочную горловину, а также затормаживает движение измельчаемых кусков в воздушно-продуктовом слое, что активизирует процесс измельчения. Измельченная масса подвергается вторичному измельчению благодаря наличию дополнительного измельчающего устройства, состоящего из штифта прямоугольного сечения 8 и неподвижного диска 10 с противорезами 11, расположенными радиально в кольцевом зазоре, образованном между краем

диска и стенками камеры измельчения. Попадая на поверхность диска 10 частицы сотов и гранулы перги, заключенные в восковые оболочки, под действием центробежной силы направляется в зону противорезов 11, расположенных на периферии камеры измельчения, где концы нижнего штифта 8 обладают наибольшей линейной скоростью, и подвергаются вторичному измельчению, проходя через зазор между противорезами 11 и штифтом 8, при этом крупные восковые частицы и гранулы перги, заключенные в восковые оболочки, разрушаются. Вторично измельченная масса, состоящая из восковых частиц в виде чешуек различной геометрической формы толщиной 0,3-3 мм и площадью до 25 мм^2 и разрушенных гранул перги, проходя вниз по наклонной поверхности конического отражателя 13, защищающего зону вторичного измельчения от проникновения капель воды из камеры гидравлической очистки 2, направляется в камеру 2, где осуществляется интенсивное перемешивание измельченной воско-перговой массы в воде, при этом водорастворимые примеси переходят в раствор, а частицы перги и органических загрязнений диспергируются. По окончании процесса очистки верхнюю часть устройства вместе с рабочим валом, расположенную на подвижной раме 14, приподнимают, наклоняют камеру гидравлической очистки 2 и водяную смесь воскового сырья сливают на фильтровальное сито.

Данное устройство позволяет получать очищенное восковое сырье с количеством примесей перги и органических загрязнений, не превышающим 1...3 %, которое подлежит дальнейшей переработке на паровой или водянной воскотопке.

3.2. Программа теоретического исследования

Основная идея предлагаемого технического решения заключается в совмещении двух устройств – измельчителя и устройства для перемешивания – в одном агрегате при вертикальном расположении камеры измельчителя над камерой перемешивающего аппарата и размещении всех рабочих органов – штифтов и мешалок – на общем валу с одним приводом. Предполагается, что

такое решение позволит: 1) сократить время, требуемое для очистки воскового сырья, а также упразднить операцию 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.

На начальном этапе переработки продукта, до полной загрузки определенного его количества в агрегат, осуществление двух процессов – измельчение и диспергирование измельченной массы в воде – происходит одновременно при одной и той же частоте вращения рабочего вала. Наличие общего вала накладывает требование совместимости режимов работы двух устройств, которое зависит от их геометрических параметров и соотношений.

Указанное обстоятельство определяет объем и характер теоретических и экспериментальных исследований.

В связи с вышесказанным, программа теоретических исследований предусматривает:

1. Теоретическое обоснование конструктивных параметров измельчителя воскового сырья.
2. Теоретическое обоснование конструктивных параметров устройства очистки воскового сырья для определения рационального соотношения геометрических параметров устройств для измельчения и перемешивания.

Теоретическое обоснование геометрических параметров конструктивных элементов устройства (рационального соотношения диаметров рабочих камер устройств для измельчения и перемешивания) базируется на применении теории подобия [10, 78, 126, 127, 138].

3.3. Теоретическое исследование параметров штифтового измельчителя

Приведем вывод основных соотношений, позволяющих произвести оценку предельной скорости, при которой возможно разрушение восковой основы перговых сотов. Очевидно, чем больше скорость удара, тем быстрее освобождается перга от восковых чешуек. При этом происходит разрушение

самой перговой гранулы. Предельная скорость удара отделяет порог дробления стенки ячейки сотов от разрушения самой гранулы.

Объемная масса сотов γ , кг/м³:

$$\gamma = \frac{m}{V_{com}}, \quad (3.1)$$

где m – масса сотов, кг.

Вывод будем строить исходя из энергетических соотношений. Любое разрушение связано с неупругими деформациями, для создания которых необходимо приложить некоторую работу. Очевидно, что после того как будет превышен определенный порог, произойдет разрушение.

Сила, с которой штифт действует на перговую гранулу, равна:

$$F = \sigma \cdot \varepsilon, \quad (3.2)$$

где σ – прочность перговых гранул, Па;

ε – пятно (площадь) соприкосновения штифта и перговой гранулы, м².

Исследования прочностных свойств перговых гранул описаны в [24, 47].

Соответственно, для нахождения работы этой силы ее следует умножить на перемещение (абсолютную деформацию, при которой происходит разрушение). Работа сил деформации, приводящая к относительной деформации, равной δ , определяется формулой:

$$A = \sigma \cdot \varepsilon \cdot h \cdot \delta,$$

где δ – относительная деформация, возникающая при давлении, при котором происходит разрушение.

Эта работа может быть совершена только за счет кинетической энергии штифта. Другими словами – за счет скорости поступательного движения штифта, или, более точно – за счет нормальной к поверхности штифта составляющей этой скорости. Поскольку взаимное положение штифта и куска сотов в момент удара случайно, то найдем среднюю составляющую этой скорости (рис. 3.2-3.3).

Если v – значение линейной скорости штифта в точке соударения, то нормальная составляющая скорости равна $v \cdot \cos \alpha$ (рис. 3.2), где α – угол между нормалью в точке соударения и вектором v скорости штифта.

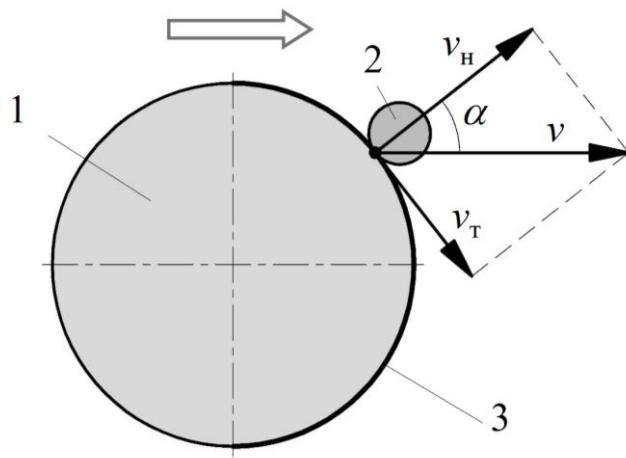


Рисунок 3.2 – Составляющие скорости взаимодействия штифта с частицей измельчаемого материала в точке соударения (стрелкой показано направление движения штифта): 1 – штифт; 2 – частица; 3 – фронтальная поверхность штифта

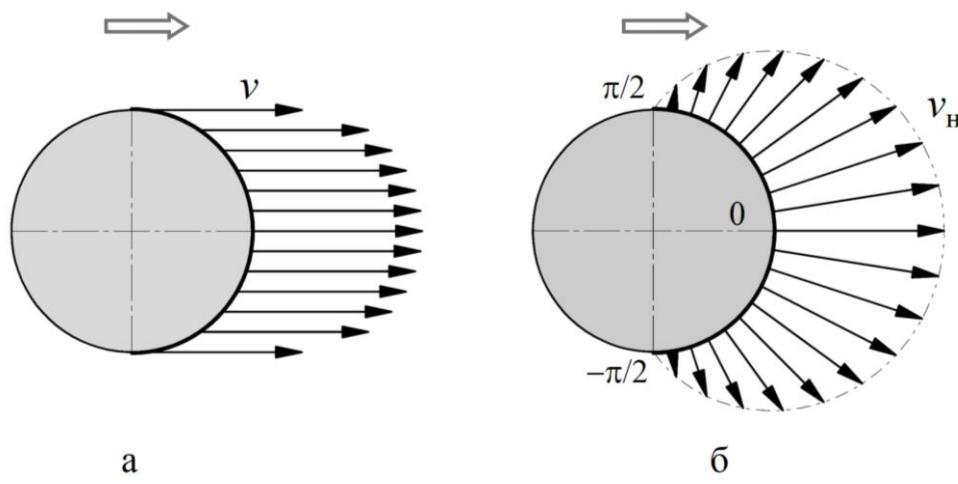


Рисунок 3.3 – Распределение скоростей по фронтальной поверхности штифта:
а – линейные скорости отдельных точек поверхности; б – поле нормальных
составляющих линейной скорости

Среднее значение скорости определяется выражением:

$$v_{cp} = \frac{2}{\pi \cdot d} \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} v \cdot \frac{d}{2} \cdot \cos(\alpha) \, d\alpha = \frac{2 \cdot v}{\pi} \quad (3.3)$$

Предположим, что до достижения относительной деформации δ удар носит упругий характер, и вся энергия удара переходит в энергию упругой деформации W :

$$W = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}, \quad (3.4)$$

где k – коэффициент пропорциональности между силой и деформацией; Δx – величина абсолютной деформации, м.

Коэффициент k определяется с помощью закона Гука с учетом (3.2):

$$k = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{\Delta x} \quad (3.5)$$

Тогда, с учетом (3.3), баланс энергии определяется выражением:

$$\frac{m \cdot \left(\frac{2 \cdot v}{\pi} \right)^2}{2} = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta x}{2}, \quad (3.6)$$

В этом выражении масса m подвергаемого ударной деформации элементарного объема $V = x \cdot \varepsilon$ измельчаемого материала составляет

$$m = x \cdot \varepsilon \cdot \gamma = \frac{\Delta x \cdot \varepsilon \cdot \gamma}{\delta} \quad (3.7)$$

Из уравнения (3.6) с учетом (3.1) выражаем оценку средней линейной скорости движения штифта v , м/сек:

$$v = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} \quad (3.8)$$

Величины σ и δ зависят от температуры и влажности материала. Данные зависимости достаточно хорошо изучены и представлены в исследованиях [5, 24, 47, 59, 66, 67, 71, 102, 105].

В дальнейшем понадобится выражение средней линейной скорости штифта. Этот показатель определяется как средняя арифметическая линейных скоростей конца штифта и той его части, которая расположена на внутренней границе воздушно-продуктового слоя толщиной b (м):

$$v_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot \left(l - \frac{b}{2} \right) \cdot n \quad (3.8^*)$$

Приравнивая (3.8) и (3.8*), получим уравнение

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

из которого можно выразить оценку диаметра рабочей камеры измельчителя $D_H \approx 2 \cdot l$ (величиной зазора между концом штифта и стенкой рабочей камеры пренебрегаем):

$$D_H = \frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b \quad (3.9)$$

Принятые величины и их обозначения приведены на рис. 3.4.

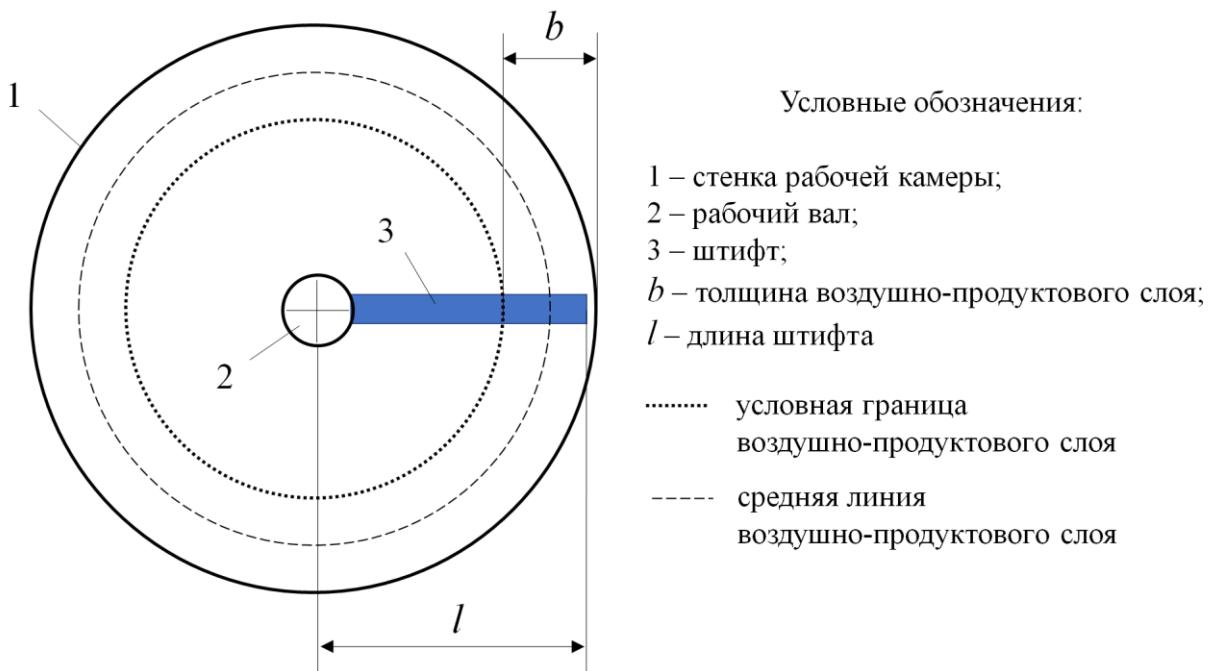


Рисунок 3.4 – Схематическое изображение рабочей камеры штифтового измельчителя (вид сверху)

3.4. Теоретическое обоснование геометрических параметров перемешивающего устройства

Эффективность процесса перемешивания жидких сред в аппаратах с мешалкой определяется конечным результатом (растворением, диспергированием, гомогенизацией и т. п.), достигнутым за определенное время. При этом эффективность работы перемешивающих устройств напрямую зависит от интенсивности перемешивания. Существует несколько подходов к определению этого понятия, однако наиболее точным методом определения

интенсивности перемешивания является отношение расходуемой на перемешивание мощности к единице объема N/V , Вт/м³ [87, 131].

Мощность N (Вт), расходуемую на перемешивание, можно определить как полезную мощность электродвигателя, приводящего в движение мешалку с определенными геометрическими параметрами, установленную в данном конкретном сосуде. Мощность электродвигателя можно измерить ваттметром. Полезная мощность, потребляемая мешалкой, или мощность, расходуемая на перемешивание, определяется как разность измеренной электрической мощности двигателя с мешалкой, работающей в жидкости, и на холостом ходу при одинаковых числах оборотов [131].

При желании выполнить условие $I = N/V = \text{const}$ необходимо с увеличением размеров аппарата повысить окружную скорость мешалки [35, 131], обеспечив соотношение:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3.10)$$

где u_1 , u_2 – скорость конца лопасти мешалки для двух геометрически подобных аппаратов, м/с;

D_1 , D_2 – внутренние диаметры рабочих камер двух геометрически подобных аппаратов, м.

При этом, принимая во внимание, что линейная скорость штифтов $u = \pi \cdot d \cdot n$, имеем уменьшение величины оборотов рабочего вала:

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (3.11)$$

где n_1 , n_2 – число оборотов мешалки для двух геометрически подобных аппаратов, с⁻¹.

Наличие отражательных перегородок в рабочей камере перемешивающего устройства приводит к существенному увеличению мощности, расходуемой на перемешивание, но только при оборотах, вызывающих турбулентный поток жидкости [156, 157, 162]. Известно, что оптимальная ширина B отражательных

перегородок, при которой расходуемая на перемешивание мощность максимальна, находится по отношению к диаметру сосуда D в диапазоне $B/D = 0,11\dots0,14$ для различных значений соотношения D/d [43, 57, 86, 131]. Исследователями, изучающими вопросы перемешивания в жидких средах, выведено уравнение, по которому можно рассчитать мощность, расходуемую на перемешивание для аппаратов с полными отражательными перегородками [9, 35, 87, 131, 158, 159]:

$$N = 23 \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho \cdot \left(\frac{b}{D} \right)^{1,27} \cdot \left(\frac{D}{d} \right), \quad (3.12)$$

где n – частота вращения вала, Об/сек;

d – диаметр мешалки, м;

b – ширина мешалки, м;

D – внутренний диаметр рабочей камеры, м;

ρ – плотность воды, кг/м³.

Таким образом, для выбранных геометрических параметров рабочей камеры диаметром D с мешалкой диаметром d и четырьмя отражательными перегородками мощность, расходуемая на перемешивание, будет выражаться функцией $N(n)$:

$$N(n) = k \cdot n^3, \quad (3.13)$$

Обозначим в (3.12) стоящие в скобках инварианты геометрического подобия через $i_1 = b/D$ и $i_2 = D/d$. Объем перемешивающего устройства равен

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}, \quad (3.14)$$

где H – высота камеры перемешивания, м,

Тогда выражение для интенсивности перемешивания I , Вт/м³ будет выглядеть следующим образом:

$$I = \frac{N}{V} = \frac{92 \cdot n^3 \cdot D^3 \cdot \rho}{\pi \cdot H} \cdot \frac{i_1^{1,27}}{i_2^4}, \quad (3.15)$$

Введем еще один инвариант $i_3 = H/D$ и выразим диаметр рабочей камеры перемешивающего устройства:

$$D_H = \sqrt{\frac{\pi \cdot I}{92 \cdot n^3 \cdot \rho}} \cdot \frac{i_2^4 \cdot i_3}{i_1^{1.27}} \quad (3.16)$$

Далее определим искомое соотношение D_H/D_P (безразмерная величина):

$$\frac{D_H}{D_P} = \left(\frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b \right) \cdot \sqrt{\frac{92 \cdot n^3 \cdot \rho}{\pi \cdot I} \cdot \frac{i_1^{1.27}}{i_2^4 \cdot i_3}} \quad (3.17)$$

Численное моделирование проводили с целью определения оптимального соотношения диаметров рабочих камер измельчителя и перемешивающего устройства, которое зависит от требуемой скорости взаимодействия рабочих органов вала с измельчаемым материалом, определяемой типом перерабатываемого сырья, его геометрическими и физико-механическими свойствами. Моделирование проводили с использованием программы Mathcad 15.0. Исходные данные для численного эксперимента и его результаты приведены в приложении Д.

Результаты моделирования представлены в виде графических зависимостей на рис. 3.5-3.6.

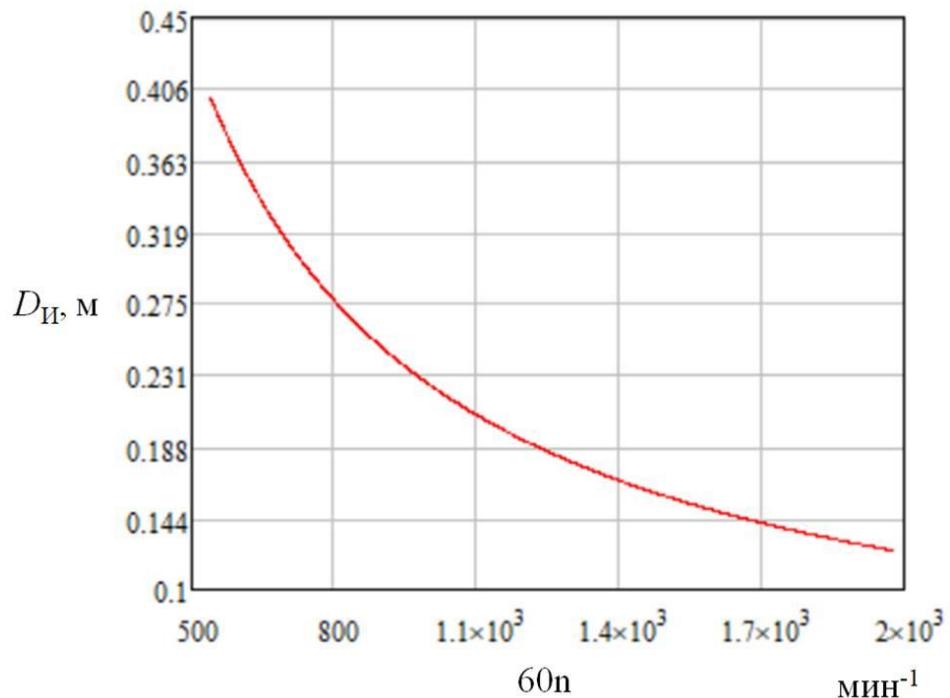


Рисунок 3.5 – Теоретическая зависимость диаметра рабочей камеры измельчителя D_H , м от требуемой частоты вращения рабочего вала, мин⁻¹

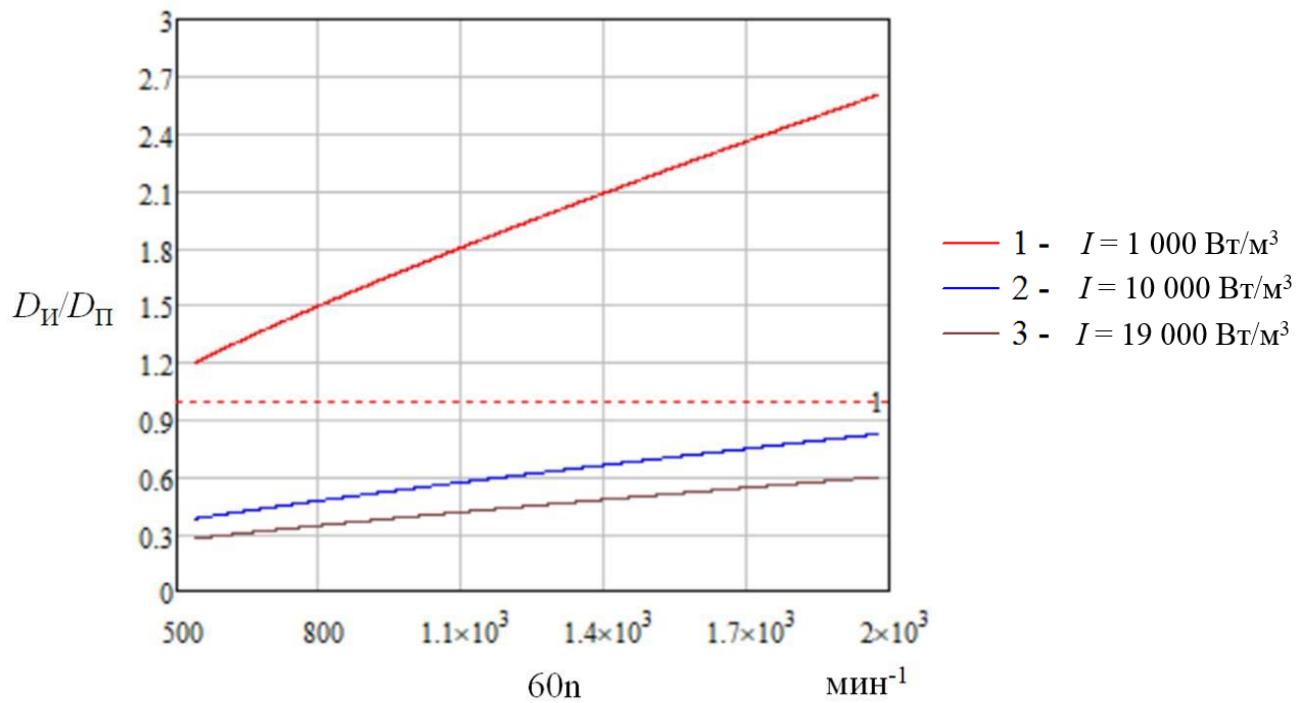


Рисунок 3.6 – Теоретическая зависимость соотношения диаметров рабочей камеры измельчителя D_{II} , м и диаметра камеры для перемешивания D_{Π} , м от требуемой частоты вращения рабочего вала, мин^{-1} при различных значениях интенсивности перемешивания I , $\text{Вт}/\text{м}^3$

Из приведенной на рис. 3.6 зависимости следует, что с увеличением требуемой скорости взаимодействия рабочих органов измельчителя с измельчаемым материалом, а соответственно, и величины оборотов вала, соотношение диаметров D_{II}/D_{Π} монотонно возрастает при фиксированном значении интенсивности перемешивания. Возрастание этого соотношения (пунктирная линия на графике соответствует $D_{II}/D_{\Pi} = 1$) происходит тем быстрее, чем меньше значение интенсивности перемешивания.

