

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Рязанский государственный
агротехнологический университет имени П.А. Костычева»



На правах рукописи

Мамонов Роман Александрович

**ТЕОРЕТИЧЕСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МАШИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРГИ**

Специальность 05.20.01 –

Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук,

профессор Некрашевич В.Ф.

Рязань – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Анализ способов и средств производства перги.....	12
1.1. Перга и её использование в народном хозяйстве.....	12
1.2. Заготовка пчелиных сотов и требования к ним.....	16
1.3. Анализ способов заготовки перги.....	19
1.4. Анализ технических средств заготовки перги.....	24
1.4.1. Анализ способов скарификации пчелиных сотов и технических средств	24
1.4.2. Анализ способов и технических средств сушки перги	30
1.4.3. Анализ способов и технических средств выделения воскоперговой массы из сота	39
1.4.4. Анализ способов и технических средств охлаждения воскоперговой массы	42
1.4.5. Анализ способов и технических средств измельчения пчелиных сотов	43
1.4.6. Анализ способов и технических средств отделения перги от восковой основы сотов	47
1.5. Анализ выполненных исследований по получению перги из пчелиных сотов.....	51
1.6. Постановка проблемы, цель работы и задачи исследований.....	58
Глава 2. Обоснование требований к машинам для получения перги.....	61
2.1. Программа и методики исследования физико-механических свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы	64
2.2. Результаты обоснования требований получения перги из пчелиных сотов	77
2.3. Требования к машинам для получения перги из пчелиных сотов	95
Выводы.....	102
Глава 3. Теоретические исследования машин для получения перги.....	104
3.1. Технология получения перги из пчелиных сотов.....	104
3.2. Теоретические исследования центробежного скарификатора и выделителя воскоперговой массы из пчелиных сотов.....	106
3.2.1. Конструктивно-технологическая схема центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы.....	106
3.2.2. Исследование деформации сотовой пластины в поле центробежных сил при вращении рамки в центрифуг.....	112
3.2.3. Исследование деформации ячеек на выпуклой стороне сотовой пластины	119
3.2.4. Исследование разрушения пчелиных сотов	125
3.2.5. Исследование деформации удерживающей пластины кассеты для скарификации.....	126
3.2.6. Исследование мощности установки для центробежной	

скарификации и выделения воскоперговой массы из сотов	128
3.3. Теоретические исследования измельчителя пчелиных сотов.....	131
3.3.1. Конструктивно-технологическая схема агрегата для извлечения перги из пчелиных сотов.....	131
3.3.2. Теоретические исследования взаимодействия гранул перги со штифтом и дном измельчителя	134
3.3.3. Теоретические исследования движения гранул перги через отверстия выгрузной решётки измельчителя	142
3.4. Теоретические исследования движения гранул перги в сушке	150
3.4.1. Конструктивно-технологическая схема сушки гранул перги	150
3.4.2. Теоретические исследования движения гранул перги в барабане сушилки	154
3.4.3. Обоснование параметров сушильной установки.....	171
Выводы.....	179
Глава 4. Экспериментальные исследования машин в лабораторных условиях	181
4.1. Экспериментальные исследования центробежного скарификатора пчелиных сотов	181
4.1.1. Программа и методика исследований.....	182
4.1.2. Результаты исследования времени воздействия центробежных сил на прогиб воскоперговой массы сота.....	188
4.1.3. Результаты исследования воздействия угловой скорости вращения сота и толщины удерживающей пластины на скорость сушки перги	189
4.1.4. Результаты исследования влияния массы сота и толщины удерживающей пластины на энергоёмкость процесса.....	191
4.1.5. Результаты исследования влияния частоты вращения сота на прогиб его воскоперговой массы.....	193
4.1.6. Результаты исследования влияния времени воздействия теплоагента на скорость сушки перги в сотах	194
4.2. Экспериментальные исследования выделителя воскоперговой массы из сотов.....	195
4.2.1. Программа и методика исследований.....	195
4.2.2. Результаты исследования влияния частоты вращения ротора выделителя на процент выхода из сота воскоперговой массы.....	200
4.2.3. Результаты исследования влияния количества воскоперговой массы в соте на кинематический режим её выделения из сота.....	201
4.3. Экспериментальные исследования процесса охлаждения воскоперговой массы сотов в лабораторных условиях.....	203
4.4. Экспериментальные исследования измельчителя воскоперговой массы пчелиных сотов.....	205
4.4.1. Программа и методика исследований.....	205

4.4.2. Результаты исследования влияния окружной скорости штифта на процесс разрушения куска воскоперговой массы сота.....	212
4.4.3. Результаты исследования влияния угловой скорости вала измельчителя, окружной скорости штифта, его размера и количества на выход целых гранул перги	213
4.4.4. Результаты исследования влияния угловой скорости вала измельчителя и параметров выгрузной решетки на качество извлекаемых гранул перги.....	217
4.4.5. Результаты исследования влияния угловой скорости вращения вала измельчителя и размера выгрузной решетки на качество извлекаемых гранул перги	221
4.5. Программа, методика и результаты экспериментального исследования сушки гранул перги	224
4.5.1. Программа и методика экспериментальных исследований.....	224
4.5.2. Результаты исследования поверхности насыпи перги, участвующую в теплопередаче.....	233
4.5.3. Результаты исследования влияния скорости и времени воздействия теплоагента на скорость сушки гранул перги.....	234
4.5.4. Результаты исследования влияния угла наклона и частоты вращения барабана на скорость движения гранул перги и пропускную способность сушки.....	237
4.5.5. Результаты исследования влияния частоты вращения и угла наклона барабана на удельные затраты энергии сушки гранул перги.....	239
Выводы.....	241
Глава 5. Производственная проверка и оценка технико-экономической эффективности машин для получения перги	242
5.1. Методика и результаты исследований машин для получения перги в производственных условиях.....	242
5.2 Результаты внедрения машин для получения перги	257
5.3. Оценка технико-экономической эффективности машин для получения перги	259
Выводы.....	267
Заключение.....	269
Список литературы.....	274
Приложения.....	301

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В современных условиях возможным направлением экономического роста может стать развитие отрасли пчеловодства. В процессе своей жизнедеятельности пчелы производят ряд ценнейших продуктов: маточное молочко, мед, пчелиный яд, воск, прополис, обножку, пергу и другие. Благодаря своему уникальному химическому составу пергу используют для лечения ряда заболеваний у людей: желудочно-кишечных расстройств, атеросклероза, сердечнососудистых заболеваний и других.

В России большой потенциал производства перги, так как её заготавливают только от 500 тыс. пчелиных семей, а от остальных 3 млн. семей она идет в отход при перетопке выбракованных сотов, снижая выход воска. Перга на рынке стоит в 8...10 раз дороже меда и потребность её в народном хозяйстве очень велика. Однако переработка пчелиных сотов и извлечение из них перги находятся на низком уровне.

Это связано с тем, что существующие технологии получения отдельно перги и воскового сырья имеют высокую энергоёмкость и трудоёмкость технологических операций. Серийно выпускаемое оборудование ориентировано на большие объёмы переработки пчелиных сотов и имеет высокую стоимость. За последние годы наблюдается тенденция к снижению среднего числа пчелосемей на пасеках. В настоящее время 70 % пчеловодов имеют пасеки менее 100 пчелосемей.

Поэтому большинство пчеловодов считают нецелесообразным приобретать дорогостоящее оборудование и получают небольшое количество перги кустарными способами, требующими значительных затрат времени.

Таким образом, разработка технологии и машин, повышающих эффективность получения перги с минимальными затратами труда и энергии в условиях большинства пасек, является актуальной и важной научно-

технической проблемой, имеющей важное значение для народного хозяйства и экономики страны.

Научная гипотеза. Повышение качества перги достигается за счет создания машин, отвечающих предъявляемым требованиям.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в фундаментальные исследования процессов сушки, измельчения и сепарации материалов различного происхождения внесли В.И. Атаназевич, Н.М. Бушуев, И.Г. Воронов, А.С. Гинзбург, В.П. Горячкин, А.Р. Демидов, В.М. Дринча, П.А. Емельянов, В.А. Жилкин, П.М. Заика, А.Н. Карпенко, Ф. Кик, В.Л. Кирпичев, В.В. Коновалов, О. Кришер, А.И. Купреенко, П.Д. Лебедев, М.Н. Летошнев, М.Ю. Лурье, А.В. Лыков, А.Я. Малис, С.В. Мельников, Р. Молье, П.А. Ребиндер, Б.Г. Турбин, Г.К. Филоненко и многие другие отечественные и зарубежные ученые.

Решению проблемы повышения эффективности заготовки перги посвящены работы: П.В. Бибикова, Л.К. Бондаря, В.И. Бронникова, К.В. Буренина, Н.В. Бышова, С.В. Винокурова, А.А. Григоряна, Ю.В. Донченко, И.А. Дудова, Д.Е. Каширина, Ю.Н. Кирьянова, М.В. Коваленко, Е.К. Космовича, М.Ю. Костенко, В.И. Курдюмова, А.А. Курочкина, А.В. Ларина, В.Д. Левина, С.Н. Ладутько, Г.Д. Мохнаткина, В.Ф. Некрашевича, В.К. Пестиса, С.А. Стройкова, Т.В. Торженовой, В.Д. Хмырова и других.

Несмотря на большое количество научных исследований, технических решений механизации получения перги, эффективности использования энергетических ресурсов в настоящее время ряд задач остаются не решёнными.

Работа выполнена в соответствии с планами НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011-2015 гг. по теме «Совершенствование энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. рег. 01201174434) и НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и

технического сервиса в сельскохозяйственном производстве (№ гос. рег. АААА-А16-116060910025-5).

Кроме того, часть исследований проводилась в рамках работы лаборатории «Инновационных энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в растениеводстве и животноводстве» ФГБОУ ВО РГАТУ по заданию Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2011 году.

Цель исследований. Теоретическо-экспериментальное обоснование машин для получения перги повышающих качество продукции.

Задачи исследований:

1. Провести анализ способов и технических средств получения перги из пчелиных сотов.
2. Исследовать свойства пчелиных сотов, воскового сырья и перги для обоснования технологических требований к машинам.
3. Теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-технологические схемы, параметры и режимы работы машины для получения перги из пчелиных сотов.
4. Осуществить проверку работы машин для получения перги из пчелиных сотов в производственных условиях и оценить технико-экономическую эффективность их работы.

Объект исследований – технологические процессы машин для получения перги из пчелиных сотов, включающие центробежную скарификацию сотов, центробежное выделение воскоперговой массы из сотов и её охлаждение, измельчение воскоперговой массы с разделением пневмосепарированием на восковое сырьё и пергу и её досушивание.

Предмет исследований – закономерности технологических процессов машин для получения перги из пчелиных сотов.

Научная новизна диссертационной работы заключается: в теоретических и экспериментальных зависимостях обоснования конструктивно-технологических схем, параметров и режимов работы машин

для получения перги из пчелиных сотов, выполняющих центробежную скарификацию сотов, центробежное выделение воскоперговой массы из сотов и её охлаждение, измельчение воскоперговой массы с разделением пневмосепарированием на восковое сырьё и пергу и её досушивание.

Техническая новизна предложенных решений подтверждена 10 патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что предложенные математические зависимости позволяют производить расчёт параметров и режимов работы машин для центробежной скарификации сотов, выделения воскоперговой массы из сотов, её охлаждения, измельчения и разделения на восковое сырьё и гранулы перги, досушки гранул перги.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют проектным и конструкторским организациям разрабатывать оборудование для получения перги из пчелиных сотов, а пчеловодческим организациям эффективно использовать их в производственной деятельности.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических исследований применены законы математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов. При выполнении экспериментальных исследований использовались общеизвестные и разработанные на их базе частные методики. Для измерения и контроля параметров машин применялись современные механические и электронные приборы, установки, а также разработанные специально.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование требований к машинам на основе анализа способов и технических средств получения перги из пчелиных сотов и исследования свойств пчелиных сотов, воскового сырья и перги.

2. Результаты теоретического и экспериментального обоснования конструктивно-технологических схем, параметров и режимов работ машин

для получения перги из пчелиных сотов, выполняющих центробежную скарификацию сотов, центробежное выделение воскоперговой массы из сотов и её охлаждение, измельчение воскоперговой массы с разделением пневмосепарированием на восковое сырье и пергу и её досушивание.

3. Результаты испытаний и оценки технико-экономического эффекта применения машин для получения перги из пчелиных сотов в производственных условиях.

Вклад автора. Научные исследования были проведены автором работы лично или с его непосредственным участием, что включало: обзор существующих технологий, средств механизации производственных процессов получения перги и их анализ, постановку проблемы, целей и задач исследований, выдвижение научной гипотезы, теоретическое и экспериментальное обоснование конструктивно-технологических схем машин для получения перги из пчелиных сотов, разработку и изготовление лабораторных установок и производственных образцов машин, обработку и интерпретацию полученных результатов, оценку технико-экономического эффекта внедрения машин для получения перги из пчелиных сотов в производство, написание научных статей.

Реализация результатов исследований. Технология и машины для получения перги из пчелиных сотов внедрены и прошли испытания в пчеловодческих хозяйствах РФ и ближнего зарубежья. Согласно постановлению бюро секции механизации, электрификации и автоматизации Российской академии сельскохозяйственных наук от 18 декабря 2008 года технология и машины для получения перги из пчелиных сотов включены в систему машин по механизации пчеловодства.

ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации агротехнического обслуживания сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» (г. Рязань) и ООО Агротехнопарк «АВИК» (г. Луховицы Московской области) по

предоставленной конструкторской документации наладили промышленный выпуск разработанного оборудования.

Оборудование для получения перги из пчелиных сотов используются в хозяйствах многих субъектов Российской Федерации, Белоруссии, Украины.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных положений подтверждается достаточным количеством теоретических и экспериментальных исследований, схождением их результатов, обеспечена применением современных методик, сертифицированного научного оборудования и статистической обработки экспериментальных данных в программах для ПЭВМ: Microsoft Excel 2007, Statistica 6.0, Mathcad 14.0.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на национальных, всероссийских и международных научно-практических конференциях: Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева (г. Рязань, 2005...2017 гг.); Международная промышленная академия (г. Москва, 2010 г.); ФГОУ "Академия пчеловодства (г. Рыбное, 2008...2010 г.), ФГБНУ «НИИ пчеловодства» (г.Рыбное, 2005–2016 гг.); III Международный форум пчеловодов «Медовый мир» (г. Ярославль, 2012 г.); СМООП Бортник и лаборатория пчеловодства Национальной Академии Наук Белоруссии (г. Солигорск, 2012 г.), конференция-форум «Пчела и человек» (г.Москва, 2014...2016 гг.); Мордовского ГУ им. Н.П. Огарева (г. Саранск, 2012 г.); Алтайского ГАУ (г. Барнаул, 2014 г.); Белгородского ГАУ (г. Белгород, 2015 г.); Пензенской ГСХА (г. Пенза, 2015 г.); Донской ГАУ (пос. Персиановский, 2016 г.).