Так как при увеличении частоты вращения вала оптимальное значение диаметра измельчителя D_{II} уменьшается (рис. 3.5), необходимо еще в большей мере уменьшать диаметр камеры перемешивающего устройства D_{Π} . Это объясняется описанным выше свойством уменьшения частоты вращения мешалки при увеличении размеров аппарата для соблюдения условия $I = N/V = \text{const}$ (3.10)-(3.11). Например, при наличии камеры для измельчения диаметром 0,19 м рациональная частота вращения рабочего вала составит около 1150 Об/мин, а для

обеспечения требуемой интенсивности $15000 \text{ Вт}/\text{м}^3$ соотношение диаметров должно быть $D_{И}/D_{П} = 0,49$. Таким образом, необходимо подобрать камеру для перемешивания диаметром $0,19/0,49 = 0,38 \text{ м}$.

3.5. Выводы по третьей главе

1. Получена модель, устанавливающая взаимосвязь между геометрическими параметрами штифтового измельчителя и требуемой частотой вращения рабочего вала, определяемой физико-механическими свойствами измельчаемого материала. В соответствии с результатами численного моделирования, для измельчения воскового сырья в рабочей камере измельчителя диаметром $0,19 \text{ м}$ рациональная частота вращения рабочего вала составит около $1150 \text{ Об}/\text{мин}$.

2. Получена модель, устанавливающая рациональное соотношение геометрических параметров устройств для измельчения и перемешивания. В результате численного моделирования установлено, что с увеличением требуемой скорости взаимодействия рабочих органов измельчителя с измельчаемым материалом, а соответственно и величины оборотов вала, соотношение диаметров $D_{И}/D_{П}$ монотонно возрастает при фиксированном значении интенсивности перемешивания. Возрастание этого соотношения (пунктирная линия на графике соответствует $D_{И}/D_{П} = 1$) происходит тем быстрее, чем меньше значение интенсивности перемешивания. Так как при увеличении частоты вращения вала оптимальное значение диаметра измельчителя $D_{И}$ уменьшается, необходимо еще в большей мере уменьшать диаметр камеры перемешивающего устройства $D_{П}$. Это объясняется описанным свойством уменьшения частоты вращения мешалки при увеличении размеров аппарата для соблюдения условия $I = N/V = \text{const}$. Например, при наличии камеры для измельчения диаметром $0,19 \text{ м}$ и рациональной частоте вращения рабочего вала $1150 \text{ Об}/\text{мин}$, для обеспечения требуемой интенсивности $15000 \text{ Вт}/\text{м}^3$ соотношение диаметров должно быть $D_{И}/D_{П} = 0,49$. Таким образом, необходимо подобрать камеру для перемешивания диаметром $0,19/0,49 = 0,38 \text{ м}$.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

4.1. Программа исследований

Предлагаемая нами устройство очистки воскового сырья от загрязнений (патент РФ №2672403) представляет собой объединенные в своей конструкции измельчитель перговых сотов штифтового типа и камеру перемешивания (гидроочистки), внутри которой на рабочем валу расположена лопастная мешалка.

Для уточнения результатов теоретического исследования и экспериментального обоснования рациональных параметров предложенного устройства необходимо провести лабораторное исследование. Выполнить исследование целесообразно поэтапно.

На первом этапе необходимо определить рациональные параметры штифтового измельчителя, обеспечивающие получение измельченного воскового сырья требуемого гранулометрического состава.

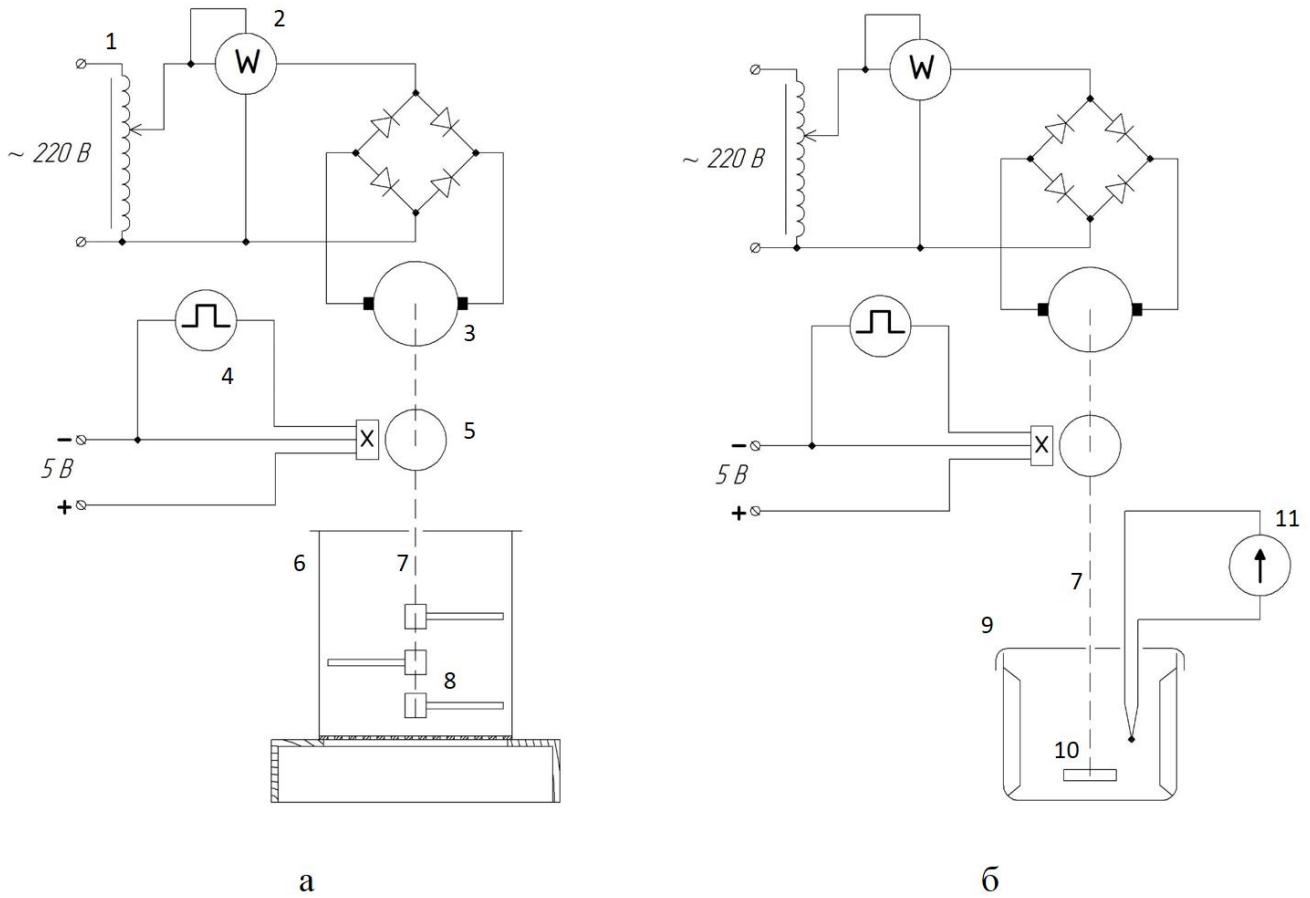
На втором этапе исследования необходимо определить рациональные параметры процесса гидроочистки.

4.2. Лабораторная установка

Для выполнения лабораторных исследований нами была разработана и изготовлена лабораторная установка, схема которой представлена на рисунке 4.1, а ее общий вид – на рисунках 4.3-4.5.

Установка (рис. 4.1) состоит из рабочего вала 7, снабженного электроприводом 3 [6, 11, 95]. При этом рабочая часть устройства (рабочий вал и электродвигатель) установлена на подвижной платформе, имеющей возможность закрепляться на необходимой для опыта высоте. Конструкция рабочего вала позволяет последовательно исследовать конструктивные параметры измельчителя (рис. 4.1-а) и перемешивающего устройства (рис. 4.1-б). Регулирование частоты вращения ротора электродвигателя 3 осуществляется изменением напряжения его

питания при помощи ЛАТРа 1 с последующим его выпрямлением тока через диодный мост (рис. 4.1).



Условные обозначения: 1 – ЛАТР; 2 – измеритель мощности СА 8220; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – мультиметр с функцией измерения частоты импульсов; 5 – тахометрический генератор с датчиком Холла; 6 – рабочая камера штифтового измельчителя, снабженная решетом и поддоном; 7 – рабочий вал; 8 – штифты; 9 – емкость для перемешивания с отражательными перегородками; 10 – лопастная мешалка; 11 – прибор для измерения температуры с термопарой, установленной в емкости для перемешивания.

Рисунок 4.1 – Функциональная схема лабораторной установки: а – снабженной камерой штифтового измельчителя; б – снабженной камерой перемешивающего устройства

Немаловажной особенностью изготовленной установки является возможность снятия следующих электромеханических характеристик:

- активная и полная мощность, потребляемая электродвигателем лабораторной установки;
- частота вращения рабочего вала;
- температура перемешиваемой жидкости.

Приведенные выше особенности возможно получить благодаря снабжению электропривода следующими приборами [104, 140]: анализатор однофазной мощности СА 8220 (Chauvin Arnoux); мультиметр марки М890F с функцией измерения частоты импульсов; тахометрический генератор с датчиком Холла; мультиметр марки М-838 с функцией измерения температуры.

Для проведения опытов по измельчению воскового сырья установка (рис. 4.2), снабжается рабочей камерой 2, расположенной на основании 1, в нижней части которой установлен выдвижной ящик 3 для сбора измельченной воскоперговой массы. Верхняя часть камеры закрывается крышкой (на рисунке не показана). Над ящиком установлено решето 4. В камере располагается рабочий вал 7 с закрепленными на нем при помощи втулок 6 штифтами 5. Расстояние между плоскостями вращения штифтов выдерживается распорными втулками 8.

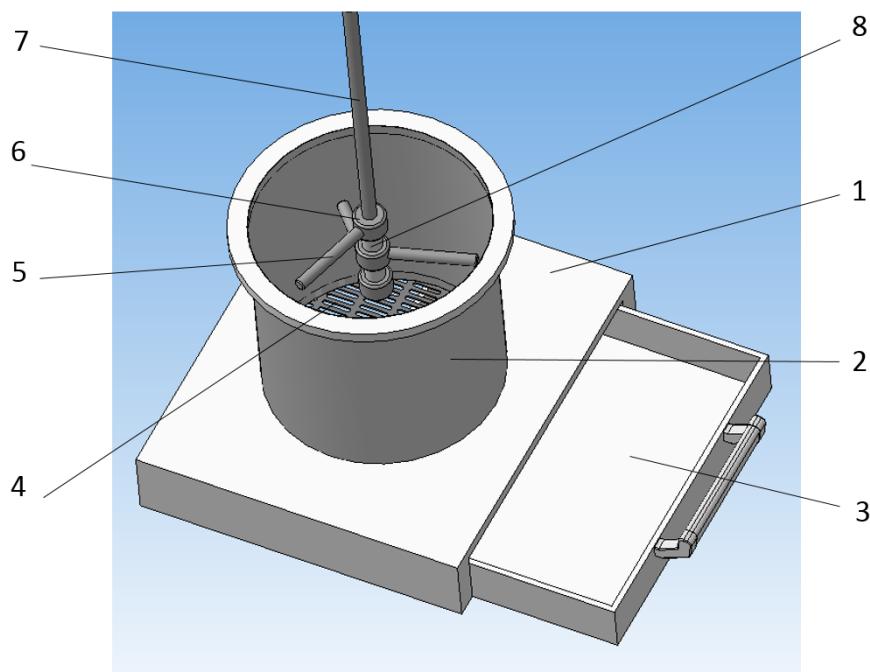


Рисунок 4.2 – Схема лабораторной установки для исследования конструктивно-технологических параметров штифтового измельчителя пчелиных сотов

Установка (рис. 4.3-4.4) состоит из подвижного основания 4, имеющего возможность вертикального перемещения с фиксацией положения, на котором расположен привод, состоящий из электродвигателя 6 постоянного тока марки УХЛ-4 с редуктором и вала 5 с наконечником 2. На валу 5 привода закреплен электронный тахометр, состоящий из диска 3 с расположенными по окружности постоянными магнитами и датчика Холла, импульсы с которого поступают на мультиметр 8 модели М890F с функцией измерения частоты. Обороты мешалки регулируются изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель 6, при помощи лабораторного автотрансформатора 10.

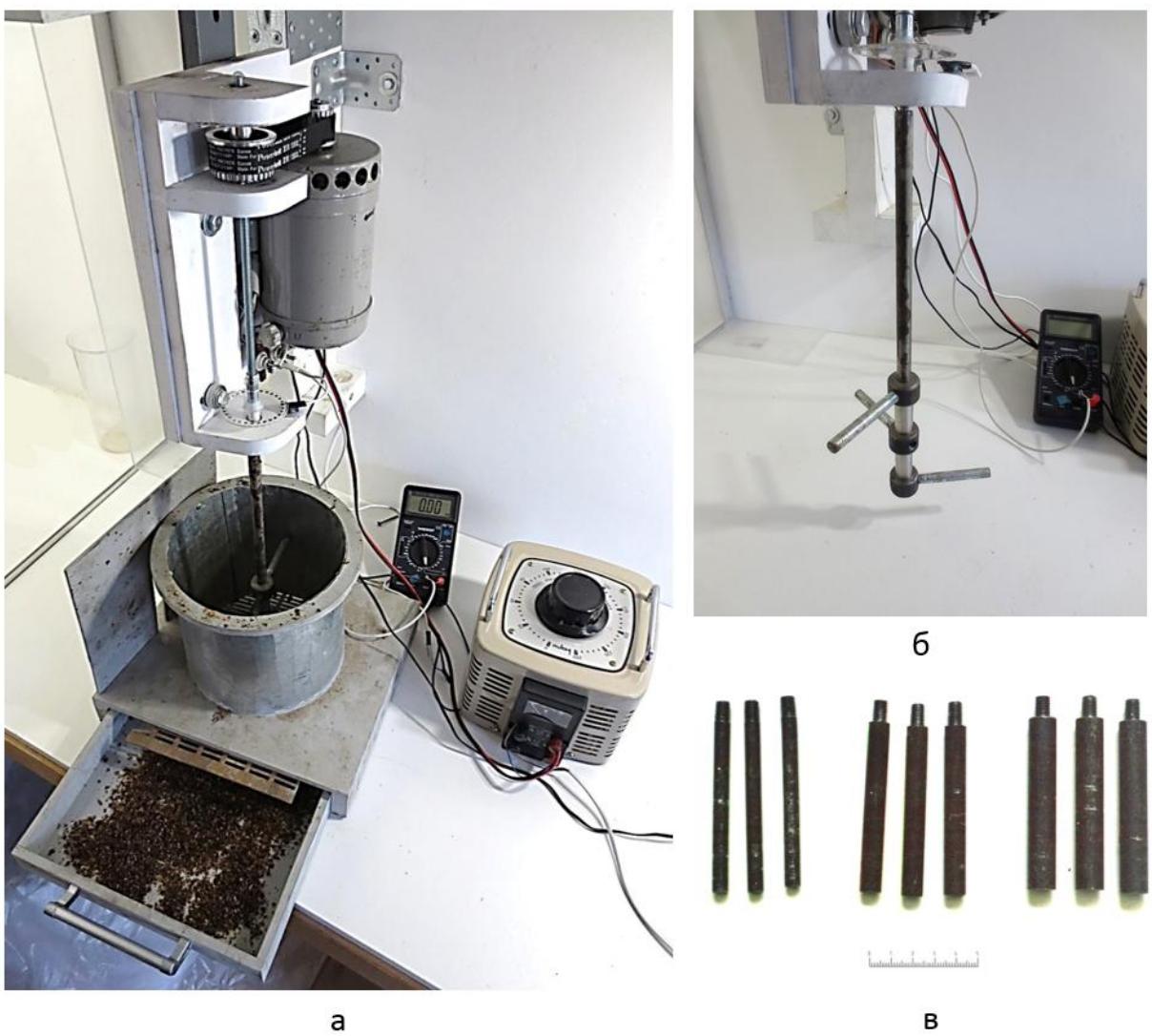
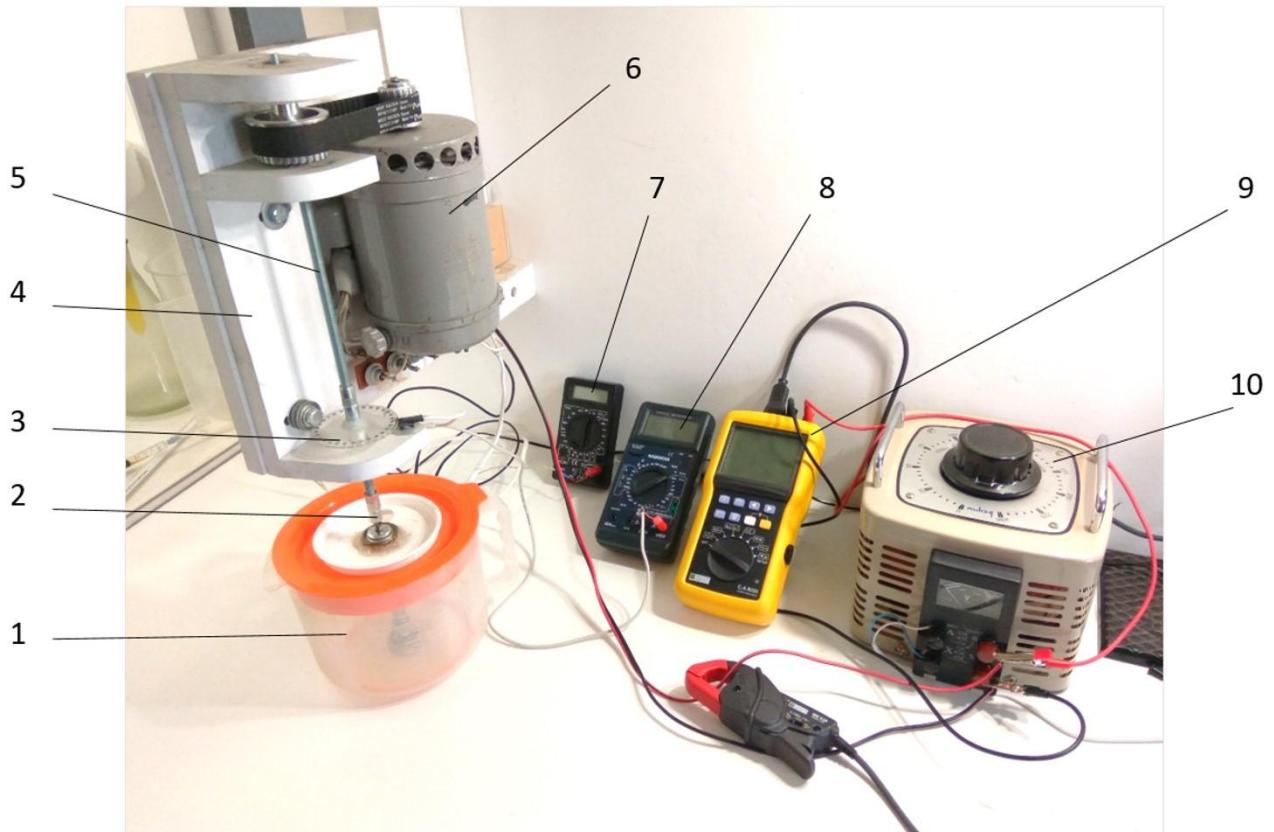