Технология и машины для получения перги из пчелиных сотов были удостоены: на VI Московском международном салоне инноваций и инвестиций золотой медали (г. Москва, ВВЦ, 2006 г.); на 40-ом международном конгрессе “Апимондия” серебряной медали (г. Мельбурн (Австралия), 2007) и поощрены дипломами и грамотами ряда других организаций.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 57 печатных работах, в том числе 21 опубликована в журналах, включённых в перечень ВАК Минобрнауки РФ, в 2 научных монографиях, 10 патентах РФ на изобретения и полезные модели. Общий объем публикаций по теме диссертационной работы составил 27,53 п.л., соискателю из них принадлежит 19,15 п.л.

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 247 источников и приложений. Работа имеет 300 страниц основного текста, содержит 128 рисунков и 13 таблиц.

Автор выражает слова искренней благодарности научному консультанту заслуженному деятелю науки и техники РФ, профессору Некрашевичу Владимиру Фёдоровичу за оказанную помощь в подготовке диссертационной работы, а также благодарит Буренина Кирилла Викторовича, Лёвина Владимира Дмитриевича, Костенко Михаила Юрьевича, Коваленко Михаила Валерьевича за помощь, оказанную при выполнении научных изысканий отдельных разделов работы.

1. Анализ способов и средств производства перги

1.1. Перга и её использование в народном хозяйстве

Пчеловодство является одной из важных отраслей сельскохозяйственного производства. Система производства продукции пчеловодства представлена на рисунке 1.1 [38].



Рисунок 1.1 – Система производства продукции пчеловодства

В народном хозяйстве страны значение пчеловодства обусловлено получением таких продуктов как прополис, мед, пчелиный яд, воск, пыльцевая обножка, перга и другие, а также применением пчел для опыления

сельскохозяйственных растений и улучшении качества плодов семян [32, 47, 50, 54, 70, 72, 83, 167, 212, 236].

Окружающая среда привлекает пчел сладким нектаром и пыльцой цветков растений, которые пчелиная семья использует в качестве углеводного и белкового корма. Пыльцу в улье пчелы превращают в пергу [19, 42]. Пчелы начинают собирать цветочную пыльцу сразу после весеннего облета и заканчивают поздней осенью, когда погода не позволяет им вылетать из своих жилищ. При облете цветков растений к волосяному покрову пчелы прикрепляется великое множество пыльцевых зерен. Чтобы удобнее было нести пыльцу, пчела здесь же, в цветке или в воздухе при полете, вычесывает ее специальными щеточками ног и складывает в специальные корзиночки в виде комочков, добавляя для склеивания зерен секрет слюнных желез [31]. Такая ноша называется обножкой. В каждом комочке обножки до 5 млн. пыльцевых зерен [19].

Одна часть обножки используется сразу молодыми особями, которые продуцируют личиночный корм [18, 21]. Другую часть пыльцы пчелы-сборщицы складывают в ячейки впрок, расположенные выше и сбоку расплода. Обножки плотно утрамбовываются пчелами и обрабатываются ферментами желез. Затем ячейка сверху заливаются медом и запечатываются. Под воздействием бактерий, грибов и микроорганизмов обножка подвергается молочнокислой ферментации, а через 15 дней цветочная пыльца полностью трансформируется в пергу - необходимый белковый корм для зимне-весеннего периода [45, 217]. Такая надежная консервация обеспечивает длительное хранение этого скоропортящегося продукта [14, 16, 245].

Многие исследователи рассматривают пыльцу как природное сырье, а пергу — как высококачественный продукт, приготовленный пчелами из сырья [13, 72, 119, 154, 163, 218].

Перга в организме пчёл переваривается гораздо полнее пыльцевых зерен, способна длительно храниться в сотах без потери питательных веществ и противомикробной активности [139, 163, 219].

J. Masanek отмечает высокую роль перги в стимуляции и усилении деятельности слюнных желез [244].

Для увеличения сбора меда и выхода воска пчелы к весне должны быть обеспечены пергой [108, 220, 225, 237]. Пчелиные семьи с значительным запасом перги весной больше выращивают расплода и к главному медосбору имеют большую численность. При дефиците в гнезде перги клуб пчел раньше разрыхляется [107, 221]. При нехватке белкового корма в семье появляются мелкие пчелы с недоразвитым жировым телом и восковыми железами. Появление у пчел инфекционных болезней так же связывают с нехваткой белкового корма [18, 50, 163].

Перга содержит значительное количество различных витаминов и незаменимых аминокислот [58, 64, 115, 232]. В перге много сырого протеина, липидов и каротиноидов [163].

В 100 граммах перги содержится до 200 мг витамина С и до 170 мг витамина Е [163].

Содержание витаминов группы В и инозита в перге во много раз больше чем в других продуктах.

Минеральный состав перги обнаружено более 20 химических элементов, в том числе магний, калий, фосфор, кальций и другие [89, 242, 243, 246].

В перге содержится больше чем в обножке редуцирующих сахаров. До 35 % химического состава перги углеводы, которые попадают в неё в виде меда и нектара во время её приготовления пчелами [49].

При кормлении пергой жизнь пчел удлиняется, а изношенные ткани восстанавливаются быстрее. Пчелам перга нужна для развития поведенческих и нормальных физиологических процессов. Без перги железы перестают выделять маточное молочко и воск.

Обладая уникальным химическим составом, перга нашла применение в медицине, в пищевой, косметической и витаминной промышленности [24, 32, 229, 234, 241].

Перга не вызывает аллергических реакций организма, атак же не бывает токсичной [163].

Она широко применяется в качестве пищевой добавки в кормлении людей, а также при производстве кондитерских и диетических продуктов питания.

Перга рекомендуется для профилактики весенней усталости, при повышенных физических и умственных нагрузках.

При употреблении перги улучшается память, стимулируется умственная деятельность, снижается нервное напряжение, повышается жизненный тонус и мышечная сила [72].

Комплекс питательных веществ, витаминов и различных микроэлементов в перге позволил использовать пергу для лечения заболеваний у людей [89, 169]. Медициной установлено, что употребление перги в смеси с медом или в чистом виде приводит к увеличению количество эритроцитов и гемоглобина в крови людей страдающих анемией [17, 139, 163].

Прием перги людьми перенёсшими инфекционные заболевания приводит к быстрому восстановлению веса и аппетит.

Особенно перга необходима при лечении малокровия, частичной потери зрения, укрепления организма детей и пожилых людей [228]. При систематическом её употреблении оказывает общее стимулирующее действие на внутренние органы человека [230].

Множество положительных результатов применения перги в апитерпии [13, 24, 32, 42, 169, 224, 230, 237, 247] дают возможность говорить о том, что перга способствует лечению заболеваний печени, желудочно-кишечного тракта, атеросклероза, сердечнососудистой системы; почек; анемии; нарушений эндокринной системы и психических расстройств.

На основе обножки и перги в Российской Федерации выпускается ряд лекарственных препаратов: «Шифа», «Полянка», «Энергин», «Тонус», «Радуга» и другие [106, 163, 163, 174].

Совсем недавно разработан препарат "ВИНИБИС на основе перги и других продуктов пчеловодства, который выпускается в Республике Татарстан на ЗАО РИПЦ "Семруг". Он обладает мощным иммуностимулирующим действием на организм человека и включен в программу оздоровления татарского народа [114, 175].

Во многих зарубежных странах, также выпускается целый ряд аналогичных препаратов. Так, в Румынии изготавливается "Витакс" (пыльца, перга, мед, маточное молочко) рекомендуется при болезнях печени, пищеварения, нервной системы.

В Германии выпускается "Виненброт" (перга) и пергу используют в качестве сырья при промышленном получении витамина А (в перге витамина А в 20 раз больше, чем в моркови) [163].

Таким образом, перга является ценнейшим продуктом пчеловодства, которую можно употреблять как биологически активную добавку для профилактики заболеваний человека, так и в качестве сырья для приготовления различных лекарственных препаратов.

1.2. Заготовка пчелиных сотов и требования к ним

На практике заготовку пыльцы растений осуществляют тремя способами [50, 106, 163]:

- заготовка ручным способом людьми;
- сбор пыльцевой обножки при помощи пчел;
- отбор у пчел сотов с пергой.

Сбор пыльцы с энтомофильных растений людьми без участия пчел имеет ряд недостатков: пыльца собирается, как правило, с одного вида

растений и является монофлорной; приводит к повреждению растений; трудоемкость процесса сбора высока при небольших объемах производства.

Таким образом, сбор пыльцы без участия пчел может применяться только для специальных целей.

Заготовка пыльцы растений с помощью пчел в виде обножки носит сезонный характер и имеет недостатки [1, 19, 111, 163]: уменьшает продолжительность жизни пчел и сдерживает развитие семьи; снижает объем собираемого нектара и производимого из него меда; повышается ройливость; требует консервацию обножки сразу после отбора у пчел; требует консервации и стерилизации продукта после отбора у пчел.

Заготовка пыльцы растений в виде перги исключает недостатки других способов, может быть полностью механизирована с использованием промышленных методов и масштабов производства [106]. При этом чистота готового продукта достигает 98,6%, что соответствует требованиям стандартизации [37].

Пчелы, как правило, заготавливают пергу в сотах гнездового корпуса. Соты в промышленном пчеловодстве представляют собой деревянную рамку с закрепленными внутри сотовой восковой основой и стальной армирующей проволокой [57]. Ячейки восковой основы сота могут быть заполнены пергой, медом или расплодом пчел. Хороший пчелиный сот, предназначенный для извлечения перги, должен содержать в своих ячейках только пергу и мед, и заполнен с двух сторон [238].

Из ульев пчелиные соты отбирают:

- весной, когда пчелы начали интенсивно носить обножку, а старые соты с пергой необходимо удалить из улья;
- при специализированной заготовке в летний период;
- при осеннем формировании пчелиных семей на зимовку.

По технологии содержания пчелиной семьи необходимо производить замену сотов не реже одного раза за три года. При этом в год от пчелиной семьи можно отбирать до 3-4 сотов с пергой [139].

Перерабатываемые пчелиные соты должны отвечать следующим требованиям [163]:

- на перге и восковой основе не должно быть плесневых грибов;
- для получения чистых гранул перги на поверхности сота и в его ячейках не должно быть меда;
- сот не должен иметь загрязнений (расплод пчел, механические примеси и т. д.) и посторонних запахов.

Чаще всего соты заполненные пергой сверху залиты медом. Для переработки таких сотов на пергу его нужно осушить от остатков мёда.

Если большая часть сота заполнена мёдом, то мёдовые ячейки распечатывают, а мед откачивают на медогонках.

Соты с небольшим содержанием меда и соты с откаченным медом на медогонках необходимо осушить с применением самих пчел, так как они полностью выбирают его из сота. Центробежный и вакуумный способы извлечения меда не дают такую высокую степень очистки от меда как пчелы. Для осушки сотов самими пчелами их необходимо на расстоянии 100...200 м от пасеки под навесом. Если интенсивность посещения места осушки пчелами снизилось, то это говорит о том, что соты осушены. Если после осушения сотов пчелами их не убрать в хранилище, то перга в сотах может быть съедена или разрушена осами.

Для исключения переноса заболеваний пчелами нужно проводить осушение сотов от меда в том же улье, где они были отобраны. Для этого соты устанавливают за диафрагму в гнездовой корпус на два, три дня. В этом случае через соты можно убирать из улья. Перед постановкой сотов на осушку необходимо внимательно просмотреть их с обеих сторон и проколоть крышечки нераспечатанных медовых ячеек.

Для зимовки пчелиной семье оставляют более двух килограмм перги, содержащих 2-3 сотах. Из гнезда удаляют соты с большим заполнением пергой. На складе оставляют соты, содержащие более 0,5 кг перги, для резервирования на весенний период. Все соты, оставшиеся после

резервирования и соответствующие требованиям, отправляют на переработку.

Хранить пергу в сотах нужно при температуре 0...15 °С и относительной влажности воздуха не выше 60 %.

Для перевозки сотов с пасек чаще всего используются автомобили повышенной проходимости. Чаще всего пасеки находятся в труднодоступных местах, поэтому применение таких автомобилей оправдано.

Перевозить пчелиные соты лучше в ульевых корпусах или специальных плотно закрываемых контейнерах, а также в полиэтиленовых мешках или картонных коробках.

Для предотвращения порчи пчелиных сотов молью необходимо нагреть соты до 53-55 °С с выдержкой примерно 30 минут, а затем продуть окружающим воздухом для охлаждения. Осциллирующая сушка в течение 5 часов вызывает гибель личинок моли. Одновременно происходит подсушивание перги в сотах, что уменьшает риск появления плесневых грибов в сотах [33, 34].

Таким образом, операции отбора пчелиных сотов из ульев, осушение от мёда и их хранение до переработки в технологии заготовки перговых сотов являются очень важными, так как от них зависит величина выхода перги и её качество.

1.3. Анализ способов заготовки перги

Прежде, чем появились полностью механизированные линии по извлечению перги из пчелиных сотов в РФ были предприняты попытки на ряде пчелопасек и в промышленных цехах извлекать её с использованием различных приспособлений. При этом детально изучались вопросы биологии развития пчелиных семей с тем, чтобы отбор сотов не оказывал

отрицательного влияния на их жизнедеятельность, активность в весенне-летний период и продуктивность получения других продуктов отрасли.

Эти вопросы в настоящее время достаточно изучены и разработаны. Имеется ряд научных рекомендаций ГНУ НИИ пчеловодства Россельхозакадемии и других организаций, посвященных различным технологиям получения перги [82].

В результате анализа способов заготовки перги нами была предложена их классификация, представленная на рисунке 1.2 [105, 163].