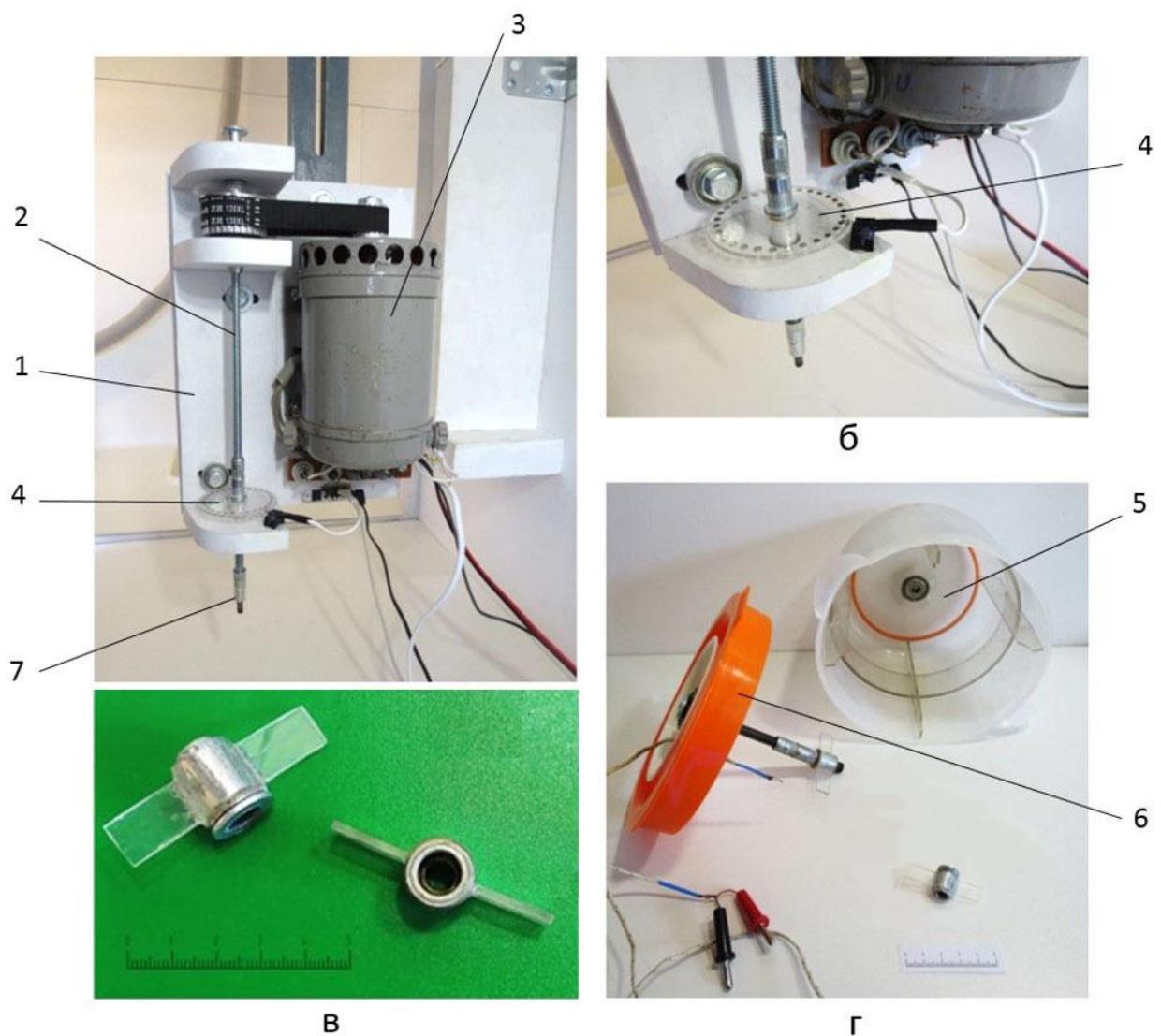
Рисунок 4.3 – Лабораторная установка во время выполнения опытов по измельчению воскового сырья: а – общий вид лабораторной установки; б – рабочий вал с установленными штифтами, закрепленными посредством распорных втулок; в – комплекты штифтов диаметром 10, 12 и 14 мм.

При исследовании параметров перемешивающего устройства вместо штифтового измельчающего аппарата установка снабжается емкостью для перемешивания. Общий вид лабораторной установки во время проведения опытов по растворению загрязнений воскового сырья в воде путем механического перемешивания представлен на рисунке 4.4. Вид основных элементов установки представлен на рисунке 4.5.



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

Рисунок 4.4 – Общий вид лабораторной установки во время исследования процессов перемешивания



Условные обозначения: 1 – подвижное основание; 2 – рабочий вал; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – тахометрический генератор с датчиком Холла; 5 – емкость для перемешивания с отражательными перегородками и подшипниковой опорой; 6 – крышка емкости с валом и мешалкой и внедренной в нее термопарой; 7 – наконечник рабочего вала.

Рисунок 4.5 – Лабораторная установка (фрагменты):

- а – силовой блок с электродвигателем и рабочим валом; б – тахометрический генератор, установленный на рабочем валу; в – мешалка лопастного типа;
- г – рабочая емкость с крышкой и отражательными перегородками.

Важной особенностью электропривода лабораторной установки является жесткость механических характеристик в исследуемом диапазоне нагрузок

(тормозящих моментов) на электродвигатель, а также возможность изменять частоту вращения рабочего вала установки в широком диапазоне – от 100 до 3000 Об/мин.

Измерение мощности, потребляемой электродвигателем 6 (рис. 4.4), проводили при помощи анализатора однофазной мощности 9 марки СА 8220. Под основание 4 установки помещаются сменные емкости 1 различного объема, в каждой из которых установлен собственный вал с закрепленными на нем одной или несколькими мешалками, зафиксированный от поперечного смещения в двух подшипниковых опорах, расположенных в крышке и на дне емкости. При соединении с приводом вал, установленный в емкости, входит в зацепление с наконечником 9 вала 2 привода. Во время перемешивания происходит контроль температуры жидкости внутри емкости 8 при помощи внедренной в крышку термопары от мультиметра 7 марки М-838 с функцией измерения температуры.

Емкость для перемешивания жидкости (рис. 4.1, поз. 8; рис. 4.4, поз. 1; рис. 4.5-г) имеет следующие геометрические параметры: диаметр сосуда $D = 160$ мм, высота столба жидкости при проведении исследований $H = 85$ мм, четыре отражательные перегородки шириной B при соотношениях $B/D = 0,11$; $D/d = 3,07$; $b/D = 0,07$; $h/H = 0,11$ (здесь h – высота установки мешалки от дна сосуда аппарата). Данные геометрические инварианты выбраны в соответствии с рекомендациями, приведенными в справочной литературе [87, 131].

4.3. Методика лабораторных исследований

4.3.1. Методика исследования параметров штифтового измельчающего аппарата

Предварительно проведенное исследование по изучению физико-механических свойств воскового сырья и его загрязнений (п. 2.3.3) позволило установить, что гранулометрический состав измельченного воскового сырья должен иметь усредненный размер частиц менее 3 мм [20, 21, 22, 23, 26, 38, 42, 109]. Наиболее подходящим устройством для измельчения суши выбракованных пчелиных сотов является измельчающий аппарат штифтового типа [20, 21, 22,

109]. Штифтовой измельчитель используется как устройство измельчения воскового сырья и в исследуемой нами установке, конструкция которой защищена патентом РФ № 2672403 [119]. Данная конструкция подробно описана в п. 3.1.

В литературе приводится подробное описание теоретических и экспериментальных исследований штифтового измельчителя данного типа [7, 33, 56, 59, 92, 93, 137, 141, 142, 143, 144, 161]. Цель ранее проводимых исследований заключалась в измельчении выбракованных сотов до среднего размера частиц 5-6 мм (фракция целых перговых гранул), в то время как для обеспечения работоспособности предлагаемого устройства требуется гранулометрических состав измельченной массы сотов, имеющий средний размер частиц менее 3 мм.

Для решения поставленной задачи были проанализированы ранее проведенные исследования [20, 21, 26, 109], на основе которых выбраны факторы (параметры штифтового измельчителя), наиболее значимо влияющие на гранулометрический состав измельченного продукта: диаметр штифтов, расстояние между плоскостями их вращения и линейная скорость конца штифта.

Предварительно проведенные исследования показывают, что для наиболее полного растворения примесей перги и других водорастворимых загрязняющих компонентов воскового сырья необходимо обеспечить измельчение сотов до гранулометрического состава с минимальным содержанием восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воско-пергового вороха, что и было принято за критерий оптимизации, который должен быть минимизирован.

Таким образом, задачей исследования является установление сочетания параметров штифтового измельчителя выбранных пчелиных сотов, позволяющего обеспечить минимальное содержание восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья.

С целью упрощения методики проведения опытов было решено ограничить количество факторов, при этом значения следующих управляемых факторов были стабилизированы:

- расстояние между решетом и плоскостью вращения нижнего штифта;

- число штифтов и схема их расположения на рабочем валу;
- степень загрузки измельчителя продуктом.

Значение расстояния между решетом и плоскостью вращения нижнего штифта стабилизировано на уровне 5 мм, так как это оптимальная величина зазора, при которой происходит перетирание крупных частиц, включая пергу, и их разрушение с последующим переходом сквозь отверстия решета [71, С.213].

Ротор измельчителя должен быть динамически сбалансирован, в связи с этим необходимо, чтобы масса штифтов была равномерно распределена по поверхности рабочего вала. Соблюдение условия сбалансированности рабочего вала конкретизирует схемы расположения штифтов на рабочем валу [71, С.213]. Известно [71, С.249], что фактор количество штифтов не значимо влияет на процесс измельчения. Исходя из габаритных параметров рабочей камеры и необходимости соблюдения условия сбалансированности рабочего вала, была выбрана схема с тремя штифтами, расположенными друг относительно друга под углом 120°.

Для оценки влияния исследуемых факторов на критерий оптимизации было решено провести трехфакторный трехуровневый эксперимент второго порядка, близкий к D-оптимальному по плану Бокса-Бенкина [46, 96].

Диапазон варьирования фактором «диаметр штифтов» составлял от 10 до 14 мм. В ранее проведенном исследовании [71, С.253] установлено оптимальное значение диаметра штифта, равное 10 мм, необходимое для сохранения целостности перговых гранул. Данное значение приняли как нижний уровень фактора. Предполагается, что для обеспечения наибольшей разрушенности восковой основы, содержащей примеси перги и других загрязнений, необходимо изменять значение фактора «диаметр штифтов» в сторону увеличения от обозначенной границы.

Диапазон варьирования фактором «расстояние между плоскостями вращения штифтов» составлял 25...55 мм. Нижний уровень 25 мм – минимально возможное расстояние при сопряженных втулках. При превышении значения

параметра верхней границы 55 мм начинает проявляться явление дебаланса, вызывающее вибрацию элементов установки.

Диапазон варьирования фактором «линейная скорость концов штифтов» составлял 9...12 м/с. Нижним уровнем фактора, равным 9 м/с, является критическая скорость концов штифтов, при которой происходит разрушение перговых гранул [59, 71]. Принимая во внимание выражение линейной скорости u , м/с через частоту вращения n , с⁻¹ и диаметр плоскости вращения d , м:

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

определяем верхний уровень фактора, при котором для заданных геометрических параметров рабочей камеры измельчителя ($d = 0,19$ м) частота вращения ротора установки не превышает 1200 Об/мин. Данным условиям соответствует максимальное значение линейной скорости, равное 12 м/с.

В таблице 4.1 представлены факторы эксперимента в натуральном выражении и уровни их варьирования.

Таблица 4.1 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозна- чение	Уровень		
		(-1)	(0)	(+1)
Диаметр штифтов, мм	X1	10	12	14
Расстояние между плоскостями вращения штифтов, мм	X2	25	40	55
Линейная скорость, м/с	X3	9	10,5	12

Опыты проводили с трехкратной повторностью в каждой точке плана.

Экспериментальный материал подготавливали следующим образом. Из привезенных из различных районов Рязанской области сотовых рамок с содержанием перги от 5 до 32% вырезали куски сотов массой от 50 до 70 г., охлаждали их в морозильной камере в течение двух часов при температуре -3 °C.

При работе установки куски сотов массой от 50 до 70 г, охлажденные до 0...-3 °C, загружаются в рабочую камеру, где под ударным воздействием вращающихся штифтов измельчаются. После прохождения через решето

измельченная масса поступает в ящик. Привод рабочего вала осуществляется от силового блока лабораторной установки, описанной в п. 4.2.

Полученную измельченную массу подвергали гранулометрическому анализу. Для этого из нее формировали навески массой 50 ± 1 г. Их просеивали на классификаторе, состоящем из сита с диаметром отверстий 3 мм. При этом образуются две фракции: ≥ 3 мм (на решете) и < 3 мм (на поддоне классификатора).

Критерий оптимизации – процентное содержание частиц диаметром 3 мм и более – определяли по формуле:

$$W = \frac{m_3}{M_0} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где m_3 – масса восковых частиц диаметром 3 мм и более, г;

M_0 – общая масса навески, г.

4.3.2. Методика исследования растворимости перги в воде при перемешивании

Для обоснования рациональных условий разрушения частиц основного загрязнителя воскового сырья (перги) в воде до отдельных пыльцевых зерен при интенсивном механическом перемешивании было решено провести многофакторный эксперимент, устанавливающий влияние трех факторов – интенсивности перемешивания I ($\text{Вт}/\text{м}^3$), времени перемешивания t (с) и гранулометрического состава материала d (мм) – на степень диспергирования в воде. Степень диспергирования (критерий оптимизации) оценивали процентом не растворившихся загрязнений P (%) от их первоначальной массы в пересчете на сухое вещество по формуле:

$$P = \frac{M_O}{M_{II}} \cdot \left(1 - \frac{W}{100} \right)^{-1} \cdot 100, \quad (4.2)$$

где M_O – масса не растворившегося осадка после высушивания, г.;

M_{II} – масса навески перги, г.;

W – относительная влажность перги, %;

$$\left(1 - \frac{W}{100}\right) - \text{пересчет на сухое вещество.}$$

Анализ многочисленных литературных источников, посвященных исследованию гидродинамических процессов [1, 87, 120, 121, 128, 129, 131], позволяет утверждать, что выбранные нами факторы наиболее значимо влияют на процесс разрушения (диспергирования) органических загрязнений в воде. Таким образом, необходимо установить уровни сочетания исследуемых факторов, позволяющие обеспечить минимизацию выбранного критерия оптимизации.

Для решения данной задачи определим уровни варьирования факторами.

Уровни варьирования фактором X_1 «интенсивность перемешивания» и соответствующие им величины оборотов n (Об/мин) определяли с помощью установленной эмпирической зависимости полезной мощности, расходуемой мешалкой N , Вт, от величины ее оборотов n , мин^{-1} для емкости с заданными геометрическими параметрами, приведенными выше (п. 4.2):

$$N(n) = (6,296 \cdot 10^{-8}) \cdot n^{2,637} \quad (4.3)$$

Данная зависимость, выраженная интенсивностью перемешивания ($I = N/V$, $\text{Вт}/\text{м}^3$) при объеме перемешиваемой жидкости $V = 1,7$ л, представлена на рисунке 4.6.

Поскольку фактор «интенсивность перемешивания» в пределах факторного пространства изменяется по степенному закону, диапазон его варьирования при проведении исследования был выбран с учетом комплекта требований к управляемым факторам [3, 46, 88, 89]. Непосредственные его значения выбирали с учетом результатов предварительно проведенных опытов [106, 107], позволяющих утверждать, что перемешивание при частотах вращения вала с мешалкой ниже 400 Об/мин не способствует полному контакту материала с водой – часть частиц мелкой и средней фракции остаются на поверхности воды при перемешивании. Так же нецелесообразно увеличивать обороты выше 2000 Об/мин, так как это не приводит к повышению эффективности перемешивания и скорости диспергирования и способствует выплескиванию воды через отверстия в крышке рабочей камеры.

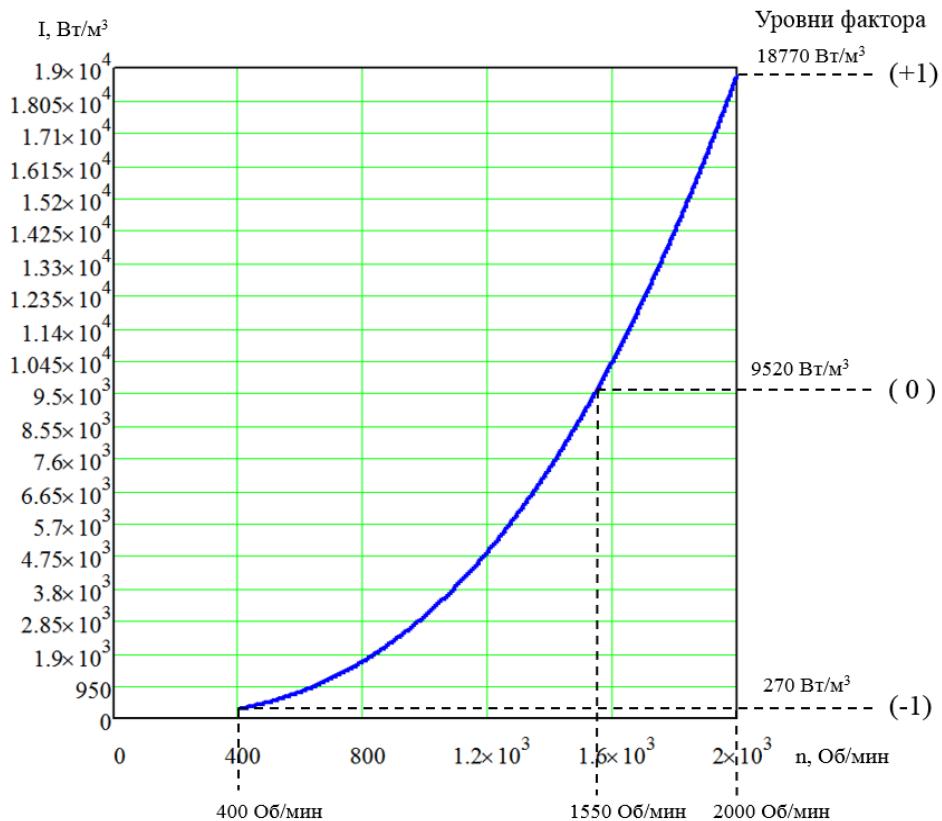


Рисунок 4.6 – Эмпирически установленная зависимость интенсивности от величины оборотов вращения мешалки с обозначенными уровнями варьирования фактором X1 «интенсивность перемешивания» и соответствующими каждому уровню величинами оборотов мешалки

Верхний уровень варьирования фактором X2 «время перемешивания», по данным предварительных исследований, ограничен 10 мин.

Материал для проведения эксперимента подготавливали следующим образом. Извлеченную из сотов посредством механизированной технологии [39, 41, 61, 62, 64, 65, 69, 71, 72, 82, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 111, 112] пергу, имеющую относительную влажность 14-15%, выдерживали при температуре 0...-5°C в течение 2-3 часов, затем подвергали дроблению на электрической мельнице в течение нескольких секунд. Измельченную массу рассеивали на ситовом классификаторе, собранном из сит с диаметром отверстий 4,5 мм, 3 мм и 1 мм. Таким образом были получены три фракции перги со средним размером частиц, соответствующим трем уровням варьирования фактором X3 «гранулометрический состав»: 5,75 мм (целые гранулы, верхний уровень); 3,75

мм (сход со среднего сита, нулевой уровень); 1,75 мм (сход с нижнего сита, нижний уровень). На рисунке 2.1 (глава 2) представлены три фракции исследуемого материала.

Фракционированный материал герметично упаковывали в полипропиленовые пакеты и хранили до начала проведения эксперимента.

В таблице 4.2 представлены уровни и интервалы варьирования 3-х факторов, влияние которых на функцию отклика устанавливается в процессе проведения эксперимента.

Таблица 4.2 – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозн.	Ед. изм.	Уровни варьирования			Интервал
			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

Эксперимент проводили при температуре +18...+23 °С. На основании ранее проведенных исследований [25, 28, 31, 40, 106, 107] установлено, что при меньшей температуре процесс растворения существенно замедляется, а значения температуры, близкие к 30 °С и выше, не представляют интереса в рамках темы исследования, так как приближаются к критическому уровню, при котором восковое сырье размягчается, и его очистка становится невозможной.

Эксперимент проводили следующим образом. Пакеты с пергой различного гранулометрического состава (в соответствии с планом эксперимента, табл. 4.2) выдерживали при требуемой температуре в течение 2 часов, затем, непосредственно перед погружением перги в емкость с водой, распечатывали и формировали навески массой 20±2 грамм. Воду в емкости также заранее доводили до соответствующей температуры. После погружения навески в емкость с водой включали электродвигатель лабораторной установки и с помощью ЛАТРа устанавливали требуемую частоту вращения вала, которую контролировали по показаниям электронного тахометра. По истечении требуемого по плану эксперимента времени перемешивание прекращали, содержимое емкости

отфильтровывали на сите с размером отверстий $0,5 \times 0,5$ мм. Оставшиеся на сите частицы смывали холодной водой в отдельную емкость, из которой водяную смесь подвергали вакуумному фильтрованию в соответствии с методикой, описанной в главе 2.

Опыты проводили с трехкратной повторностью в каждой точке плана.

4.3.3. Методика исследования очистки воскового сырья в воде при перемешивании

Результаты описанного выше исследования позволили установить рациональный режим растворения основного загрязнителя воскового сырья (перги) в воде при перемешивании. Для создания действующей установки в соответствии с патентом РФ № 2672403 необходимо дополнительно учесть влияние на изучаемый процесс следующих факторов: 1) состав воскового сырья; 2) концентрация воскового сырья в воде.

Исследуемое нами восковое сырье, получаемое в результате измельчения выбракованных пчелиных сотов, представляет собой смесь измельченных перговых гранул и восковых чешуек, средний гранулометрический состав которых равен 3 мм.

При очистке воскового сырья в воде режим перемешивания должен увлекать всю измельченную массу сотов в воду и при этом не вызывать комкования сырья. Исследование второго фактора – концентрация воскового сырья – позволяет определить рациональные условия загрузки установки сырьем.

Таким образом, для обоснования максимально возможной степени загрузки рабочей камеры сырьем, при которой не происходит снижение эффективности перемешивания и очистки, был проведен однофакторный эксперимент, устанавливающий влияние концентрации измельченного воскового сырья в воде на критерии оптимизации: расходуемую на перемешивание полезную мощность и процент удаленных загрязнений. Фактором «концентрация воскового сырья» варьировали на 5 уровнях: 50, 100, 150, 200 и 250 г/л. Верхний уровень диапазона соответствовал максимальной загрузке, при которой сырье еще полностью

погружено в воду. Значения концентрации выше верхнего уровня 250 г/л соответствуют вязкому состоянию водяной смеси воскового вороха, приводящему к резкому нарастанию потребляемой мешалкой мощности и низкой эффективности очистки, при котором перемешивание и растворение существенно замедляется [36, 37, 106, 107, 151].

Для проведения эксперимента отбирали соты, загрязненные пергой на 20-25%, охлаждали их при 0...-5 °C и измельчали в штифтовом измельчителе описанной выше лабораторной установки. Полученную таким образом воскоперговую массу ворошили до образования максимально однородного по содержанию загрязнений материала, определяли его относительную влажность (п. 2.2.1), затем формировали навески, масса которых соответствовала принятым значениям концентрации на пяти уровнях.

Повторность опытов равнялась пяти, таким образом, было сформировано 25 навесок. При проведении каждого опыта навеску загружали в лабораторную установку, описанной в п. 4.2, и подвергали перемешиванию в воде с значениями интенсивности и продолжительности, установленных в результате предыдущего эксперимента: 15000 Вт/м³ и 10 минут соответственно. Температура воды составляла 20-22°C (рациональное значение температуры, установленное по данным предварительно проведенных исследований) [25, 28, 31, 40, 106, 107]. Величине интенсивности 15000 Вт/м³ для данного объема сосуда (1,7 л) соответствует значение числа оборотов мешалки 1820 Об/мин (выражение (4.3), рис. 4.6).

После завершения процесса перемешивания воду из емкостисливали через заранее подготовленные и взвешенные на весах марки ВЛКТ-500М сетчатые бюксы, изготовленные из нержавеющей металлической сетки с величиной ячейки 0,5×0,5 мм (рис. 4.7). Осажденное на сетке восковое сырье ополаскивали холодной водой. Затем бюксы с восковым сырьем подсушивали на воздухе, чтобы вода испарилась из ячеек, а восковое сырье на сетке приобрело рыхлую консистенцию. После этого бюксы с воскосырем взвешивали на весах и вычисляли массу очищенного влажного сырья.



Рисунок 4.7 – Сетчатые бюксы с промытым и отфильтрованным восковым ворохом

Для определения убыли массы в результате очистки, первоначальную массу навески и массу очищенного воскосырья необходимо пересчитать на сухое вещество. Для этого определяли влажность очищенного воскового сырья по ГОСТ 31775-2012. Окончательно, критерий оптимизации – процент удаленных загрязнений (убыль массы в результате очистки) – определяли по формуле:

$$\Delta m_{\%} = \left(1 - \frac{m_k \cdot (1 - W_k / 100)}{m_h \cdot (1 - W_h / 100)} \right) \cdot 100, \quad (4.4)$$

где $\Delta m_{\%}$ – процент удаленных загрязнений (относительная убыль массы), %;

m_h – первоначальная масса навески, г.;

m_k – масса воскосырья после очистки, г.;

W_h – первоначальная влажность навески воскосырья, %;

W_k – влажность воскосырья после очистки, %;

$\left(1 - \frac{W}{100} \right)$ – пересчет на сухое вещество (ГОСТ 31775-2012).

Измерение мощности, расходуемой на перемешивание (полезной мощности мешалки), производили в соответствии с методикой, описанной в п. 3.4 и 4.2.

Каждый опыт проводили с пятикратной повторностью.

4.4. Результаты лабораторных исследований

4.4.1. Результаты исследования штифтового измельчающего аппарата

План эксперимента и опытные данные по исследованию влияния параметров штифтового измельчителя на содержание восковых частиц размером 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья представлены в приложении Е. Статистическая обработка результатов эксперимента осуществлялась в программной среде Mathcad 15.0. В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, устанавливающее влияние диаметра штифтов d , мм, расстояния между плоскостями их вращения l , мм и линейной скорости u , м/с концов штифтов на содержание восковых частиц размером 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья P , %:

$$P(d, l, u) = 602.03 - 50.33 \cdot d + 1.54 \cdot l - 45.46 \cdot u + 1.88 \cdot d^2 - 0.018 \cdot l^2 + 1.98 \cdot u^2 \quad (4.5)$$

После проверки на значимость по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ коэффициенты при взаимодействиях $x_1 \cdot x_2$, $x_1 \cdot x_3$, $x_2 \cdot x_3$ оказались статистически не значимыми. Оптимизация регрессионной модели (4.5) встроенными операторами Mathcad 15.0 позволила получить следующие результаты: $P_{\min}(d, l, u) = P(13.417, 25, 11.442) = 31.57\%$. При данном сочетании факторов критерий оптимизации – содержание восковых частиц размером 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья, – достигает минимального значения, не превышающего 32 %.

На рисунках 4.8-4.10 представлены графические зависимости, построенные при фиксировании одного из трех факторов на рациональном уровне.

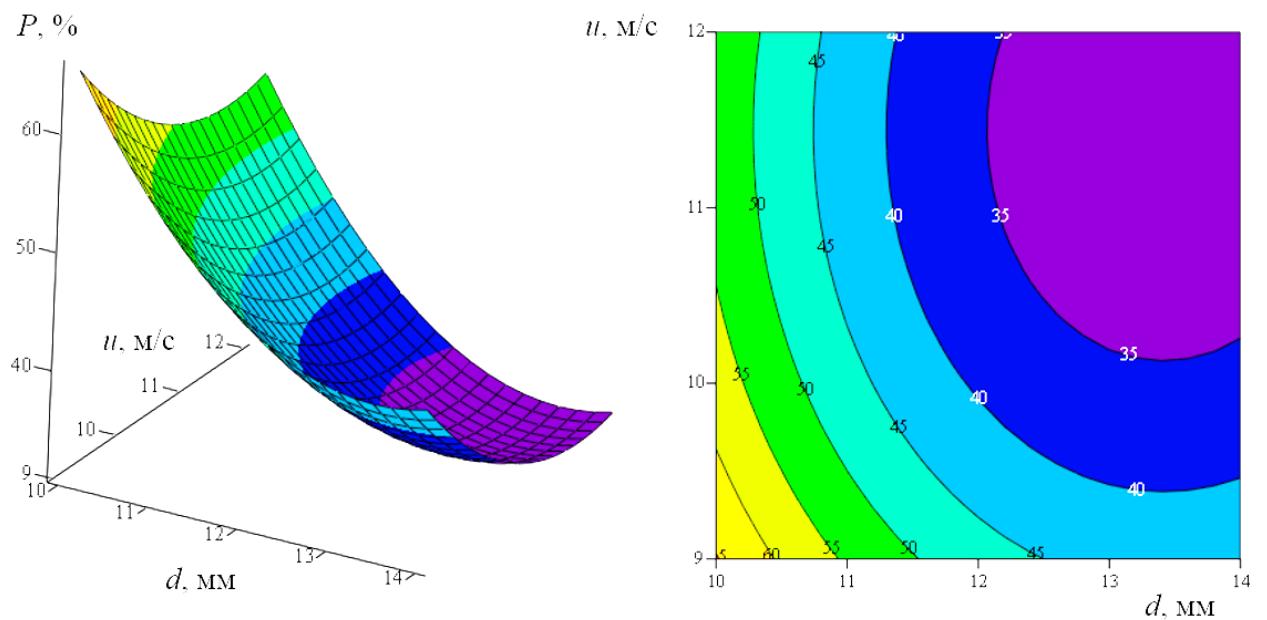


Рисунок 4.8 – Зависимость процента восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья P , % от диаметра штифтов d , мм и линейной скорости их концов u , м/с при значении расстояния между плоскостями их вращения l , мм, фиксированном на рациональном уровне

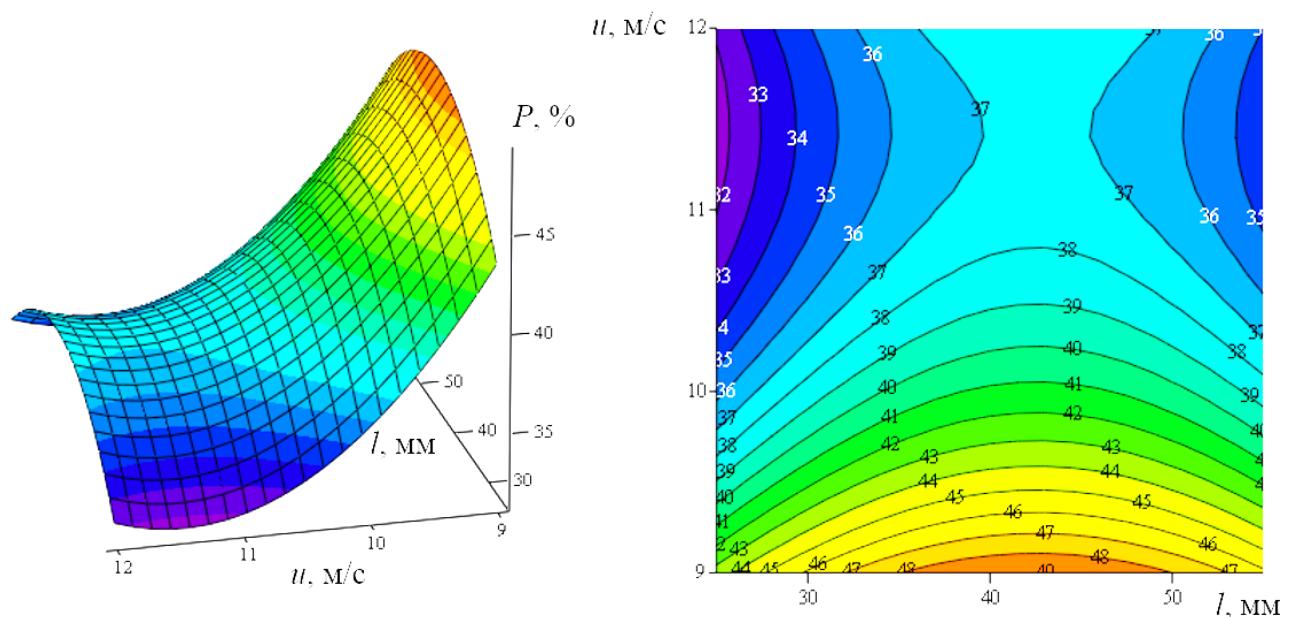


Рисунок 4.9 – Зависимость процента восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья P , % от расстояния между плоскостями вращения штифтов l , мм и линейной скорости их концов u , м/с при значении диаметра штифтов d , мм, фиксированном на рациональном уровне

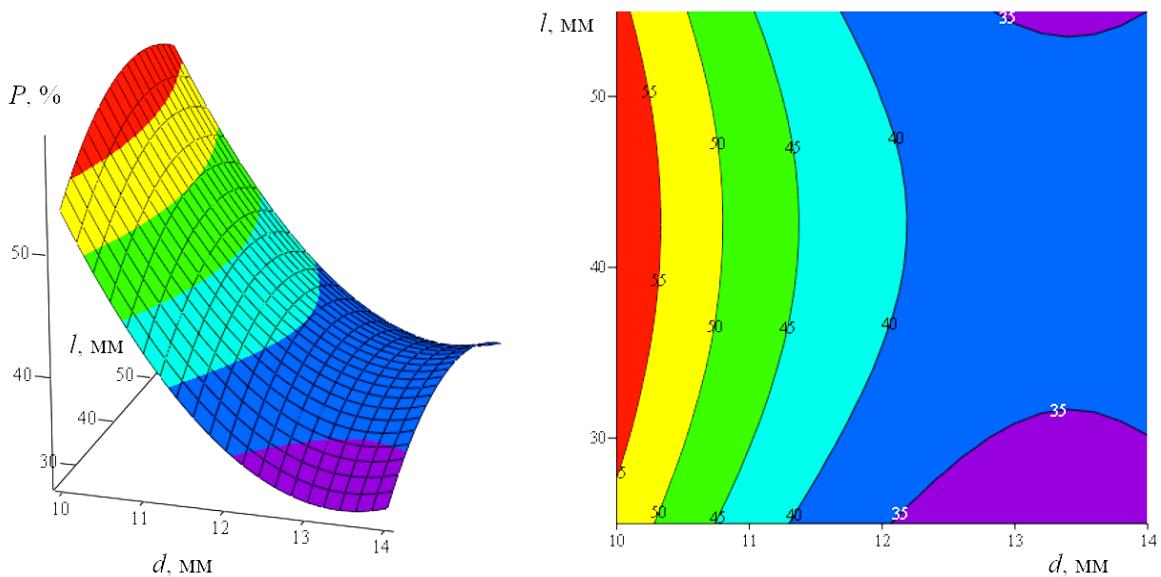


Рисунок 4.10 – Зависимость процента восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья P , % от диаметра штифтов d , мм и расстояния между плоскостями их вращения l , мм при значении линейной скорости концов штифтов u , м/с, фиксированном на рациональном уровне

Результаты статистического анализа установленной модели позволяют сделать следующие выводы:

1. Все факторы, участвующие в эксперименте, и их квадратичные взаимодействия значимо влияют на исследуемый процесс. Статистически не значимыми оказались коэффициенты при эффектах x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 . Исследуемый процесс адекватно описывается неполной квадратичной моделью (4.5).
2. Критерий оптимизации – содержание восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья, – достигает минимального значения, не превышающего 32 %, при значениях факторов: диаметра штифтов 13,4 мм (округляется до 14 мм), расстояния между плоскостями вращения штифтов 25 мм, линейной скорости концов штифтов 11,4 м/с.

4.4.2. Результаты исследования растворимости перги в воде при перемешивании

Ниже представлены результаты обработки данных многофакторного эксперимента по определению влияния интенсивности перемешивания I ($\text{Вт}/\text{м}^3$),

времени перемешивания t (с) и начального гранулометрического состава перги d (мм) на критерий оптимизации, в качестве которого принят процент нерастворенного осадка P (%) от его первоначальной массы материала в пересчете на сухое вещество (Приложение Ж). В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии:

$$P(I, t, d) = 3.05 \cdot \exp(0.58 \cdot d - 2 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot t + 7.59 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot d - 4.49 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot d) \quad (4.6)$$

Все исследуемые факторы оказались значимыми на уровне $\alpha = 0,1$. Статистически незначимыми оказались линейные коэффициенты при факторах I , t , а также квадратичные эффекты I^2 , t^2 , d^2 . Таким образом, получена экспоненциальная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Оптимизация регрессионной модели (4.6) в программе Mathcad позволила получить следующие результаты:

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

На рис. 4.11-4.13 представлены графические зависимости, построенные при фиксировании одного из трех факторов.

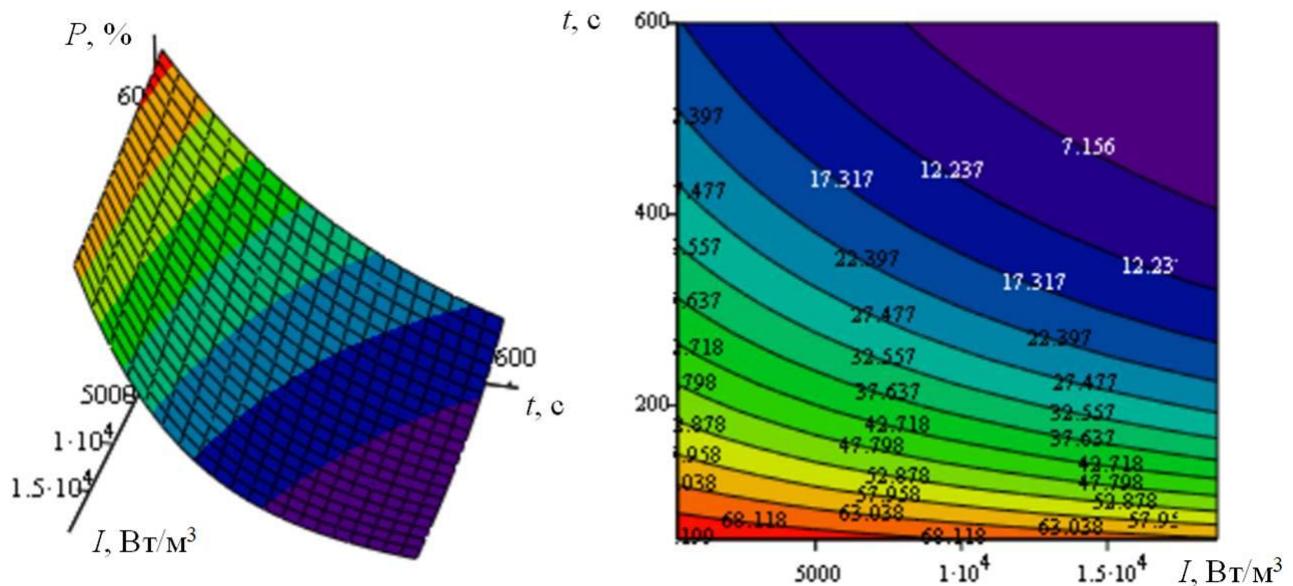


Рисунок 4.11 – Зависимость процента не растворившегося осадка P , % от интенсивности I , Bt/m^3 и времени t , с перемешивания при значении начального гранулометрического состава растворяемой перги $d = 5,75$ мм (целые гранулы)

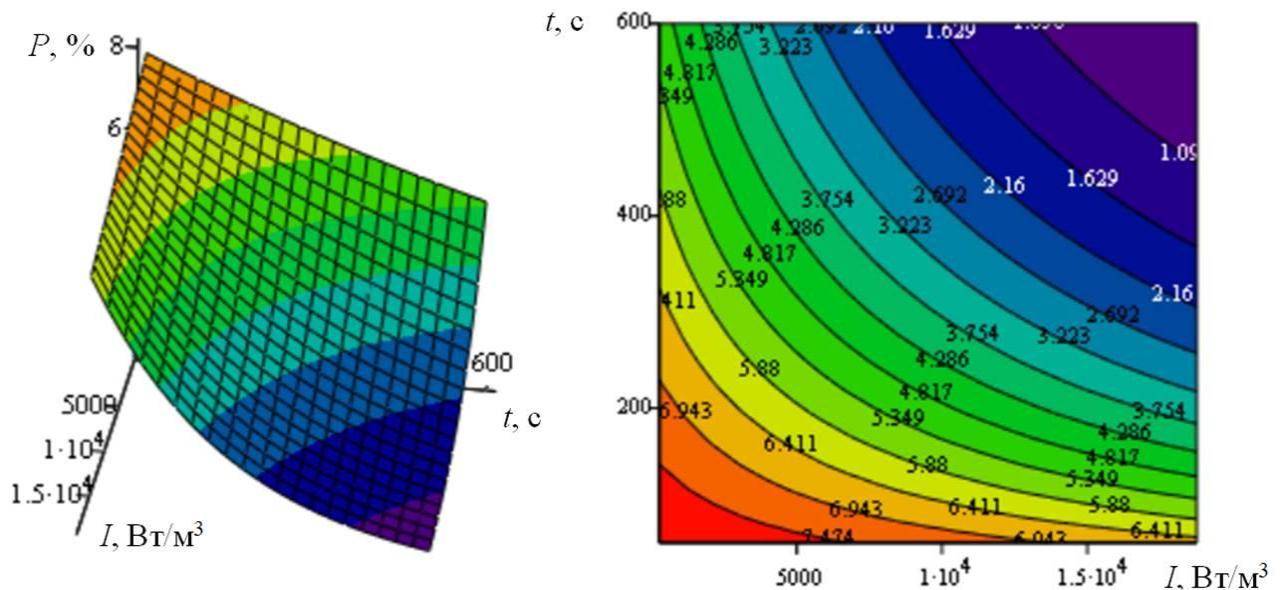


Рисунок 4.12 – Зависимость процента не растворившегося осадка P , % от интенсивности I , Bt/m^3 и времени t , с перемешивания при значении начального гранулометрического состава растворяющейся перги $d = 1,75$ мм (измельченная фракция)

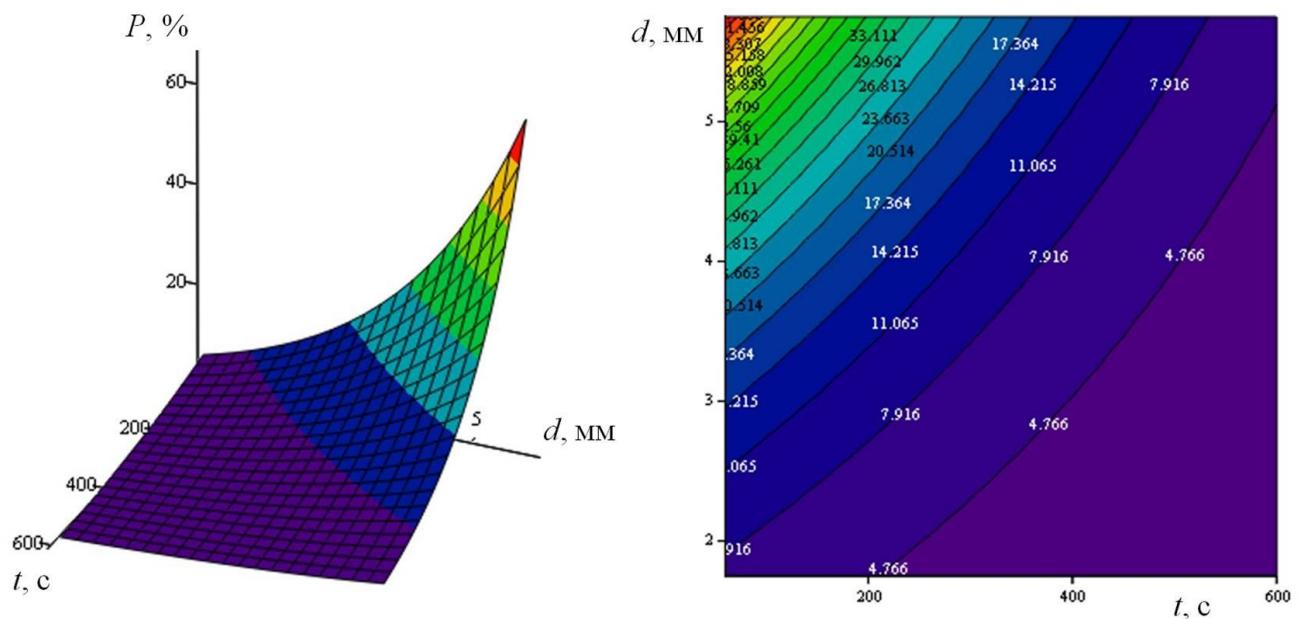


Рисунок 4.13 – Зависимость процента не растворившегося осадка P , % от времени перемешивания t , с и начального гранулометрического состава растворяющейся перги d , мм при значении интенсивности перемешивания $I = 10000$ Bt/m^3

Из анализа графических зависимостей можно сделать вывод, что стабилизация критерия оптимизации наступает при значениях интенсивности перемешивания выше $1,5 \cdot 10^4$ Вт/м³ при фиксированных на рациональных уровнях значениях других факторов. Таким образом, данный уровень интенсивности можно принять за наиболее рациональный для очистки воскового сырья. При сочетании факторов $I = 15$ кВт/м³, $t = 600$ с, $d = 1.75$ мм содержание не растворившихся загрязнений в осадке не превысит 2%, что является достаточной степенью очистки.