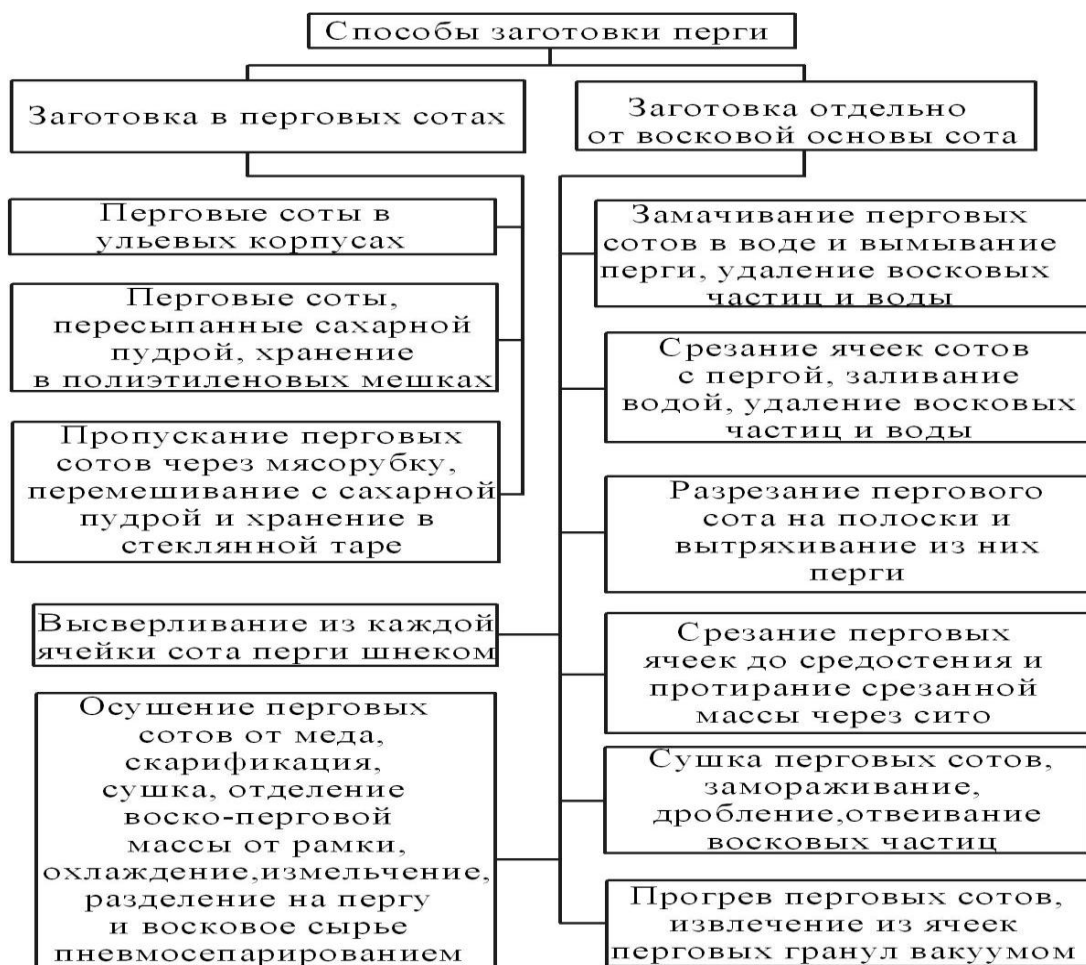


Рисунок 1.2 – Схема классификации способов заготовки перги
(по В.Ф. Некрашевичу, Р.А. Мамонову, Т.В. Торженовой)

Заготовку перги на практике осуществляют двумя наиболее распространенными способами:

- в пчелиных сотах;

- перга отдельно от восковой основы сота [2, 3, 5, 10, 174, 177, 182, 184, 185 и др.].

При заготовке сотов с пергой существует высокая вероятность их порчи восковой молью и при несоблюдении режимов хранения заплесневения перги [109]. Для предотвращения порчи сотов с пергой их консервируют пересыпанием сахарной пудрой в полиэтиленовых пакетах или заливанием медом кусков сотов, заполненных пергой [163].

Эти методы консервации является наиболее доступными для пчеловодов, но не позволяют осуществлять заготовку перги в больших объемах и использовать её как сырье для перерабатывающей промышленности.

Перга, извлеченная из пчелиных сотов, на рынке России пользуется большим спросом, чем соты, залитые медом или пересыпанные сахарной пудрой.

Для извлечения перги из сотов некоторые авторы предлагают механически разрушать восковую структуру сотов и в дальнейшем выделять пергу за счет растворения её в воде [163].

И.Д. Бойко предлагает перекручивать пчелиные соты через мясорубку и полученную массу консервировать медом или сахарной пудрой. Такая смесь может храниться в герметичных банках несколько месяцев. Однако экскременты личинок пчел, остающиеся в сотах, попадают в пергу и загрязняют её [21].

Другие авторы предлагают заливать водой срезанные ячейки с пергой и удалять восковую основу сотов после её всплывания. Однако в перге снижается количества ценных водорастворимых веществ.

Ряд авторов [163] рекомендует срезать ячейки с пергой до средостения и далее полученную массу протирать через сито. Такое воздействие на сот приводит к частичному разрушению гранул перги.

В.К. Космович [68] сначала сушил перговые соты, после придавал восковой основе хрупкость, охлаждая её в течение 40 минут при температуре – 3..4 °С. Затем перетирал их до полного разрушения воска. Просеиванием через сито полученного вороха отделял частички перги от воска. После

отбирал пергу в восковых оболочках, и после сушки перги производил их очистку. Однако при повторной очистке, гранулы перги переизмельчаются.

Гранулы перги можно извлекать отдельно из каждой восковой ячейки сота [4, 7]. Для этого восковую основу сота подогревают, уменьшая тем самым силы сцепления гранул перги с восковыми ячейками. Затем под действием вакуума или механических приспособлений осуществляется изъятие гранул из каждой ячейки.

И.А. Дудов и Ю.В. Донченко предлагают увлажнять и прогревать соты паром, после чего специальным устройством, подключенного к вакуумному насосу, извлекать гранулы перги из каждой ячейки [4, 163].

И.В. Бибилов и Л.К. Бондарь изготовили устройство, которое высверливает пергу из каждой ячейки сота шнеком [7, 163].