На основании результатов статистического анализа можно заключить, что:

- 1) исследуемый процесс адекватно описывается экспоненциальной моделью с полиномиальной степенью ($\alpha = 0,05$);
- 2) все факторы, участвующие в эксперименте, оказались значимыми на уровне $\alpha = 0,1$. Статистически незначимыми оказались линейные коэффициенты при факторах I , t , а также квадратичные эффекты I^2 , t^2 , d^2 ;
- 3) при установленном оптимальном сочетании исследуемых факторов критерий оптимизации – процент осадка, состоящего из частиц, не растворившихся при перемешивании, – достигает минимального значения 0,58%. Как и ожидалось, оптимум находится на границе факторного пространства, что соответствует физической сущности исследуемого процесса;
- 4) критерий оптимизации стремится к минимальному значению при увеличении времени перемешивания до 7-7,5 минут, по истечении которых (при оптимальных значениях остальных факторов) перга полностью распадается до отдельных пыльцевых зерен, а в осадке остаются нерастворимые в воде компоненты – восковые чешуйки, обрывки коконов и органических оболочек;
- 5) Уменьшение начального среднего размера растворяемых частиц также способствует интенсификации процесса растворения (рис. 4.13). Критерий оптимизации закономерно уменьшается при изменении размера фракции от целых перговых гранул до фракции 1,75 мм.

4.4.3. Результаты исследования очистки воскового сырья в воде при перемешивании

План и экспериментальные данные исследования влияния концентрации измельченного воскового сырья в рабочей камере перемешивающего устройства на полезную мощность мешалки и процент удаленных из воскового сырья загрязнений представлены в приложении 3.

Статистическая обработка результатов эксперимента осуществлялась в программной среде Mathcad 15.0.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, устанавливающие влияние концентрации (x) измельченного воскового сырья в рабочей камере перемешивающего устройства на полезную мощность мешалки $N(x)$ и процент удаленных из воскового сырья загрязнений $P(x)$:

$$N(x) = 12.2 - 0.00026 \cdot x + 0.000083 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.929 \quad (4.7)$$

$$P(x) = 23.16 + 0.078 \cdot x - 0.000537 \cdot x^2, \quad R^2 = 0.986 \quad (4.8)$$

Полученные зависимости (4.7) и (4.8) представлены графически на рис. 4.14-4.15.

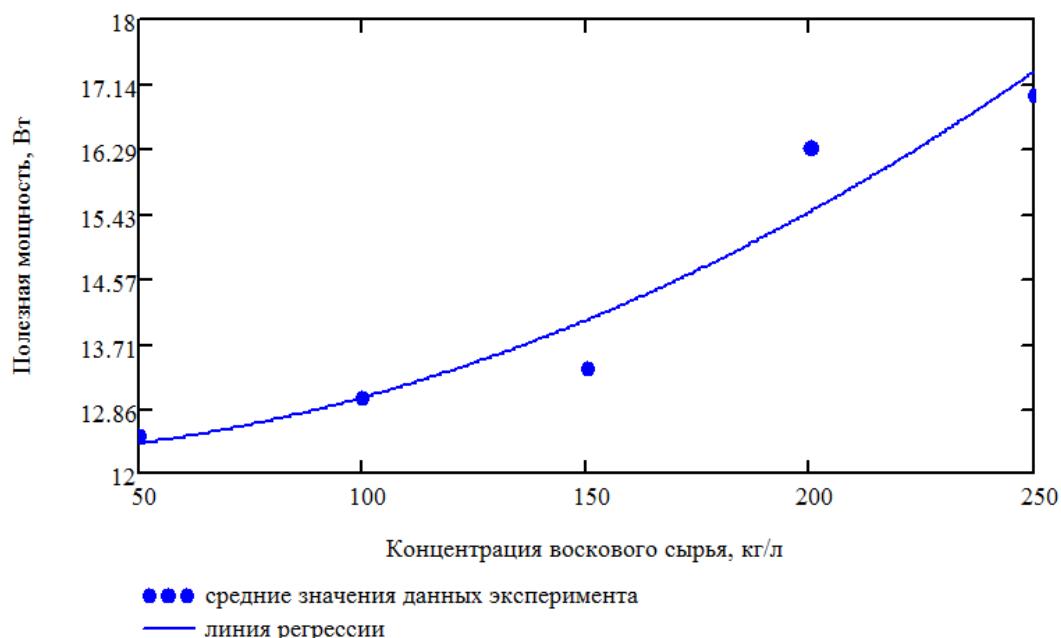


Рисунок 4.14 – Зависимость мощности, расходуемой на перемешивание, от концентрации воскового сырья в воде

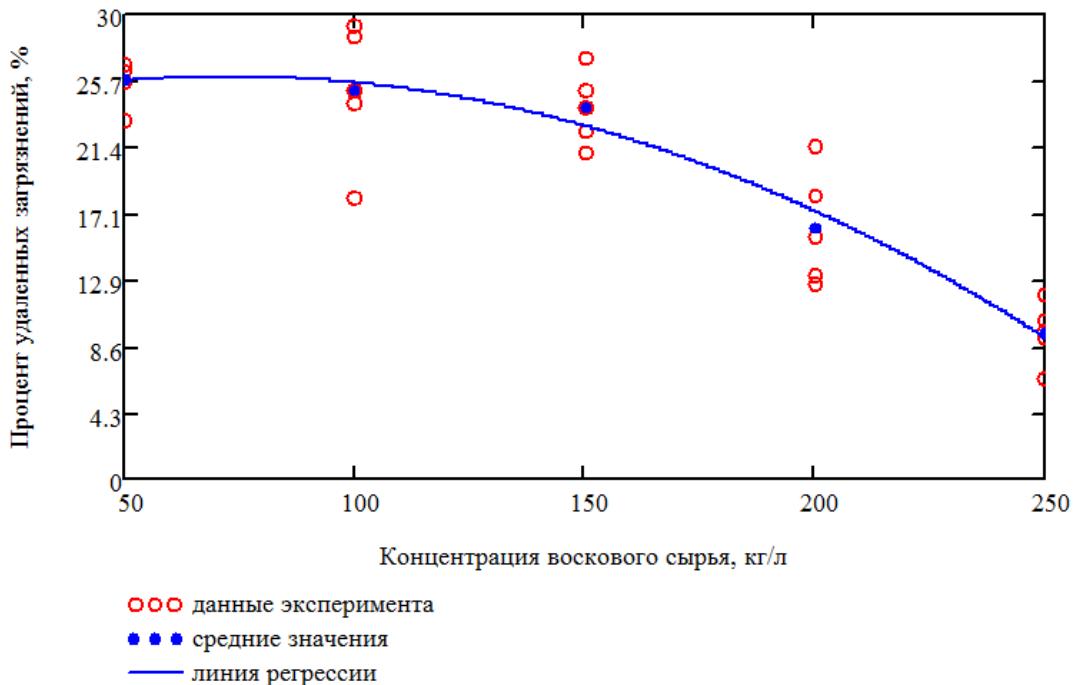


Рисунок 4.15 – Зависимость процента растворившихся загрязнений от концентрации воскового сырья в воде

В результате проведенного исследования можно заключить, что при увеличении концентрации измельченного воскового сырья в воде увеличивается расходуемая на процесс перемешивания мощность, а также снижается процент удаляемых из сырья водорастворимых загрязнений. Так, при загрузке от 50 г. до 250 г. воскового сырья на 1 лitr воды, мощность, расходуемая на перемешивание, увеличивается от 12,5 до 18 Вт (объем рабочей камеры 1,7 л), а процент удаленных загрязнений снижается от 25 до 9 %.

Таким образом, эффективность перемешивания и очистки снижается по мере увеличения степени загрузки сырьем рабочей камеры фиксированного объема. Как следует из рис. 4.14-4.15, предел концентрации измельченного воскового сырья в воде без существенного снижения эффективности очистки находится в диапазоне 120-140 г/л.

4.5. Выводы по четвертой главе

- Установлено, что наиболее полному измельчению воскового сырья, при котором содержание восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей

измельченной массе достигает минимального значения, не превышающего 32 %, способствуют значения диаметра штифтов 14 мм, расстояния между плоскостями вращения штифтов 25 мм, линейной скорости концов штифтов 11,4 м/с.

2. Перга, как основной загрязнитель воскового сырья, подвержена растворению в воде до отдельных пыльцевых зерен при интенсивном механическом перемешивании. При этом на процесс растворения оказывают значимое влияние такие факторы как интенсивность перемешивания, время перемешивания и исходный гранулометрический состав материала. Наибольшей эффективности растворения перги в воде, оцениваемой процентом не растворившегося осадка, способствует сочетание факторов: интенсивность перемешивания 18770 Вт/м³, время перемешивания 600 сек, средний гранулометрический состав 1,75 мм. Критерий оптимизации при этом не превышает 0,5% от первоначальной массы в пересчете на сухое вещество. Для достижения уровня очистки воскового сырья с содержанием остаточных загрязнений не более 2% необходимо обеспечить интенсивность перемешивания 15000 Вт/м³ при значениях времени перемешивания и исходного гранулометрического состава 600 с и 1,75 мм соответственно.

3. Установлено, что с увеличением концентрации измельченного воскового сырья в воде увеличивается расходуемая на перемешивание мощность, а также снижается процент удаляемых из сырья водорастворимых загрязнений. При увеличении концентрации от 50 до 250 г/л процент удаленных загрязнений снижается с 25 до 9 %, а мощность, расходуемая на перемешивание, увеличивается от 12,5 до 18 Вт (для емкости объемом 1,7 л). Предел концентрации измельченного воскового сырья в воде без существенного снижения эффективности очистки составляет 120-140 г/л.

5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

5.1. Программа производственных исследований

Задачей исследования является определение работоспособности и эффективности внедрения в производство устройства очистки воскового сырья [30, 32, 119, 146]. Программа исследования направлена на выявление основных технических характеристик предлагаемого оборудования в производственных условиях и сравнение устанавливаемых показателей с показателями технологий получения и переработки воскового сырья, используемых в настоящее время [52, 76, 99, 103, 111, 112, 132, 133, 134, 135].

Для оценки эффективности внедрения устройства очистки воскового сырья наиболее подходит метод сравнения годовых затрат на данную технологическую операцию, осуществляющую с использованием предлагаемого оборудования с годовыми затратами при использовании комплекта стандартного оборудования в качестве объекта сравнения: промышленного измельчителя и перемешивающего устройства (промышленного миксера), имеющих сопоставимые характеристики. Методика экономического обоснования, представленного в данной главе, соответствует ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки».

Охарактеризовать технологические параметры предложенного оборудования для очистки воскового сырья от загрязнений можно следующими показателями:

- энергоемкость процесса измельчения и очистки воскового сырья;
- производительность процесса измельчения и очистки воскового сырья;
- трудоемкость технологических процессов очистки.

В таблице 5.1 представлена технологическая карта производственных испытаний опытно-производственного образца предлагаемого устройства для очистки воскового сырья, описание которого дано в п. 5.2.

Таблица 5.1 – Технологическая карта производственных исследований

Используемое оборудование	Технологические операции			
	Вырезка сотов из рамок	Охлаждение кусков сотов до -3...0 °C	Измельчение + очистка	Фильтрование
Установка для очистки воскового сырья (пат. № 2672403)	–	–	+	+
Морозильная установка	–	+	–	–

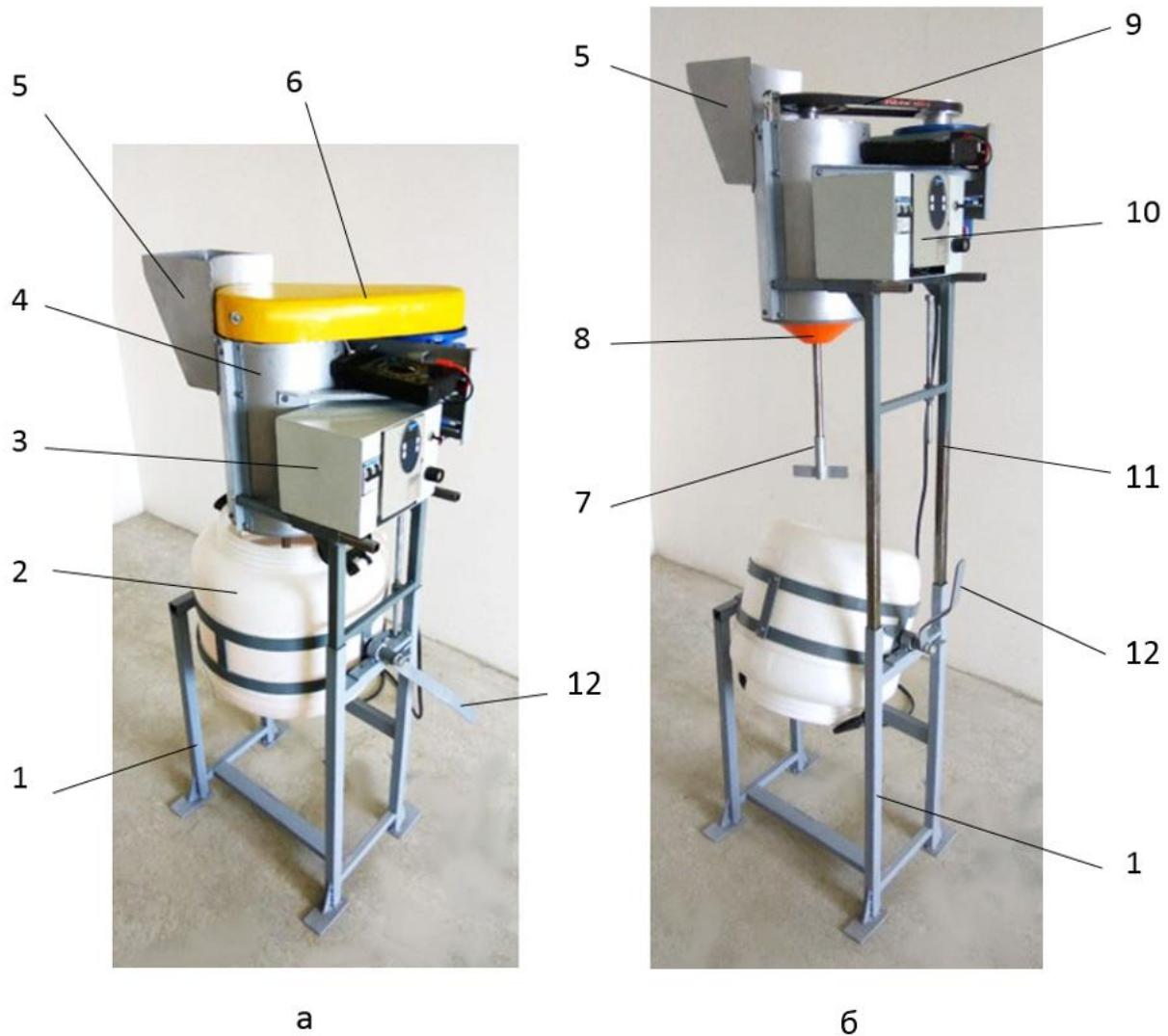
5.2. Опытно-производственный образец устройства очистки воскового сырья от загрязнений

Для проведения производственных исследований был изготовлен опытно-производственный образец устройства очистки воскового сырья. Общий вид устройства представлен на рис. 5.1.

Устройство очистки воскового сырья (рис. 5.1) состоит из неподвижной рамы 1 с расположенной на ней емкостью 2 для перемешивания измельченного воскового сырья, имеющей возможность поворота в подшипниковых опорах относительно горизонтальной оси при помощи рукоятки 12. Над емкостью 2 на основании подвижной рамы 11, обладающей возможностью вертикального перемещения с фиксацией положения, расположены блок управления 3, содержащий преобразователь частоты 10, цилиндрическая камера измельчающего устройства 4, снабженная загрузочной горловиной 5, кожух защиты 6 ременной передачи 9 электродвигателя. Измельчающее и перемешивающее устройства имеют общий вал 7, в нижней части которого установлена мешалка. Внутри цилиндрической камеры измельчителя 4 рабочий вал 7 снабжен штифтами (рис. 5.2). В нижней части камеры измельчителя имеется решето (рис. 5.2), которое со стороны емкости для перемешивания 2 закрывается коническим влагозащитным колпаком 8, имеющим в центре отверстие для выхода измельченной массы из камеры измельчителя 3 в емкость для перемешивания 2. Регулировка частоты вращения рабочего вала осуществляется при помощи частотного преобразователя 10, а контроль оборотов – при помощи тахометрического генератора, состоящего из диска с регулярно расположенными по окружности постоянными магнитами и датчика Холла. Импульсы от датчика Холла регистрируются мультиметром с функцией измерения частоты.

Габаритные параметры устройства определялись исходя из результатов исследований, полученных в 3 и 4 главе. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований (п. 3.4 и п. 4.4.2) требуемая интенсивность перемешивания составляет $15\ 000\ \text{Вт}/\text{м}^3$. При наличии цилиндрической камеры измельчителя диаметром 0,19 м и известной рациональной линейной скорости

концов штифтов 11,4 м/с (результаты исследований в п. 4.4.1) по формуле (3.17) определяем требуемое соотношение $D_H/D_{II} = 0,49$. Тогда диаметр рабочей камеры перемешивающего устройства составит $D_H/0,49 = 0,38$ м.



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

Рисунок 5.1 – Общий вид устройства очистки воскового сырья:
а – рабочее положение; б – положение выгрузки очищенного сырья



Рисунок 5.2 – Вид рабочей камеры измельчителя изнутри (рабочий вал с установленными штифтами)

В конструкции использована серийно выпускаемая пластиковая емкость объемом 35 л, диаметром $D_{\Pi} = 0,36$ м, которая была дополнена четырьмя отражательными перегородками шириной $0,1 \cdot D_{\Pi}$. На валу установлена одна двухлопастная мешалка с прямыми лопастями диаметром $0,33 \cdot D_{\Pi}$, ширина лопастей $0,07 \cdot D_{\Pi}$. Привод рабочего вала осуществляется от асинхронного электродвигателя мощностью 0,55 кВт. Рабочая частота вращения составляет 1200 Об/мин и контролируется при помощи электронного тахометра.

Работа устройства осуществляется в соответствии с описанием, приведенным в п. 3.1. главы 3.

5.3. Методика сравнительных исследований

С целью получения достоверных результатов, материал подготавливали к переработке в соответствии с традиционной технологией, используемой в настоящее время пчеловодами при выбраковке сотов и подготовки их для вытопки воска [58, 108, 132, 133, 134, 135, 136]. Пчелиные соты, отобранные из гнезд в конце августа – начале сентября, располагали в пустых корпусах, которые ставили вблизи от ульев с пчелиными семьями для осушения пчелами от остатков меда. Осушение продолжалось в течении 3-5 дней. Полученная сушь являлась исходным сырьем II-III сорта с содержанием перги от 5 до 80%. Методом отбора средней пробы (ГОСТ 31775-2012) формировали образцы, которые герметично

упаковывали и направляли в лабораторию ФГБНУ НИИ пчеловодства (г. Рыбное) для определения восковитости исходного сырья (ГОСТ 31775-2012).

Сравнительное исследование направлено на выявление различий в результатах очистки воскового сырья путем его предварительного измельчения и последующего промывания в воде при механическом перемешивании, осуществляющейся с применением комплекта промышленного оборудования, а также с применением предлагаемой устройства очистки воскового сырья (пат. РФ №2672403).

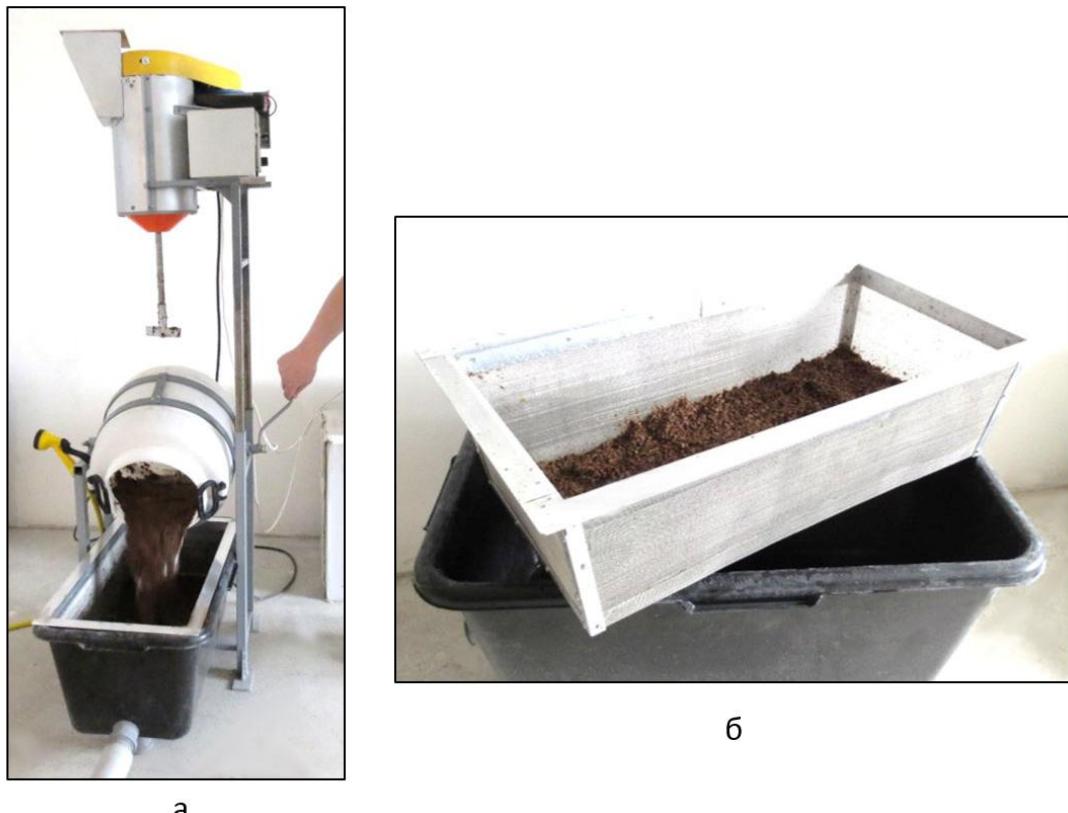
Для проведения производственного исследования готовили материал, охлаждали при температуре 0...-5 °C в течении двух часов. Перед началом очистки емкость для перемешивания заполняли водой объемом 25 литров. Массу воскосырья, перерабатываемого за 1 цикл, определяли исходя из концентрации 120-140 г/л (результаты исследований в п. 4.4.3), для данного объема воды она составляла 3-3,5 кг. По завершении процесса измельчения весь восковый ворох оказывается в воде в нижней рабочей камере. Длительность процесса перемешивания составляла 10 минут (с учетом совмещения двух процессов), по истечении которых установку отключали, а емкость с водяной смесью воскосырья опорожняли на фильтровальное сито (рис. 5.3-а). Отфильтрованное после очистки измельченное восковое сырье (рис. 5.3-б) подсушивали на атмосферном воздухе на протяжении 12-24 часов, затем из очищенного сырья формировали пробы и направляли их в лабораторию ФНЦ пчеловодства.

В течение цикла очистки осуществляли следующие измерения:

- контролировали потребляемую электроприводом мощность при помощи измерителя мощности СА 8220;
- вели хронометраж времени, затрачиваемого на выполнения каждой технологической операции: подготовка оборудования; измельчение; перемешивание в воде; фильтрование и выгрузка очищенного воскового сырья.

Предлагаемое устройство очистки воскового сырья совмещает две основные технологические операции – измельчение воскового сырья и перемешивание его в воде, традиционно выполняемые с применением двух различных видов техники –

измельчителя и перемешивающего устройства, снабженных индивидуальными электроприводами. В соответствии с п. 3.5.2. ГОСТ 34393-2018, экономические показатели нового вида техники сравнивают с показателями тех видов техники, которые она заменяет на данном виде работ.



б

Рисунок 5.3 – Процесс очистки воскового сырья с применением предлагаемого устройства в производственных условиях:

а – выгрузка водяной смеси воскового сырья на фильтровальное сито;

б – очищенное восковое сырье на фильтровальном сите

В качестве объектов сравнения выбраны два вида оборудования, предполагаемых к совместному использованию (рис. 5.4): вертикальный измельчитель пищевых продуктов Glasser-2 и дозировочная емкость ЭкоПром-60, снабженная электроприводом с мешалкой.

Вертикальный измельчитель закрытого типа Glasser-2 (рис. 5.4, а) предназначен для измельчения сырья любой консистенции, пищевых продуктов, а также отходов промышленного производства. Объем рабочей камеры 15 л,

производительность до 50 кг/ч, потребляемая мощность 2,2 кВт. Стоимость измельчителя Glasser-2 на момент сравнения (2020 год) составляла 45000 рублей.

Емкость дозировочная ЭкоПром-60, снабженная электроприводом с мешалкой (рис. 5.4, б), применяется в химической и пищевой промышленности, при обработке питьевой воды для стерилизации, фильтрации и т.п. Объем бака 60 л, потребляемая электроприводом мощность 0,18 кВт. Стоимость ЭкоПром-60 на момент сравнения (2020 год) составляла 33450 рублей.

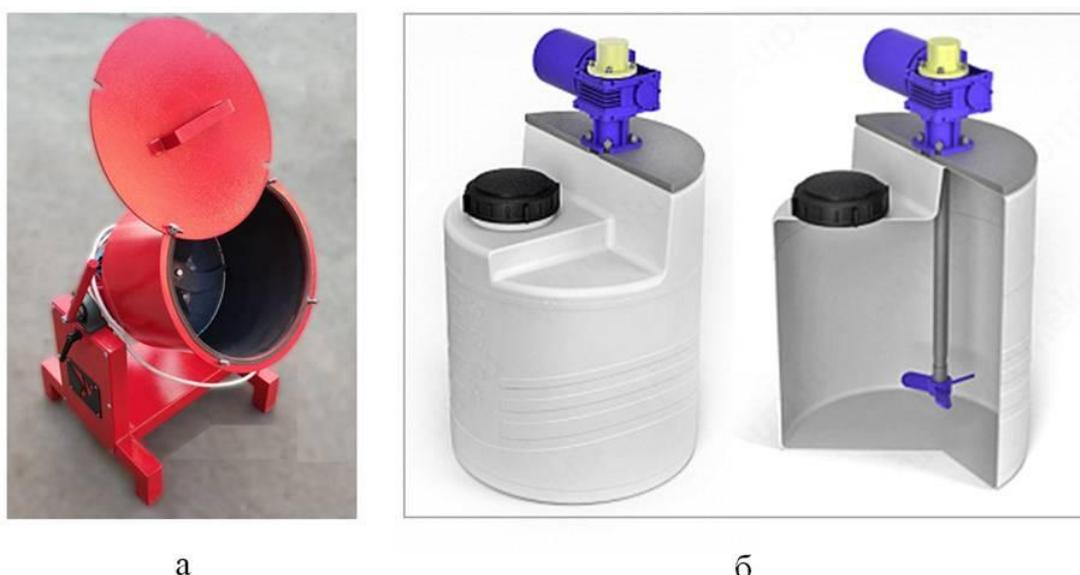


Рисунок 5.4 – Комплект сравниваемого оборудования:

а – вертикальный измельчитель Glasser-2; б – емкость дозировочная ЭкоПром-60

5.4. Результаты сравнительных исследований

Опытно-производственный образец предлагаемой устройства очистки воскового сырья (пат. РФ № 2672403) испытывали в производственных условиях на базе КФХ «Бортники» Рыбновского района Рязанской области (приложение К).

С применением данного устройства было переработано 205 соторамок (102,5 кг сырья) получено 76,7 кг воскового вороха, очищенного от перги и других водорастворимых загрязнений (рис. 5.3, б). Остаточная загрязненность воскового сырья пергой не превышает 0,89 %. Среднее увеличение восковитости по данным анализа, проведенного в ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», составляет 16% (приложение К). Из полученного очищенного воскового сырья было

вытоплено 28,43 кг воска (37% от массы сырья). В соответствии с данными табл. 2.3 (результаты проведенных нами исследований, представленные в п. 2.3.1) выход воска из исходного количества воскового вороха с восковитостью 48% должен составить 23,06 кг (22,5% от массы сырья).

Результаты сравнительных испытаний позволили определить основные показатели применяемого оборудования, которые представлены в табл. 5.2-5.3.

5.5. Определение суммы капитальных вложений для внедрения предлагаемого устройства очистки воскового сырья в производство

Стоимость изготовления предлагаемого агрегата для очистки воскового сырья определялась методом поэлементного расчета (затратный подход в оценке стоимости). Для этого составляется перечень комплектующих узлов и агрегатов, материалов, стандартных и заказных изделий, определяются удельные затраты на оплату труда и стоимость израсходованной на изготовление оборудования электроэнергии.

Таким образом, полная себестоимость изготовления единицы оборудования C_{Π} складывается из следующих элементов:

$$C_{\Pi} = C_M + C_{CI} + C_{3II} + C_{OT} + C_{\vartheta} \quad (5.1)$$

где: C_M – стоимость материалов;

C_{CI} – стоимость стандартных изделий;

C_{3II} – стоимость заказных изделий;

C_{OT} – расходы на оплату труда;

C_{ϑ} – стоимость израсходованной электроэнергии.

Для определения рыночной стоимости устройства очистки воскового сырья себестоимость ее изготовления увеличивается на норму доходности, за которую принята банковская кредитная ставка (22%):

$$C_y = C_{\Pi} \cdot (1 + 0,22) \quad (5.2)$$

Таблица 5.2 – Результаты хронометража технологических операций очистки воскового сырья с применением предлагаемого устройства очистки воскового сырья в сравнении с комплектом стандартного оборудования: вертикальным измельчителем Glasser-2 и дозировочной емкостью ЭкоПром-60

Операции	Затрачено времени, мин/цикл			Работа оборудования в технологическом цикле		
	Предлагаемое устройство*	Комплект		Предлагаемое устройство	Комплект	
		Glasser-2**	ЭкоПром-60**		Glasser-2	ЭкоПром-60
Подготовка оборудования	3,00	3,00	3,00			
Измельчение (измельчение + гидроочистка*)	4,50	4,50	–	+	+	
Перегрузка измельч. материала в емкость для гидроочистки	–	–	3,00			
Гидроочистка	5,50	–	7,20	+		+
Выгрузка очищенного воскового сырья	0,30	–	3,00			
Суммарное время, мин/цикл	13,30	7,50	16,20	10,00	4,50	7,20

* Данные хронометража

** Оценочные данные

Источник данных по Glasser-2: <https://giptek.ru/product/vertikalnyj-izmelchitel-glasser-2>

Источник данных по ЭкоПром-60: <https://tula.tavago.ru/plastikovye-emkosti/baki-dlya-vody/ekoprom.html/filter/obyem-to-60/apply>

Таблица 5.3 – Результаты сравнительных исследований

№ стр.	Показатели	Ед. изм.	Объекты сравнения			Примечание	
			Предлагаемое устройство	Сравниваемое оборудование			
				Измельчитель Glasser-2	Емкость ЭкоПром-60		
1	Установленная мощность	кВт	0,55	2,20	0,16	-	
2	Продолжительность технологического цикла	ч	0,22	0,13	0,27	табл. 5.2	
3	Время работы оборудования в одном цикле	ч	0,17	0,08	0,12	табл. 5.2	
4	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	кг	3,00	3,00		-	
5	Производительность технологического цикла	кг/ч	13,53	24,00	11,11	(4)/(2)	
6	Производительность оборудования	кг/ч	18,00	40,00	25,00	(4)/(3)	
7	Энергоемкость	кВт·ч/кг	0,03	0,06	0,01	(1)/(6)	
8	Переработано рамок	шт.	205	-		-	
9	Переработано сырья всего	кг	102,5	-		-	
10	Масса сырья после очистки и просушивания	кг	76,7	-		-	
11	Убыль сырья в результате очистки	кг	25,8	-		(9)-(10)	
12	Убыль сырья в результате очистки	%	25,17	-		(11)*100/(9)	
13	Восковитость исходного сырья (средняя)	%	48	-		-	
14	Восковитость очищенного сырья (средняя)	%	64	-		-	
15	Среднее увеличение восковитости сырья	%	16	-		(14)-(13)	

Для определения величины капиталовложений K , руб., необходимых на внедрение предлагаемого агрегата в производство, рассчитанная рыночная стоимость установки умножается на k – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку, монтаж, снабженческо-торговые работы (принимается $k = 1,2$):

$$K = C_y \cdot k \quad (5.3)$$

Сумма капиталовложений, рассчитанная в ценах по состоянию на 2020 год, составляет 25000 руб.

5.6. Расчет экономических показателей эффективности внедрения предлагаемого устройства очистки воскового сырья

В расчете экономических показателей эффективности внедрения предлагаемого устройства для очистки воскового сырья применены следующие постоянные величины и их обозначения:

r – количество рамок, отбираемых для переработки с одного улья в год, шт. (принимается $r = 5$);

M_C – средняя масса воскосырья в одной рамке, кг (принимается $M_C = 0,5$ кг);

$M_{Ц}$ – масса сырья, перерабатываемого за один технологический цикл, кг (принимается $M_{Ц} = 3$ кг);

$t_{Ц}$ – продолжительность одного технологического цикла, ч (принимается по результатам производственных исследований, приведенных в табл. 5.3, отдельно для предлагаемого устройства и сравниваемого оборудования);

$t_{экс}$ – время работы оборудования в одном технологическом цикле, ч (принимается по результатам производственных исследований, приведенных в табл. 5.3, отдельно для предлагаемого устройства и сравниваемого оборудования);

τ – часовая ставка оператора, руб/ч (принимается $\tau = 120$ руб/ч);

$Ц_{Э.ЭН.}$ – тариф на электроэнергию для сельскохозяйственных предприятий, руб/кВт·ч (принимается $Ц_{Э.ЭН.} = 4,54$ руб/кВт·ч);

t – продолжительность рабочей смены, ч (принимается $t = 8$ ч);

$n_{см}$ – количество рабочих смен в сутках (принимается $n_{см} = 1$);

$n_{\text{агр}}$ – агротехнологический срок выполнения работы, дней в году (принимается $n_{\text{агр}} = 200$ дней);

d – число лет использования оборудования (принимается $d = 7$ лет);

P – потребляемая мощность, кВт (принимается по результатам производственных исследований, приведенных в табл. 5.3, отдельно для предлагаемого устройства и сравниваемого оборудования);

N_{PTO} – годовые нормы на ремонт и техническое обслуживания, % (принимается $N_{PTO} = 8\%$);

k_3 – коэффициент социальных отчислений от заработной платы (принимается $k_3 = 1,3$);

k_p – норма затрат на ремонт и ТО на 100 часов наработки, %, принимается в соответствии с ГОСТ 34393-2018, приложение Б, $k_p = 8\%$.

Количество рамок, отбираемых с пасеки в год для переработки c , шт.:

$$c = r \cdot q, \quad (5.4)$$

где q – количество ульев на пасеке, шт.

Годовой объем производства (объем воскового сырья, перерабатываемого из выбракованных сотов) V , ед. наработка (кг):

$$V = c \cdot M_c, \quad (5.5)$$

В соответствии с ГОСТ 34393-2018 (пункт 5), различают понятие эксплуатационной производительности, то есть производительности за один час эксплуатационного времени, и производительности за один час основного времени (или сменного времени).

В рамках данного экономического обоснования указанные понятия следует интерпретировать как производительность оборудования и производительность технологического цикла соответственно. Первый показатель используется для расчета энергоемкости, удельных затрат на РТО и амортизационных отчислений, второй – для определения трудоемкости и удельных затрат на оплату труда.

Эксплуатационная производительность оборудования $Q_{\text{экс}}$, единиц наработки за 1 ч эксплуатационного времени (кг/ч), определяется по результатам производственных исследований (табл. 5.3) как отношение

$$Q_{\text{экс}} = \frac{M_{\text{Ц}}}{t_{\text{экс}}}, \quad (5.6)$$

где $M_{\text{Ц}}$ – масса сырья, перерабатываемого за один цикл, кг;

$t_{\text{экс}}$ – время работы оборудования в одном цикле, ч.

Производительность технологического цикла $Q_{\text{o.в.}}$, единиц наработки за 1 ч основного времени (кг/ч), определяется по результатам производственных исследований (табл. 5.3) как отношение

$$Q_{\text{o.в.}} = \frac{M_{\text{Ц}}}{t_{\text{Ц}}}, \quad (5.7)$$

где $t_{\text{Ц}}$ – время работы оборудования в одном цикле, ч.

Тогда энергоемкость оборудования E , кВт·ч/кг определяется выражением:

$$E = \frac{P}{Q_{\text{экс}}}, \quad (5.8)$$

где P – потребляемая мощность, кВт;

Трудоемкость выполнения технологических операций T , чел·ч/кг определяется выражением:

$$T = \frac{\lambda}{Q_{\text{o.в.}}}, \quad (5.9)$$

где λ – численность персонала, чел.

Возможный годовой объем переработки сырья на данном оборудовании (п. 6.1.1.1 ГОСТ 34393-2018) W , ед. наработки (кг):

$$W = Q_{\text{экс}} \cdot n_{\text{аэр}} \cdot t, \quad (5.10)$$

где $n_{\text{аэр}}$ – агротехнический срок выполнения работы, дней;

t – возможное время работы оборудования в сутки, ч.

Годовая потребность в оборудовании (п. 6.2 ГОСТ 34393-2018) N^r , шт.:

$$N^{\Gamma} = \frac{V}{W} \quad (5.11)$$

Годовая потребность в обслуживающем персонале (п. 6.3 ГОСТ 34393-2018) λ^{Γ} , чел.:

$$\lambda^{\Gamma} = n_{cm} \cdot N^{\Gamma} \quad (5.12)$$

Капиталовложения (п. 6.5 ГОСТ 34393-2018) K , руб.:

$$K = N^{\Gamma} \cdot B \quad (5.13)$$

Прямые совокупные эксплуатационные затраты денежных средств на единицу наработки (п. 5.3 ГОСТ 34393-2018) Z_{cov} , руб/кг:

$$Z_{cov} = Z_{o.m.} + Z_{\text{э.эн.}} + Z_{p.m.o.} + A \quad (5.14)$$

Слагаемые совокупных затрат определяются следующим образом.

Затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала на единицу наработки (п. 5.3.1 ГОСТ 34393-2018) $Z_{o.m.}$, руб/кг:

$$Z_{o.m.} = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot k_3}{Q_{\text{о.в.}}} = T \cdot \tau \cdot k_3 \quad (5.15)$$

Затраты денежных средств на оплату электроэнергии на единицу наработки (п. 5.3.2 ГОСТ 34393-2018) $Z_{\text{э.эн.}}$, руб/кг:

$$Z_{\text{э.эн.}} = E \cdot I_{\text{э.эн.}} \quad (5.16)$$

Затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание на единицу наработки (п. 5.3.3 ГОСТ 34393-2018) $Z_{p.m.o.}$, руб/кг:

$$Z_{p.m.o.} = \frac{K \cdot k_p}{Q_{\text{экс}}} \cdot 10^{-4} \quad (5.17)$$

Амортизационные отчисления на единицу наработки (п. 5.3.4 ГОСТ 34393-2018) A , руб/кг:

$$A = \frac{K}{Q_{\text{экс}} \cdot R}, \quad (5.18)$$

где R – амортизационный ресурс, ч.

Амортизационный ресурс R (ч) определяется произведением величин агротехнологического срока выполнения работ $n_{\text{агр}}$ (дней в году), продолжительности рабочей смены t (ч), числа смен в сутках $n_{\text{см}}$ и числа лет использования оборудования d (лет):

$$R = n_{\text{агр}} \cdot n_{\text{см}} \cdot t \cdot d \quad (5.19)$$

Совокупные затраты денежных средств на годовой объем работы оборудования (п. 6.1.1 ГОСТ 34393-2018) $Z_{\text{сов}}^{\Gamma}$, руб.:

$$Z_{\text{сов}}^{\Gamma} = Z_{\text{сов}} \cdot V \quad (5.20)$$

Целевые показатели экономической эффективности – годовая экономия в абсолютном выражении, относительном выражении (изменение себестоимости), а также срок окупаемости рассчитываются на основе определенных выше показателей.

Экономия совокупных затрат в расчете на годовой объем работ – годовая экономия (п. 7.1 ГОСТ 34393-2018) \mathcal{E}^{Γ} , руб. составит:

$$\mathcal{E}^{\Gamma} = Z_{\text{сов}}^{\Gamma.A.} - Z_{\text{сов}}^{\Gamma.H.} \quad (5.21)$$

Изменение себестоимости выполнения работ (п. 7.2 ГОСТ 34393-2018) Δ_C , %:

$$\Delta_C = \frac{-\mathcal{E}^{\Gamma}}{Z_{\text{сов}}^{\Gamma.A.}} \cdot 100 \quad (5.22)$$

Отрицательное значение Δ_C свидетельствует о снижении себестоимости выполнения работ на новом оборудовании в сравнении с аналогом.

Срок окупаемости капиталовложений (п. 7.3 ГОСТ 34393-2018) S_K , лет:

$$S_K = \frac{K}{\mathcal{E}^{\Gamma}} \quad (5.23)$$

В соответствии с изложенной методикой, произведен расчет показателей эффективности внедрения предлагаемого устройства для очистки воскового сырья в пчеловодческом хозяйстве с численностью пчелосемей, равной 400. Результаты расчета, приведенные в приложении И, показывают, что для данного

размера пасеки применение предлагаемого устройства для очистки воскового сырья является эффективным, годовой экономический эффект составит 10100 рублей в абсолютном выражении, относительное изменение себестоимости очистки сырья -44%, срок окупаемости капиталовложений составит 2,5 года. Аналогично был произведен расчет целевых показателей эффективности внедрения предлагаемого устройства для пасек с различным количеством пчелосемей: 100, 200, 600, 800 и 1000 пчелосемей. Результаты расчета сведены в таблицу 5.4. На рисунке 5.5 представлен график зависимости срока окупаемости капитальных вложений от количества пчелосемей.