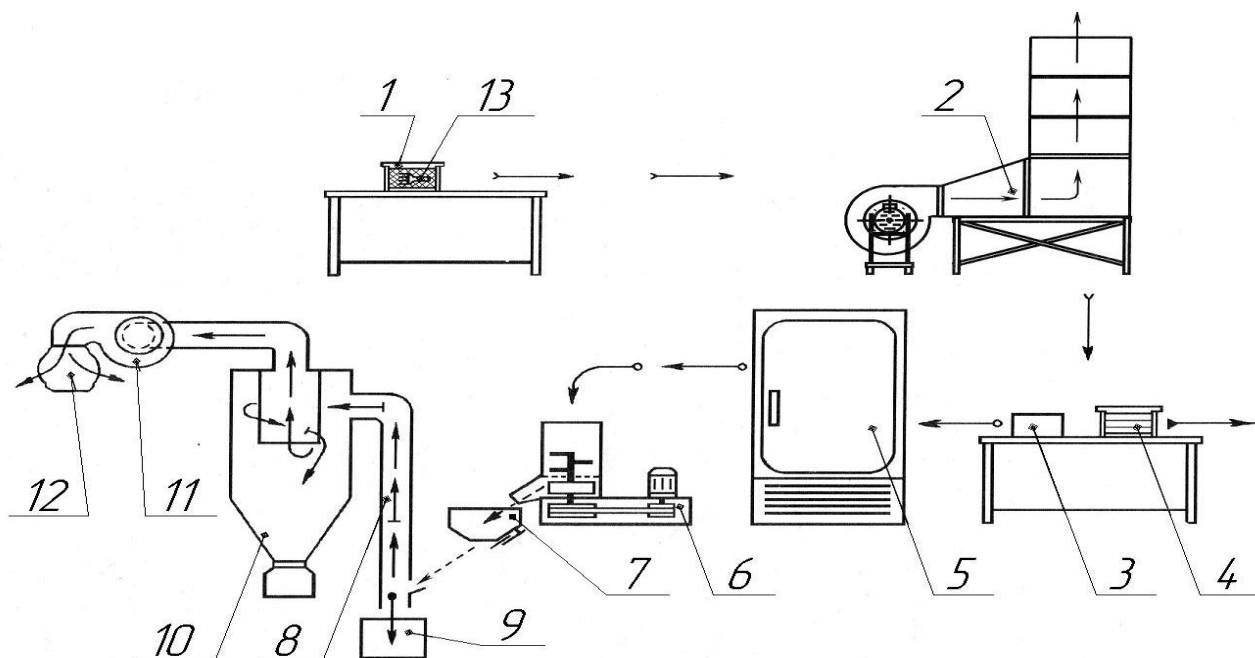
Анализ рассмотренных способов заготовки перги выявил их основные недостатки [163]: нагрев перги выше 45 °С приводит к разрушению питательных веществ и снижению ценности продукта; воздействие пара на пергу может привести к росту бактерий и её порче; свойства извлекаемой перги не всегда позволяют свободно перемещаться ей по трубопроводу; низкая производительность и высокая трудоемкость процесса.

Рассмотренные способы извлечения перги предполагают применение трудоемких ручных операций, что делает эти способы не эффективными при переработке больших объемов пчелиных сотов на пергу.

В пчеловодной практике широкое применение получила технология, предложенная сотрудниками Рязанского СХИ В.Ф. Некрашевичем, В.И. Бронниковым и НИИ пчеловодства С.А. Стройковым [131].

Переработка пчелиных сотов по этой технологии предполагает выполнение операций в следующей последовательности: осушение пчелами сотов от меда; скарификацию поверхности сотов; сушку сотов с пергой; отделение кусков сота с пергой от деревянной рамки; охлаждение восковой основы выделенных кусков; их измельчение; разделение на пергу и восковое сырье (рис. 1.3).

Выделение перги из сотов проходит следующим образом. Сначала скарификатором 13 прорезают поверхностный слой перговых гранул. Для получения конечной влажности перги 14...15% пергу в сотах сушат при температуре теплоносителя 40...42°C в сушилке 2.



1 – сот пчелиный; 2 – сушилка перги; 3 – кусок сота с пергой; 4 – деревянная рамка сота; 5 – установка холодильная; 6 – измельчитель сотов; 7 – питатель; 8 – канал аспирационный; 9 – бункер готовой продукции; 10 – циклон; 11 – вентилятор; 12 – фильтр; 13 – скарификатор игольчатый.

Рисунок 1.3 – Схема технологического процесса переработки сотов на пергу

При сушке вентилятор засасывает воздух через электронагреватель и подает его в ульевые корпуса с сотами. Проходя через соты, воздух насыщается влагой и выбрасывается наружу. Затем от деревянной рамки 4 отделяют куски сота с пергой 3 и охлаждают в камере холодильной установки 5 до температуры 0°C. Затем куски сота с хрупкой восковой основой разрушают в измельчителе 6, а полученные продукты измельчения разделяют пневмосепарированием на пергу и восковое сырье. Восковое

сырье оседает в циклоне 10 и фильтре 12. Очищенные гранулы перги падают в бункер готовой продукции 9 [163].

Анализ этой технологии показал, что часть технологических операций не механизированы и требуют дальнейшего совершенствования, с целью повышения производительности и снижения затрат труда и энергии.

1.4. Анализ технических средств заготовки перги

1.4.1. Анализ способов скарификации пчелиных сотов и технических средств

Сушка перги в сотах является одной из важнейших операций в технологии переработки перговых сотов. Важно, чтобы в процессе сушки были сохранены биологические и физико-химические свойства перги. Пергу в сотах необходимо высушивать до определенной влажности. По многим упоминаниям в литературе это – 14...15%. Пересушенная перга является непригодной для питания пчел, и увеличивается ее крошимость. При более высоком содержании влаги существенно увеличивается липкость перги, что ведет к налипанию перги на рабочие органы машин и механизмов [124, 154].

Среди многообразия способов сушки наибольшее применение получила конвективная сушка перги [163].

Рассматривая технические средства, используемые при конвективном способе сушки, необходимо отметить, что в качестве подготовительной операции, непосредственно предшествующей самому процессу сушки перги в сотах, часто применяют скарификацию.

Операцию скарификации в медицине проводят для введения лекарственных препаратов в организм человека через разрезанную поверхность кожи, в растениеводстве для ускорения процесса прорастания семян при повреждении их защитной оболочки [146]. Медовые соты

скарифицируют с целью откачки меда на медогонках, как правило, срезанием крышек с ячеек, заполненных медом.

Пчелы заготавливают пергу в герметичных восковых ячейках сотов. Верхний слой гранул перги пропитан медом, поэтому перга долго может храниться без потери своих питательных веществ. Сушка таких сотов длится очень долго. Это связано с медленно протекающими процессами обмена теплоты и влаги при сушке.

Операция скарификации позволяет существенно уменьшить время сушки перговых сотов, тем самым снизить удельные затраты энергии на процесс.

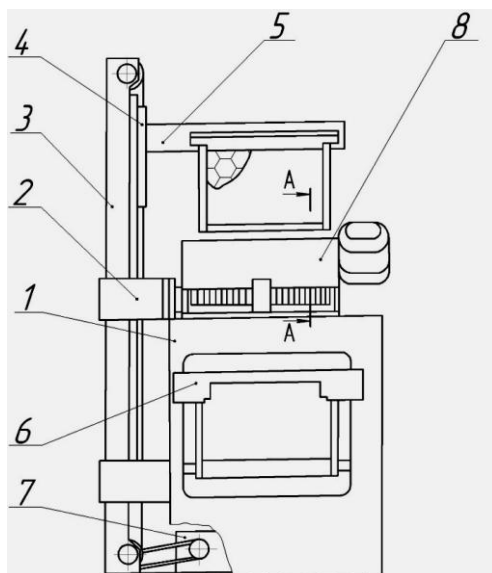
Некоторые исследователи предлагают проводить операцию скарификации сотов прорезанием или прокалыванием поверхностного слоя гранул перги.

Существует способ, когда поверхностный слой гранул срезают ножами. Для его осуществления применяют обычные ножи или обогреваемые паром и электричеством. Этот способ скарификации можно осуществить на установке для срезания забруса сотов (рис. 1.4) [6, 163].

Установка состоит из корпуса 1 на котором закреплена стойка 3 для перемещения механизма 5 проталкивания сотов. Посередине стойки 3 закреплен держатель 2 с приводом вибрационных ножей 8.

При перемещении сота механизмом проталкивания 5 через вибрационные ножи, размещенные на держателе 2, происходит срезание забруса сота. После скарификации сот подается на кронштейн 6, откуда удаляется из установки.

Этот способ малоэффективен, так как гранулы перги в соте имеют разную длину и располагаются по обе стороны от средостения, то при скарификации у длинных гранул крышечки срезаются вместе с частью гранулы, а у коротких - вообще не срезаются. При этом идет частичная потеря перги, а пчелиный сот не полностью скарифицируется.