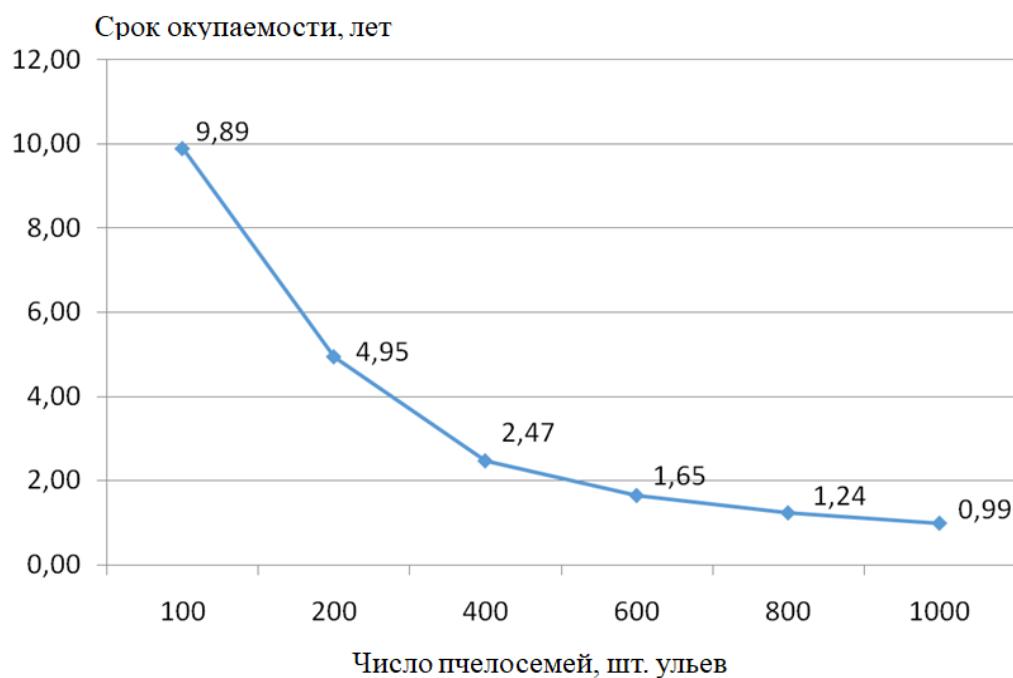


Рисунок 5.5 – Зависимость срока окупаемости капиталовложений от количества пчелосемей

Таблица 5.4 – Целевые показатели экономической эффективности для пасек с различным количеством пчелосемей

Целевые показатели	Число пчелосемей, шт. ульев					
	100	200	400	600	800	1000
Совокупные годовые затраты, руб	3 224,82	6 449,64	12 899,29	19 348,93	25 798,57	32 248,21
Годовая экономия, руб	2 526,83	5 053,66	10 107,33	15 160,99	20 214,65	25 268,31
Срок окупаемости, лет	9,89	4,95	2,47	1,65	1,24	0,99

5.7. Выводы по пятой главе

В результате исследований опытно-производственного образца устройства очистки воскового сырья (пат. РФ № 2672403) в производственных условиях можно сделать следующие выводы:

1. С применением предлагаемого устройства было переработано 205 соторамок (102,5 кг сырья) получено 76,7 кг воскового вороха, очищенного от перги и других водорастворимых загрязнений. Остаточная загрязненность воскового сырья пергой не превышает 0,89 %. Среднее увеличение восковитости по данным химического анализа, проведенного в ФГБНУ НИИ пчеловодства, составляет 16 %.

2. На основе данных измерений потребляемой мощности и хронометража технологических операций при использовании предлагаемого оборудования установлены следующие показатели: производительность устройства составила 18 кг/час; энергоемкость составила 0,03 кВт·ч/кг.

3. Экономические показатели эффективности внедрения предлагаемого устройства в производство зависят от размера хозяйства. Годовой экономический эффект (годовая экономия) при величине пасеки 200 пчелосемей составит 5050 руб., срок окупаемости капитальных вложений 4,95 года. Для КФХ «Бортники», на базе которого проводили исследование, располагающего 400 ульями, годовой эффект составит 10100 руб., срок окупаемости капитальных вложений 2,47 года.

Таким образом, применение предлагаемой устройства очистки воскового сырья можно рекомендовать пчеловодческим хозяйствам с численностью пчелосемей от 100 ульев, а также предприятиям-переработчикам продукции пчеловодства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Очистка воскового сырья перед тепловой переработкой является операцией, позволяющей увеличить количество воска, получаемого из воскового сырья, что повышает качество получаемого продукта. Установлено, что существующие способы и технические средства переработки воскового сырья не обеспечивают его эффективной очистки от органических загрязнений. С этой целью устройство очистки воскового сырья должно содержать измельчитель штифтового типа и камеру для гидроочистки измельченного продукта.

2. Исследование физико-механических свойств воскового сырья и содержащихся в нем загрязнений показывает, что выход воска при тепловой переработке воскового сырья зависит от количества содержащихся в нем органических загрязнений и их гранулометрического состава и изменяется от 0,9% при восковитости 36% и среднем гранулометрическом составе загрязнений 1,75 мм до 61,9% для сырья восковитостью 76%, загрязненного неизмельченной пергой. Экспериментально установлено, что для максимального удаления органических загрязнений из воскового сырья его измельчение целесообразно проводить до среднего гранулометрического состава 2,4 мм.

3. Полученные теоретические зависимости позволяют определить рациональные параметры устройства очистки воскового сырья. Так, диаметру камеры измельчения 190 мм соответствует диаметр камеры перемешивания 380 мм и частота вращения рабочего вала с расположенными на нем штифтами и мешалкой 1150 Об/мин.

4. Экспериментально установлено, что требуемый гранулометрический состав измельченного воскового сырья с минимальным содержанием крупных фракций с размером частиц 3 мм и более в общей массе (31,6%) возможно получить при следующем сочетании исследуемых параметров: размер штифтов 13,4 мм; расстояние между плоскостями их вращения 25 мм; линейной скорости концов штифтов 11,4 м/с.

Экспериментально установлено, что критерий оптимизации – процент нерастворенных загрязнений при гидроочистке воскового сырья – достигает минимума (0,58%) при интенсивности перемешивания 18770 Вт/м³, продолжительности процесса перемешивания 600 секунд и исходном среднем гранулометрическом составе 1,75 мм. Концентрация воскового сырья в воде не должна превышать 120-140 г/л.

5. В результате внедрения устройства очистки воскового сырья в КФХ «Бортники» Рыбновского района Рязанской области выход товарного воска из воскового сырья увеличился от 22,5% до 37% (до 27,7% по отношению к исходной массе сырья). Годовой экономический эффект для данного хозяйства составит 10100 рублей, срок окупаемости капитальных вложений 2,47 года.

Рекомендации производству

Применение предлагаемого устройства очистки воскового сырья можно рекомендовать пчеловодческим хозяйствам с численностью пчелосемей от 100 ульев, а также предприятиям-переработчикам продукции пчеловодства.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе необходимо продолжить работу над совершенствованием технологической операции фильтрования водяной смеси воскового сырья, а также поиском путей удешевления использования устройства очистки воскового сырья для малых пасек.

Список литературы

1. Абросимов М.В. Дополнения к классификации фазово-дисперсных состояний примесей в воде / Абросимов М.В., Серпокрылов Н.С., Яковлева Е.В. // В сборнике: Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2018". Материалы XI Международной научно-практической конференции. 2018. С. 79-84.
2. Аветисян Г.А. Пчеловодство / Г.А. Аветисян. – М.: Изд-во «Колос», 1982. – 309 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. Астрацкене, А.Э. Что мы знаем о перге. / А.Э Астрацкене, К.В. Кадзядскене // Пчеловодство. – 1990. – №7. – С.30–32.
5. Афанасьев А.М. Исследование прочности ячеек при изгибе пчелиного сота / Афанасьев А.М., Костенко М.Ю., Афанасьев М.Ю., Мамонов Р.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 1 (45). С. 70-76.
6. 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.
7. 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.
8. Борщев В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие / В.Я. Борщев. - Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. - 75с.
9. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш / Л.: Химия, 1984. - 336 с.

10. Бронштейн, Ч.Н. Справочник по математике / Ч.Н. Бронштейн, К.А. Семеняев. – М.: Изд-во «Наука», 1980.
11. Брусникин, Д.Е. Электрические машины, часть 2 / Д.Е. Брусникин, А.Е. Зарохович, В.С. Хвостов. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1987. – 336 с.
12. Будникова Н.В. Витамин А в продуктах пчеловодства / Н.В. Будникова, Л.В. Репникова, Л.А. Бурмистрова // Пчеловодство. 2017. № 7. С. 48-49.
13. Будникова Н.В. Антиоксиданты в продуктах пчеловодства / Н.В. Будникова, Л.А. Бурмистрова, Л.В. Репникова // Пчеловодство. 2018. № 3. С. 54-56.
14. Будникова Н.В. Опасность загрязнения продуктов пчеловодства гхцг и его изомерами / Будникова Н.В., Митрофанов Д.В., Бурмистрова Л.А., Косарев В.Н. // Пчеловодство. 2018. № 10. С. 8-9.
15. Будникова Н.В. Пестициды в продуктах пчеловодства / Будникова Н.В., Митрофанов Д.В. // Пчеловодство. 2019. № 10. С. 47-48.
16. Будникова Н.В. Безопасность продуктов пчеловодства / Будникова Н.В., Митрофанов Д.В. // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2020. Т. 9. № 1. С. 274-277.
17. Будникова Н.В. Содержание хлорорганических пестицидов в продуктах пчеловодства / Будникова Н.В., Митрофанов Д.В. // В сборнике: Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2020. С. 314-316.
18. Буренин, Н.Л. Справочник по пчеловодству / Н.Л. Буренин, Г.Н. Котова. – М.: Изд-во «Колос», 1984. – 310с.
19. Бышов Д.Н. Исследование адгезионных свойств перги, содержащейся в пчелиных сотах / Д.Н. Бышов и др. // Вестник КрасГАУ. - Выпуск 7 - Красноярск, 2015. - С. 174-178.
20. Бышов Д.Н. Исследование работы измельчителя воскового сырья / Д.Н. Бышов и др. // Сельский механизатор. - №8. - 2015. - С. 28-29.

21. Бышов Д.Н. Исследование рабочего процесса измельчителя перговых сотов / Д.Н. Бышов и др. // Вестник КрасГАУ. - Выпуск 8 - Красноярск, 2015. - С. 155-159.
22. Бышов Д.Н. Исследование конструктивно-технологических параметров измельчителя перговых сотов / Д.Н. Бышов и др. / Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации с/х: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию каф. с/х машин агрониж. факультета Воронежского ГАУ. - Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 25 дек. 2015. - С. 116 -119.
23. Бышов Д.Н. К вопросу влияния загрязнений, содержащихся в пчелиных сотах, на выход товарного воска / Д.Н. Бышов, Д. Е. Каширин, 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. 280 -282.
24. Бышов Д.Н. Исследование влияния влажности и температуры на прочностные свойства перги / Д.Н. Бышов и др. // Вестник КрасГАУ. - Выпуск 1 - Красноярск, 2016. - С. 97-101.
25. Бышов Д.Н. Исследование гигроскопических свойств загрязнителей воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов / Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2016. - Спецвыпуск №2. - URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/spetsvypusk-2/31-spets02/439-00188>. - ISSN 2413-4066
26. Бышов Д.Н. Исследование гранулометрического состава загрязненного воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов / Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф.Х. Бурумкулова. - Саранск: 2016. - С. 467-468.
27. Бышов Д.Н. К вопросу усовершенствования технологического процесса очистки воскового сырья от загрязнений / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В.

Павлов / Основные принципы развития землеустройства и кадастров: материалы межвузовской научно-практической конференции студентов и молодых ученых (27 апр. 2016) / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ - Новочеркасск, 2016. - С. 208-209.

28. Бышов Д.Н. Исследование дисперсионных свойств перги различного гранулометрического состава / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - №1 (33) - Рязань, 2017. - С. 69-74.
29. Бышов Д.Н. Исследование эффективности очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д.Н. Бышов и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 12 (135). С. 115-122.
30. 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. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Орловский ГАУ, Орел, 29 ноября 2017 года. С. 45-48.
31. Бышов Д.Н. Результаты многофакторного экспериментального исследования дисперсионных свойств перги / Д.Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В.В. Павлов // Вестник КрасГАУ. - Выпуск 2 - Красноярск, 2017. - С. 115-121.
32. Бышов Д.Н. К вопросу механизированной очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Аграная наука в инновационном развитии АПК. Материалы международного молодежного аграрного форума. Сборник научных статей. Под редакцией В.А. Бабушкина. 2018. С. 49-55.
33. Бышов Д.Н. Теоретическое обоснование процесса измельчения воскового сырья / Д.Н. Бышов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 4 (40). С. 70-75.

34. Бышов Д.Н. Повышение эффективности очистки воскового сырья с применением специальной механизированной технологии / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов // В сборнике: Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Под редакцией Н.Г. Власенко [и др.]. 2019. С. 293-298.
35. 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 КрасГАУ. 2019. № 2 (143). С. 150-156.
36. 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. Т. 3. № 47. С. 79-83.
37. 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. Т. 3. № 47. С. 84-88.
38. 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.
39. 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.
40. Бышов Н.В. Исследование гигроскопических свойств перги / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин, М.Н. Харитонова // Вестник КрасГАУ – 2013. – №2. – С.122-124.

41. Бышов Н.В. Исследование отделения перги от восковых частиц / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Техника в сельском хозяйстве – 2013. – №1. – С.26-27.
42. 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.
43. Васильцов Э.А. Аппараты для перемешивания жидких сред / Э.А. Васильцов, В.Г. Ушаков / Справочное пособие. - Л.: Машиностроение. Ленинград. издание, 1979. - 272 с.
44. Вахонина Т.В. Единство продуктов пчеловодства/ Т.В. Вахонина // Пчеловодство. - 1989. - №10. - с. 32-34.
45. Вахонина Т.В. Пчелиная аптека / Т.В. Вахонина. - С-Петербург: Лениздат, 1992. - 188 с.
46. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 187 с.
47. 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.
48. Дерегин Б.В. Адгезия твердых тел. / Б.В. Дерегин, И.А. Кротова, В.П. Смилга – М.: Наука, 1973. – 280 с.
49. Джарвис Д.С. Мед и другие естественные продукты / Д.С. Джарвис - Бухарест: Анимондия, 1975, 136 с.
50. Зарецкий Н.Н. Пособие для начинающего пчеловода / Н.Н. Зарецкий. - М.: Моск. Рабочий, 1985. - 159 с.
51. Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс /А.Д. Зимон. – М.: Агропромиздат, 1985. – 272с.
52. Иваненко Т.П. Заготовка и хранение перги / Т.П. Иваненко // Пчеловодство. - 1960. - №5. - С. 43.
53. Ивашевская Е.Б. Экспертиза продуктов пчеловодства / Е.Б. Ивашевская и др. - Новосибирск, 2007.

54. Из кельи восковой. / Сост. А.Н. Ивлев. – Л.: Лениздат, 1985. – 224 с.: ил.
55. Иойриш Н.П. Продукты пчеловодства и их использование. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 175 с.: ил.
56. Ионов В.Н. Динамика разрушения деформированного тела / В.Н. Ионов, В.В. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1987 – 272с.
57. 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.
58. Касьянов А.И. Соты – основа гнезда пчелиной семьи / А.И. Касьянов, В.И. Лебедев // Пчеловодство. – 2014. - № 4. – С. 52-55.
59. Каширин Д.Е. Технология и устройство для измельчения перговых сотов / Д.Е. Каширин. – Дис. канд. техн. наук. Рязань, 2001. – 182с.
60. 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.
61. 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.
62. 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.
63. Каширин Д.Е. Исследование массы и геометрических параметров перги и перговых сотов / Д.Е. Каширин // Вестник КрасГАУ. 2010. №5. С. 152 - 154.
64. Каширин Д.Е. К вопросу отделения перги из измельченной воскоперговой массы / Д.Е. Каширин // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №1. – С.138–139.
65. 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.

66. Каширин Д.Е. Исследование некоторых прочностных характеристик восковой основы пчелиных сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Вестник КрасГАУ. 2011. №8. С. 199 - 202.
67. 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.
68. 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.
69. Каширин Д.Е. Установка для извлечения перги из ячеек пчелиного сата / Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –2011. – №7. – С. 26–28.
70. 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.
71. Каширин Д.Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: дис.. д-ра техн. наук. - Рязань, 2013. - 474 с.
72. 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.
73. 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.

74. Каширин Д.Е. Теоретическое исследование процесса очистки воскового сырья от загрязнений при интенсивном механическом перемешивании в воде / Д.Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 4 (40). С. 94-99.
75. Каширин Д.Е. К вопросу обоснования рациональных условий очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д.Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 1 (45). С. 87-91.
76. Кашковский В.Г., Орлов А.С. Производство воска на пасеке. – М.: Россельхозиздат, 1973. – 39 с.
77. Киселева В.А. Актопротекторное действие биологически активных продуктов пчеловодства в эксперименте / Киселева В.А., Бурмистрова Л.А. // В сборнике: Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии. 2017. С. 106-111.
78. Клайн С. Дж. Подобие и приближенные методы. М.: Мир, 1968. 302 с.
79. Космович Е.К. Перга из выбракованных сотов / Е.К. Космович // Пчеловодство. – 1981. – №4. – С.5.
80. Кривцов Н.И. Получение и исследование продуктов пчеловодства / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев – М.: Изд-во «Нива России», 1993. – 285с.
81. Кривцов Н.И. Энциклопедия пчеловодства / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев, Г.Ф. Таранов. – М.: Изд-во «Информагромех», 1997. – 401с.
82. 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.
83. Латышев Д.Е. Пасека в теплице. // Д.Е. Латышев, Н.Н. Зарецкий. – М.: Изд-во «Московский рабочий», 1967. – 256с.

84. 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.
85. 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.
86. Липатов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств /Н.Н. Липатов – М.: Изд-во «Экономика», 1987. – 272с.
87. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950. - 676 с.
88. Львовский Е.Н. Статические методы построения эмпирических формул /Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 240 с.
89. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Изд-во «Колос», 1980. – 126 с.
90. Митрофанов Д.В. Йодное число и кислотное число как показатели качества и стабильности трутневого расплода / Митрофанов Д.В., Будникова Н.В., Бурмистрова Л.А. // В сборнике: Достижения молодых ученых – зоотехнической науке и практике. Сборник докладов научно-практической конференции. 2018. С. 327-335.
91. Морозова Н.Ю. Классификация молотковых дробилок / Морозова Н.Ю., Хижняков Е.Н., Фролов В.Ю. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко. Отв. за вып. А. Г. Кощаев. 2017. С. 596-597.
92. Морозова Н.Ю. Анализ факторов, влияющих на процесс измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 73-й научно-

практической конференции студентов по итогам НИР за 2017 год. Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. 2018. С. 389-391.

93. Морозова Н.Ю. Обоснование технологического процесса измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. // В книге: Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства. Сборник тезисов по материалам II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству. Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. 2018. С. 138-140.
94. Нагаев Н.Б. Совершенствование процесса вытопки воска с обоснованием параметров центробежного агрегата / Н.Б. Нагаев. – Дис. канд. техн. наук. Рязань, 2015. – 247 с.
95. Назаров Г.И. Электропривод и применение электрической энергии в сельском хозяйстве / Г.И. Назаров. – М.: Изд-во «Колос», 1972. – 436с.
96. Налимов В.В. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.В. Налимов. – М.: Изд-во «Металлургия», 1982. – 750 с.
97. 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.
98. Некрашевич В.Ф. Промышленная технология получения перги / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин // Передовые технологии в пчеловодстве. Материалы научно практической конференции 19 ноября 2002г. – Рыбное. 2003. – С.93 – 95.
99. Некрашевич В.Ф., Кирьянов Ю.Н. Механизация пчеловодства. – Рязань, 2005. – 291 с.
100. Некрашевич В.Ф. Развитие производства перги в России / В.Ф. Некрашевич [и др.] // Пчеловодство, № 6, 2010. – С. 48-49.

101. Некрашевич В.Ф. Механизация промышленного способа получения перги / В.Ф. Некрашевич [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. 2020. № 1 (2). С. 51-56.
102. Некрашевич В.Ф. Исследование прочностных свойств восковой основы сотов / Некрашевич В.Ф. [и др.] // Пчеловодство. 2020. № 2. С. 48-50.
103. Некрашевич В.Ф. Технология и современные средства механизации переработки пчелиных сотов на пергу и восковое сырье В.Ф. Некрашевич [и др.] // Пчеловодство. 2020. № 10. С. 48-51.
104. Олейник В.С. Практикум по основам электропривода /В.С. Олейник. –М.: Колос, – 1967. – 274 с.
105. 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.
106. 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.
107. Павлов В.В. К вопросу очистки воскового сырья путем диспергирования загрязняющих компонентов / В.В. Павлов, Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин / В сборнике: Наука молодых – инновационному развитию АПК материалы X Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет. 2017. С. 226-233.
108. Павлов В.В. Исследование процесса вытопки пчелиного воска из воскового сырья, загрязненного органическими примесями / В.В. Павлов // В сборнике: Материалы 65-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО Самарский ГАУ. Сборник научных трудов. 2020. С. 148-152.

109. Павлов В.В. К вопросу обоснования параметров штифтового измельчителя воскового сырья / В.В. Павлов // В сборнике: Материалы всероссийской научно-практической конференции посвящённой 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро (скб). ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева. Рязань. 2020. С. 70-73.
110. 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. – 4с.
111. 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. – 3с.
112. 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. – 6с.
113. 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. – 4с.
114. 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. – 6с.
115. 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. – 4с.
116. 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. – 7с.
117. 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. – 9с.