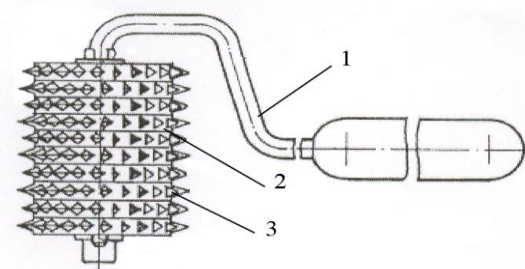
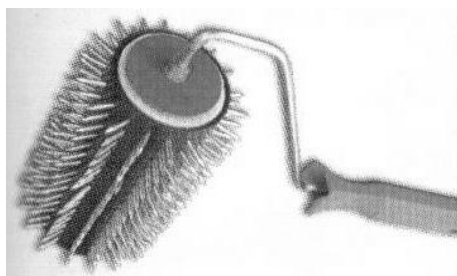


1 – корпус установки; 2 – держатель механизма скарификации; 3 – стойка; 4 – тележка; 5 – механизм проталкивания; 6 – кронштейн; 7 – электропривод механизма проталкивания; 8 – привод вибрационного ножа.

Рисунок 1.4 – Установка для срезания забруса сотов

Способы скарификации, при которых не происходит срезание части гранул перги, являются наиболее предпочтительными. К таким способам можно отнести прокалывание и процарапывание. Они позволяют увеличить выход перги при её извлечении из сотов.

Для этого применяют ручные дисковые или игольчатые катки (рис. 1.5) [163]. В результате прокатывания катков по поверхности пчелиного сота, на крышках ячеек с пергой образуются бороздки или отверстия, через которые ускоряется испарение влаги из перговых гранул. Желательно, чтобы прорезание и прокалывание крышек производилось по их центру.



1 – рукоятка; 2 – каток; 3 – иглы.

Рисунок 1.5 – Устройство для прокалывания

Устройство для процарапывания пчелиных сотов представлено на рисунке 1.6. Оно представляет собой держатель с расположенными в один ряд стальными иглами. Расстояние между двумя смежными иглами 4...4,5 мм, поэтому поверхностный слой каждой гранулы перги прорезается.

Процарапывание можно производить как в одном направлении, так и в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Скарификация в двух направлениях позволяет значительно снизить время сушки [163].

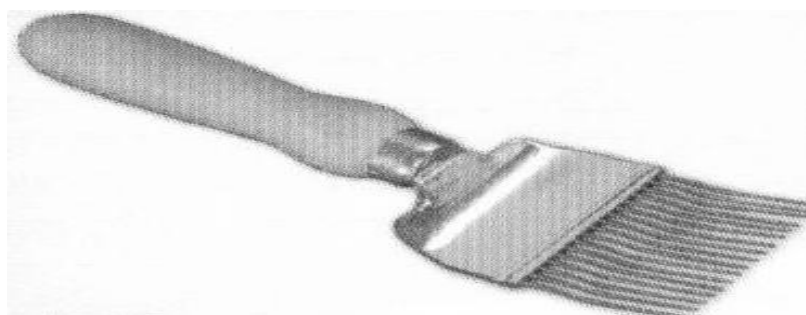
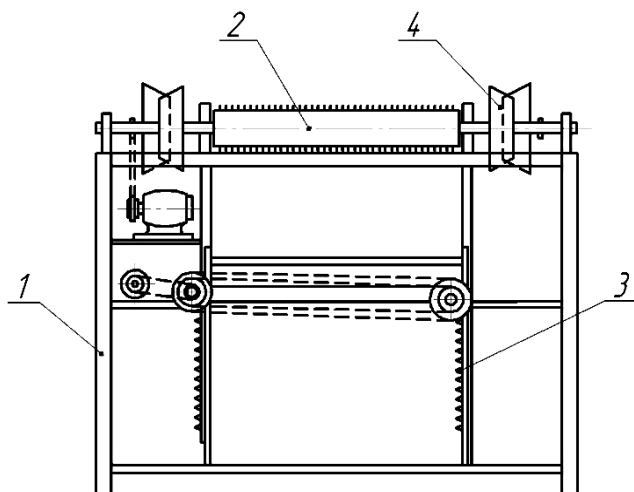


Рисунок 1.6 – Устройство для ручного процарапывания перговых сотов

При прорезании или процарапывании прочность гранул перги уменьшается, что приводит к крошению гранул перги в измельчителе и снижению их выхода при сепарации восковой основы. Этот способ находит большее распространение у пчеловодов-любителей потому, что применить процарапывание проще и менее трудоемко, чем прокалывание.

Установка для скарификации сотов процарапыванием представлена на рисунке 1.7[8, 139, 163]. На раме 1 закреплен механизм подъема и опускания сотов 3 и два игольчатых барабана 2. Для привода роторов имеется фрикционный вариатор 4. При перемещении механизма подъема и опускания 3 сот попадает в зазор между вращающимися игольчатыми барабанами, которые царапают его. Для изменения глубины царапин игольчатые барабаны приближают или удаляют друг от друга.

К недостаткам этого устройства можно отнести то, что часть ячеек остается без обработки из-за деревянной рамки сота, которая не дает процарапывать крайние ряды ячеек, и разной высоты гранул перги.

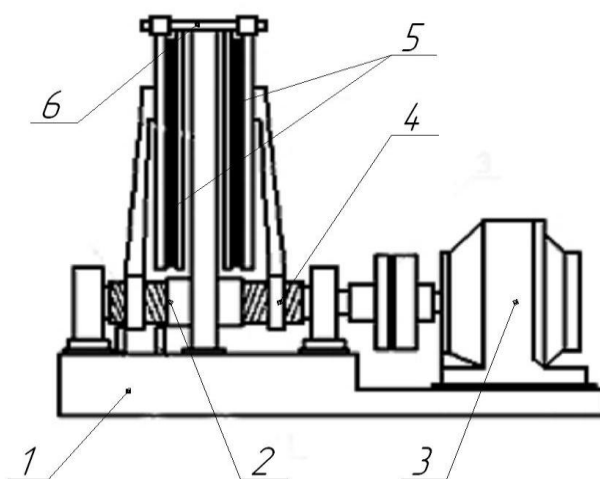


1 – рама; 2 – игольчатый барабан; 3 – механизм подъема и опускания сотов; 4 – привод.

Рисунок 1.7 – Установка для процарапывания сотов

Для устранения ряда недостатков ручных скарификаторов разработана установка для скарификации пчелиных сотов прокалыванием (рис. 1.8) [81, 139, 163, 181].

Установка состоит из рамы 1, на которой установлен вал 2 с левой и правой нарезкой винта, приводимый во вращение от электропривода 3. На винтовых участках вала установлены рычаги 4 для перемещения игольчатых пластин 5. Игольчатые пластины перемещаются по направляющим 6.