118. Пат. № 2656968 РФ, А01К51/00. Способ очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов – Заявл. 20.02.2017; опубл. 07.06.2018. Бюл. № 16.
119. Пат. № 2672403 РФ, А01К59/06. Установка для очистки воскового сырья / Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов, А.А. Петухов – Заявл. 05.02.2018; опубл. 14.11.2018. Бюл. № 32.
120. Пат. № 2680511 РФ. МПК C02F 3/14, C02F 1/74, C02F 3/06, F21K 9/00 Способ повышения эффективности работы фильтра биологической очистки сточных вод / Н.С. Серпокрылов, С.В. Старовойтов, А.С. Халил. – Заявл. 06.03.2018; опубл. 21.02.2019, бюл. № 6. – 8 с.
121. Пат. № 2683522 РФ. МПК C02F 3/02, C02F 3/32, C02F 9/12, C02F 9/14, C02F 101/30, C02F 101/38 Способ биологической очистки сточных вод / И.А. Ченский, Н.С. Серпокрылов. – Заявл. 06.06.2018; опубл. 28.03.2019, бюл. № 10. – 8 с.
122. Прокофьева Л.В. Восковой баланс пасеки / Л.В. Прокофьева, Л.В. Репникова // Пчеловодство. 2015. № 6. С. 52-55.
123. Репникова Л.В. Новый стандарт на восковое сырье / Л.В. Репникова // Пчеловодство. № 8, 2010.
124. 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.
125. Рязанова О.А. Классификация восков / О.А. Рязанова // Пчеловодство. № 8, 2017.
126. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 432 с.
127. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1988. 432 с.
128. Серпокрылов Н.С. К вопросу о ретехнологизации действующих систем водоотведения поверхностных сточных вод / Н.С. Серпокрылов, Е.С.

- Салбинян // В сборнике: Строительство и архитектура-2017. инженерно-строительный факультет. Материалы научно-практической конференции. Издательство: Донской ГТУ (Ростов-на-Дону). 2017. С. 267-272.
129. Серпокрылов Н.С. Оптимизация выбора технических и технологических решений (на базе систем водоотведения): Учебное пособие / Н.С. Серпокрылов, А.С. Смоляниченко, Е.Н. Серпокрылов. – Ростов-на-Дону, 2018. – 93 с.
130. Сокольский С.С. / Научно обоснованная технология производства продуктов пчеловодства. // С.С. Сокольский, Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев. – Краснодар: «Агропромполиграфист», 2000. – 254с.
131. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. Под ред. Шупляка И.А. Л., «Химия», 1975.
132. Таранов Г.Ф. Книга пчеловода / Г.Ф. Таранов, В.И. Лебедев – М.: Росагропромиздат, 1992. – 251с.
133. Таранов Г.Ф. Промышленная технология получения и переработки продуктов пчеловодства. – М.: Агропромиздат, 1987. – 319 с.: ил.
134. Темнов В.А. Переработка воскового сырья на пасеке. – М.: Россельхозиздат, 1966. – 98 с.
135. Темнов В.А. Технология продуктов пчеловодства. – М.: изд-во «Колос», 1967. – 192 с.
136. Технология получения воска и переработки воскового сырья на пасеках. Рекомендации / Научно-исследовательский институт пчеловодства // Аграрная Россия. Информационный бюллетень 2000. №1.
137. Тимофеев М.Н. Анализ технических средств для измельчения кормов и их классификация / Тимофеев М.Н., Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 399-424.
138. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд. 2-е допол. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953. – 680 с.: ил.

139. Туников Г.М. Пчеловодство. Учебник для высших учебных заведений / Г.М. Туников, Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев. – М.: Колос, 1999. – 399с.
140. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий /А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1973. – 469 с.
141. Фролов В.Ю. К вопросу измельчения грубых кормов в прессованном виде / Фролов В.Ю., Туманова М.И. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 138. С. 1-10.
142. Фролов В.Ю. Оптимизация конструктивно-режимных параметров измельчителя стебельных кормов молотково-сегментного типа / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. // В книге: Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам Международной конференции. Отв. за выпуск А.Г. Кощаев. 2018. С. 69.
143. Фролов В.Ю. Рабочие органы кормораздатчика-измельчителя / Фролов В.Ю., Кузнецов В.И., Морозова Н.Ю. // В книге: Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам II Международной конференции. Отв. за выпуск А.Г. Кощаев. 2018. С. 72.
144. Фролов В.Ю. Теоретические аспекты процесса измельчения кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Фролов В.Ю., Кузнецов В.И., Морозова Н.Ю., Виноградов А.В. // Сельский механизатор. 2019. № 6. С. 22-23.
145. Чекотерите В.В. Изучение химического состава пыльцы /В.В. Чекотерите // Пчеловодство. – 1987. – №1. – С.12-13.
146. Чепик А.Г. Экономика и организация инновационных процессов в пчеловодстве и развитие рынка продукции отрасли: монография / А.Г. Чепик, В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженова; Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2010. – 212 с.
147. Чудаков В.Г. Технология продуктов пчеловодства – Москва: Колос, 1979. – 160 с.

148. Шаповалов Г.А. Технология промышленного производства биологически активных, экологически чистых продуктов пчеловодства. Автореф. дис. канд с/х наук. – Дивово, Рязанской области. – 2000.
149. Шеметков М. Ф., Шapiro Д. К., Данусевич И. К. Продукты пчеловодства и здоровье человека. – Минск: Ураджай, 1987. – 103 с.
150. Ярмош Г.С. Малая механизация на любительских пасеках // Г.С. Ярмош, А.Г. Ярмаш. – М.: Агропромиздат, 1991. – 332 с.
151. Byshov, N.V. Theoretical and experimental study of the process of wet cleaning of wax raw materials from organic impurities [Url: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0719_7834.pdf] / N.V. Byshov, I.A. Uspenskiy, D.E. Kashirin, D.N. Byshov, V.V. Pavlov, A.V. Protasov, S.S. Morozov, A.M. Afanasyev, S.N. Gobelev, V.V. Kochenov and A.V. Kupriyanov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, July 2019 Vol. 14 No. 14, ISSN 1819-6608.
152. Dr. Sebastian Spiewok: Wachs & Mittelwände // Deutsches Bienen-Journal. 12, 2017. S. 58-60.
153. Dr. Sebastian Spiewok: Wachs im Gespräch // Deutsches Bienen-Journal. 4, 2018. S. 59-61.
154. Dr. Sebastian Spiewok: Wachsprobleme in Schweden // Deutsches Bienen-Journal. 12, 2017. S. 5.
155. Johann Fischer: Wachsernte // Deutsches Bienen-Journal. 4, 2018. S. 55.
156. Kneule F. Chem. Ing. Techn., 28, 221 (1956).
157. Kneule F., Weinspach P. M. Suspendierung fester Körper in Flüssigkeiten // Chem. Ing. Techn., 35, 720 (1963).
158. Nagata S., Yokoyama T., Maeda H., Mem. Fac. Eng., Kyoto Univ., 18, 13 (1956).
159. Oyama Y. Chem. Eng. (Tokyo), 20, 575 (1956).
160. Sewage cleaning by using a phase separator / Serpokrylov N.S., Smolyanichenko A.S., Yakovleva E.V. // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. C. 01020.

161. Theoretical aspects of the working process of a press extruder with a variable step auger for preparation of concentrated feed / Frolov V.Y., Kotelevskaya E.A., Tumanova M.I. // В сборнике: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Cep. "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science" Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. C. 52003.
162. Weinspach P. M. Der Lösevorgang im Fließbett und im Rührgefäß // Chem. Ing. Techn., 39, 231 (1967).

Приложения

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Г.П. Ивлисов".

Г.П. Ивлисов



Приложение Б

План и результаты эксперимента по определению влияния восковитости сырья (X_1) и гранулометрического состава добавляемых загрязнений (X_2) на выход воска при перегонке (Y_1) с проверкой условия однородности дисперсий по G-критерию Кохрена на уровне $\alpha = 0,05$.

Номер опыта	X_1	X_2	Y_1			Среднее	Дисп.
			1	2	3		
1	1	0	57.90	50.56	53.84	54.10	13.5294
2	-1	0	4.16	10.66	10.67	8.50	14.1007
3	0.5	0.866	52.40	56.83	55.65	54.96	5.2619
4	0.5	-0.866	42.36	41.86	35.96	40.06	12.6764
5	-0.5	0.866	36.52	35.83	35.68	36.01	0.1970
6	-0.5	-0.866	33.08	32.84	30.02	31.98	2.8860
7	0	0	38.71	37.73	41.48	39.31	3.7801
8	0	0	34.05	33.55	31.49	33.03	1.8376
9	0	0	36.66	42.65	40.39	39.90	9.1294
10	0	0	48.58	49.72	40.04	46.11	27.9770

Сумма всех дисперсий **91.3755**
Максимальная из построчных дисперсий **27.977**

G-критерий Кохрена	соответствует		
$G_{0,05}(10,2) = 0.445$	$G_1 = 0.31$	$<$	$G_{\text{таб}} = 0.445$

Результаты измерения объемной массы перги и измельченного воскового сырья различного гранулометрического состава

Таблица Б-1 – Результаты измерения объемной массы перги различного гранулометрического состава

Гранулометрический состав d , мм	Измерение объемной массы γ_i , г/дм ³		Сходимость r , г/дм ³	Объемная масса γ , г/дм ³
	1	2		
1.75	1103	1099	4	1101
3.75	880	885	5	882.5
5.75	665	655	10	660

Таблица Б-2 – Результаты измерения объемной массы измельченных сотов (вороха) различного гранулометрического состава

Гранулометрический состав d , мм	Измерение объемной массы γ_i , г/дм ³		Сходимость r , г/дм ³	Объемная масса γ , г/дм ³
	1	2		
3	295	301	6	298
5.5	205	212	7	208.5
> 6	170	161	9	165.5

Приложение Г

Результаты эксперимента по определению влияния времени замачивания перги в воде (X_1) и её начального гранулометрического состава (X_2) на критерий оптимизации – процент не растворившегося осадка (Y) с проверкой условия однородности дисперсий по G-критерию Кохрена на уровне $\alpha = 0,05$

Номер опыта	X_1	X_2	Y			Среднее	Дисп.
			1	2	3		
1	1	1	15,20	14,90	13,97	14,69	0,4064
2	1	-1	6,95	4,66	8,99	6,87	4,6951
3	-1	1	21,06	22,12	23,48	22,22	1,4810
4	-1	-1	9,58	10,42	12,18	10,73	1,7542
5	1	0	7,93	7,55	8,97	8,15	0,5379
6	-1	0	11,35	12,88	13,41	12,55	1,1492
7	0	1	18,68	18,29	17,63	18,20	0,2812
8	0	-1	7,19	8,14	9,16	8,16	0,9707
9	0	0	11,97	12,76	10,46	11,73	1,3619

Проверка условия
однородности дисперсий

Сумма всех дисперсий **12,6374**
Максимальная из построчных дисперсий **4,6951**

G-критерий Кохрена

неравенство верно, дисперсии однородны

$$G_{0,05}(9, 2) = 0,4775$$

$$G_{\text{расч}} = 0,37$$

<

$$G_{\text{таб}} = 0,4775$$

Приложение Д

Численное моделирование рациональной линейной скорости штифтов устройства измельчения и соотношения диаметров рабочих камер устройства измельчения и перемешивающего устройства (листинг программы MathCad 15)

Исходные данные

Прочность сотов, Па	$\sigma := 150 \cdot 10^3$
Относительная деформация при разрушении	$\delta := 0.05$
Объемная масса сотов, кг/м ³	$\gamma := 160$
Толщина воздушно-продуктового слоя, м	$b := 0.02$
Плотность воды, кг/м ³	$\rho := 1000$
Инварианты подобия	$i_1 := 0.07 \quad i_2 := 3 \quad i_3 := 1$

Расчет

Оценка средней линейная скорость штифтов, м/с

$$v := \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} = 10.755$$

Диаметр камеры измельчителя D_i , м в зависимости от величины оборотов n , Об/сек.

$$D_i(n) := \frac{1}{2 \cdot n} \sqrt{\frac{\sigma \cdot \delta}{\gamma}} + b$$

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.

$$D_p(n, I) := \sqrt{\frac{\pi \cdot I}{92 \cdot n^3 \cdot \rho} \cdot \frac{i_2^4 \cdot i_3}{i_1^{1.27}}}$$

$$n := 9, 9.01..33$$

Частные значения

$$D_i\left(\frac{1200}{60}\right) = 0.191 \quad D_i\left(\frac{1000}{60}\right) = 0.225$$

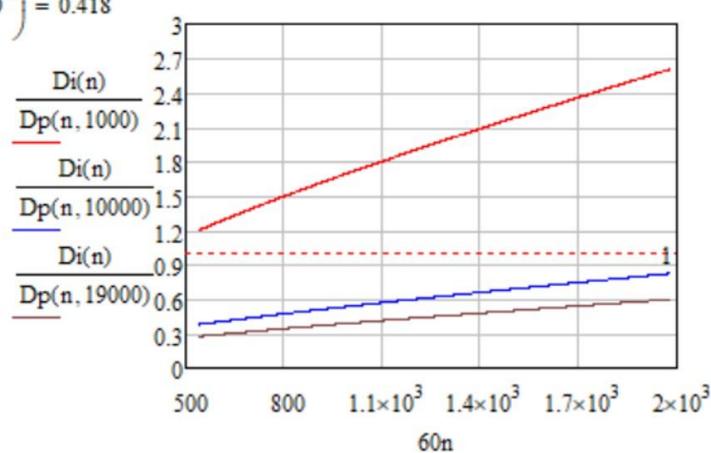
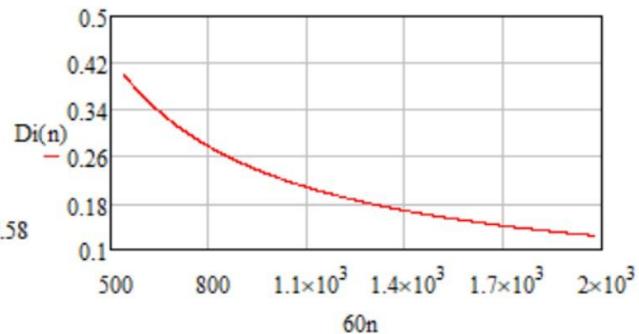
$$\frac{D_i\left(\frac{1200}{60}\right)}{D_p\left(\frac{1200}{60}, 10^4\right)} = 0.601 \quad \frac{D_i\left(\frac{1000}{60}\right)}{D_p\left(\frac{1050}{60}, 10^4\right)} = 0.58$$

$$D_p\left(\frac{1200}{60}, 10^4\right) = 0.318 \quad D_p\left(\frac{1000}{60}, 10^4\right) = 0.418$$

$$D_i\left(\frac{1200}{60}\right) = 0.191$$

$$\frac{D_i\left(\frac{1200}{60}\right)}{D_p\left(\frac{1200}{60}, 1.5 \cdot 10^4\right)} = 0.49$$

$$D_p\left(\frac{1200}{60}, 1.5 \cdot 10^4\right) = 0.39$$



Приложение Е

План и результаты эксперимента, устанавливающего влияние диаметра штифтов (X_1), расстояния между плоскостями их вращения (X_2) и линейной скорости (X_3) на содержание восковых частиц диаметром 3 мм и более в общей массе измельченного воскового сырья, с проверкой условия однородности дисперсий по G-критерию Кохрена на уровне $\alpha = 0,05$.

№ опыта	План			Отклик P , %				Среднее	Дисп.		
	X_1	X_2	X_3	Повторности							
				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

$G_{0,05}(2, 15) = 0.335$	$G_1 = 0.16 <$	$G_{ta6} = 0.3346$
---------------------------	----------------	--------------------

Приложение Ж

План и результаты эксперимента по определению влияния интенсивности (Х1), времени перемешивания (Х2) и начального гранулометрического состава перги (Х3) на ее относительную остаточную концентрацию – процент не растворившихся загрязнений (Y)

№ опыта	Факторы			Отклик (Y)				Среднее	Дисп.	
	Х1	Х2	Х3	Повторности			1	2	3	
				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

$$G_{0,05}(10, 2) = 0.3346$$

$$G_{\text{расч}} = 0.33$$

<

$$G_{\text{таб}} = 0.3346$$

Приложение 3

Результаты исследования влияния концентрации x (г/л) измельченного воскового сырья в объеме жидкости, находящейся в рабочей камере перемешивающего устройства, на полезную мощность мешалки N (Вт) и процент растворившихся загрязнений P (%) с проверкой условия однородности дисперсий по G-критерию Кохрена на уровне $\alpha = 0,05$.

Фактор	Полезная мощность N , Вт	Отклик						
		Процент удаленных примесей P , %					Среднее	Дисп.
		Повторности						
		1	2	3	4	5		
50	12.5	25.71	26.86	23.18	26.39	26.86	25.8	2.363071
100	13	29.34	28.59	24.27	25.13	18.17	25.1	19.72737
150	13.4	24.01	27.24	21.09	25.20	22.46	24	5.701036
200	16.3	12.66	13.23	18.35	15.76	21.49	16.3	13.54196
250	17	6.48	12.00	10.34	9.16	9.53	9.5	4.060654
							Сумма всех дисперсий	45.39409
							Максимальная из построчных дисперсий	19.72737

G-критерий Кохрена	соответствует
$G_{0,05}(4,5) = 0.544$	$G_2 = 0.43 < G_{\text{раб}} = 0.544$

Приложение И

Показатели экономической эффективности внедрения в производство устройства очистки воскового сырья
при размере пасеки 400 пчелосемей

№ стр.	Показатели	Обозн.	Ед. изм.	Объекты сравнительного анализа			Расчет показателей	
				Предлагаемая установка	Совместное использование			
					Glasser-2	ЭкоПром-60		
1	Количество рамок, отбираемых в год с пасеки	<i>c</i>	шт/год		2000		$R = 400 \cdot 5$	
2	Средняя масса воскового сырья в рамке	<i>M_С</i>	кг		0,5		-	
3	Годовой объем перерабатываемого воскового сырья	<i>V</i>	кг/год		1000		$V=c \cdot M_C$	
4	Масса сырья, перерабатываемого за 1 цикл	<i>M_Ц</i>	кг		3		-	
5	Тариф на эл. энергию для с/х предпр-й	<i>Ц_{э.эн}</i>	руб/кВт·ч		4,5		-	
6	Часовая ставка оператора	<i>τ</i>	руб/ч		120		-	
7	Норма отчислений на РТО на 100 ч работы, %	<i>k_Р</i>	%		8		-	
8	Время работы оборудования в одном цикле	<i>t_О</i>	ч	0,17	0,08	0,12	-	
9	Продолжительность технологического цикла	<i>t_Ц</i>	ч	0,22	0,13	0,27	-	
10	Производительность оборудования эксплуатационная	<i>Q_{жк}</i>	кг/ч	18,00	40,00	25,00	$Q_{жк} = M_Ц / t_O$	
11	Производительность технологического цикла	<i>Q_{о.е.}</i>	кг/ч	13,53		7,59	$Q_{о.е.} = M_Ц / t_Ц$	
12	Потребляемая мощность	<i>P</i>	кВт	0,55	2,20	0,16	-	
13	Возможный годовой объем переработки на данном оборудовании	<i>W</i>	кг/год	21654		12152	$W = Q_{о.е.} \cdot n_{азп} \cdot t$	
14	Годовая потребность в оборудовании	<i>N</i>	шт	1		1	$N = V / W$	
15	Годовая потребность в обслуживающем персонале	<i>λ</i>	чел	1		1	$λ = N$	
16	Балансовая стоимость оборудования	<i>Б</i>	руб	25 000	45 000	33 450	-	
17	Капитальные вложения	<i>K</i>	руб	25 000		78 450	-	
18	Потребляемая мощность суммарная	<i>P_{общ}</i>	кВт	0,55		2,36	$P_{общ} = P \cdot N$	
19	Энергоемкость	<i>E</i>	кВт·ч/кг	0,03056		0,06140	$E = P_{общ} / Q_{жк}$	
20	Трудоемкость технологических операций	<i>T</i>	чел·ч/кг	0,07389		0,13167	$T = λ / Q_{о.е.}$	
21	Удельные затраты на эл. энергию	<i>З_{э.эн}</i>	руб/кг	0,14		0,28	$З_{э.эн} = E \cdot Ц_{э.эн}$	
22	Удельные затраты на оплату труда персонала	<i>З_{О.Т.}</i>	руб/кг	11,53		20,54	$З_{О.Т.} = T \cdot k_Р$	
23	Удельные затраты на ремонт и ТО	<i>З_{Р.ТО.}</i>	руб/кг	1,11	0,90	1,07	$З_{Р.ТО.} = K \cdot k_P / (Q_{жк} \cdot 10^4)$	
24	Удельные амортизационные отчисления	<i>A</i>	руб/кг	0,12	0,10	0,12	$A = Б \cdot N / (R \cdot Q_{жк})$	
25	Удельные совокупные прямые затраты	<i>З_{сов}</i>	руб/кг	12,90		23,01	$З_{сов} = З_{жк} + З_{О.Т.} + З_{Р.ТО.} + A$	
26	Совокупные прямые затраты в год	<i>З_г^г_{сов}</i>	руб	12899,29		23006,61	$Z_g = V \cdot E \cdot Ц_э$	
27	Годовая экономия	<i>Э_г</i>	руб		10107,33		$Э_g = Z_C - Z_{г}$	
28	Изменение себестоимости ("минус" - снижение)	<i>Э_{г,г}</i> %	%		-43,93%		$Э_{г,г} = (\mathcal{E}_g / Z_C) \cdot 100$	
29	Срок окупаемости	<i>D</i>	лет		2,47		$D = K / Э_g$	

Приложение К

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



 Г.А. Седова

продолжение приложения К

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

Сталаборант-исследователь

 Г.А. Седова



Тел. (905) 571-74-39
e-mail: bortniki-kfh@mail.ru



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 И.Б., соискатель Павлов В.В., глава КФХ «Бортники» Колеснichenко 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.

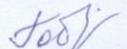
В процессе очистки частота вращения ротора составляла 1150-1200 Об/мин и контролировалась при помощи частотного регулятора ALTIVAR-31, максимальная потребляемая мощность не превышала 0,55 кВт. В процессе испытаний было переработано 205 сотов, получено 76,7 кг воскового вороха, очищенного от перги и других 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

 Д.Е. Каширин

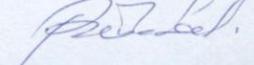
К.т.н., доцент

 С.Н. Гобелев

К.т.н., старший преподаватель

И.Б. Нагаев

Соискатель

 В.В. Павлов