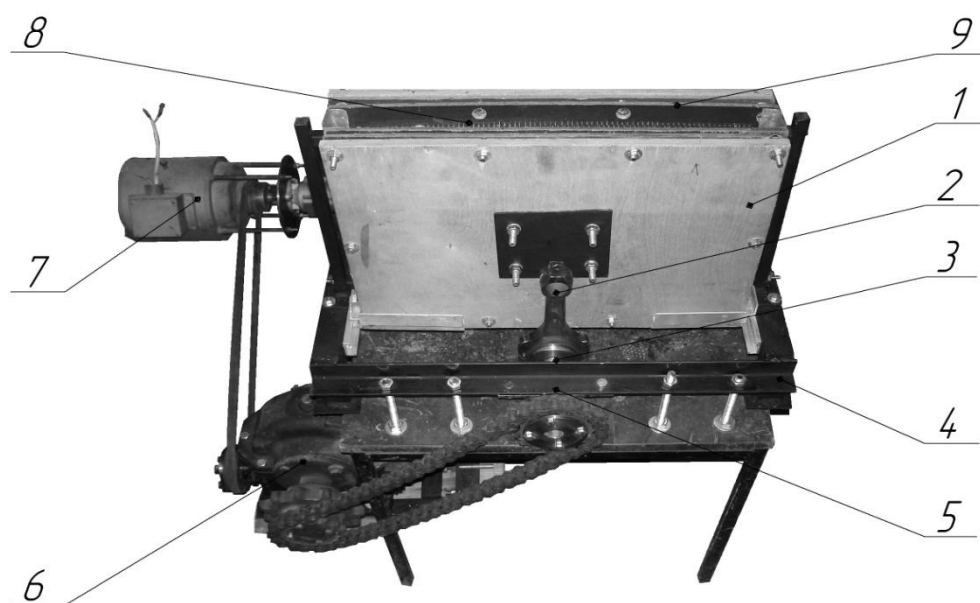
1 – рама; 2 – вал; 3 – электропривод; 4 – рычаг; 5 – игольчатые пластины; 6 – направляющая.

Рисунок 1.8 – Схема установки для прокалывания сотов

Пчелиный сот вручную устанавливают в середину установки между игольчатыми пластинами 5, где он висит на направляющих. При включении электропривода 3 винтовой вал 2 начинает вращаться. При этом начинает перемещать рычаги 4 с игольчатыми пластинами 5 навстречу друг другу. Иглы протыкают ячейки сота на определенную глубину и при реверсировании электропривода расходятся в противоположные стороны. После остановки электропривода сот заменяется на следующий.

Недостатком данного способа скарификации является то, что гранулы перги имеют разную длину и поверхностный слой перговых гранул в разных ячейках находится на разном уровне, поэтому в одних гранулах иглы прокалывают поверхностный слой, а в других либо вообще не прокалывают, либо прокалывают слишком глубоко. Это приводит к деформации части гранул и при дальнейшей сушке гранулы перги имеют разную влажность, а также к их разрушению при измельчении.

Общий вид установки для прокалывания пчелиных сотов представлен на рисунке 1.9.



1 – игольчатая пластина; 2 – рычаг; 3 – рабочий вал; 4 – рама; 5 – цепная передача; 6 – червячный редуктор, 7 – двигатель; 8 – иглы; 9 – чистящая пластина.

Рисунок 1.9 – Общий вид для прокалывания сотов

В результате анализа существующих способов и средств скарификации поверхности пчелиного сота были выявлены основные недостатки:

- для прокалывания и прорезания гранул перги к рабочим органам машин необходимо прикладывать большие усилия;
- существующие способы не обеспечивают равномерной скарификации всех ячеек с пергой;
- механическое воздействие на гранулы перги в соте приводит к их крошению при извлечении из сота;
- дополнительные затраты труда на очистку рабочих органов установок от налипшего воска и перги;
- высокая трудоемкость процесса.

1.4.2. Анализ способов и технических средств сушки перги

Операция сушки является одной из важнейших операций в технологии производства перги, от которой во многом зависят качество производимой продукции и затраты энергии. При снижении влажности перги до 14-15 % её липкость становится минимальной и она не налипает на рабочие органы измельчителя и сепаратора.

Сушка должна осуществляться в условиях, предотвращающих возникновение в данном продукте необратимых изменений. Эти изменения в большей мере связаны с процессами денатурации белков и инактивации ферментов, обусловленными нагревом перги в ходе сушки.

Для обработки продуктов растительного происхождения на практике применяют следующие способы тепловой сушки: конвективный, кондуктивный, радиационный, электрический (токами высокой частоты), вакуумный и молекулярный (сублимацией) [15, 39, 40, 79, 86, 87, 214, 227].

В литературе описано несколько способов сушки, которые наиболее приемлемы для сушки перги: естественный [15, 139], конвективный [34, 35, 41, 55, 59, 88, 106, 194, 233] и вакуумный [2, 99, 163].

Другие способы не могут быть рекомендованы или использованы для сушки перги в сотах по разным причинам.

Так, сублимационная сушка, то есть сушка в глубоком вакууме в замороженном состоянии, не может быть использована для сушки перги, так как в замороженной перге, подвергшейся воздействию отрицательных температур, происходит разрушение витаминов и других биологически активных веществ. Оборудование сублимационных сушилок сложное и дорогое. Данный способ сушки является низкопроизводительным, а сложность оборудования делает этот способ неприемлемым [106, 125].

Кондуктивный способ из-за размещения материала на различном расстоянии от греющей поверхности не обеспечивает его равномерного нагрева, поэтому приходится затрачивать дополнительную энергию на процесс перемешивания материала. К тому же не возможно обеспечить хороший контакт большого числа перговых сот с греющей поверхностью.

Радиационная сушка солнечными лучами не может быть использована для перги, так как в ее ходе разрушаются питательные вещества, входящие в состав перги [99, 106]. Сушка инфракрасными лучами, как показали исследования [106], приводит к карамелизации содержащихся в ней сахаров, а также потере ею своей питательной ценности.

Сушка в поле токов высокой частоты (ТВЧ), несмотря на ряд таких преимуществ, как быстрый и равномерный нагрев, высокая интенсивность процесса, не находит широкого применения вследствие большого расхода электроэнергии (свыше 3 кВт·ч на 1 кг испаренной влаги) и сложного оборудования. Для большинства материалов стоимость сушки токами высокой частоты в 3 – 5 раза выше стоимости конвективной сушки [39, 163].

Сравнивая приемлемые способы сушки, следует обратить внимание на их достоинства и недостатки. Так сушка в естественных условиях осуществляется или на открытом воздухе под навесом или в хорошо проветриваемом помещении. Перговые соты подсушивают в подвешенном состоянии с расстояниями между рамками 4 – 5 см (искусственная сушка при

хранении пчелиных сотов в течение более двух месяцев с температурой 20...25 °С не требует дополнительных затрат энергии и протекает без потери качества перги) [163]. Данный способ сушки прост и не требует применения какого-либо специального оборудования. Однако он отличается большой длительностью, до нескольких месяцев, необходимостью оберегать соты от восковой моли и зависимостью от климатических условий.

Особенность вакуумной сушки заключается в значительном увеличении скорости данного процесса. При этом способе перговые соты помещают в герметичную сушильную камеру, где создается разрежение, равное 0,092 – 0,096 мПа [2], и необходимая температура. Процесс сушки перги в сотах под вакуумом создает условия для более интенсивного испарения влаги и значительного сокращения времени данной операции. Недостатком этого способа, сдерживающим его применение, является использование дорогостоящего оборудования.

Вакуумная сушилка, с помощью которой осуществлялась сушка перги в сотах, включает в себя: герметичную камеру, изготовленную из материала не подверженного коррозии; вакуумный насос; электродвигатель; электронагревательные устройства, вмонтированные в стенки сушильной камеры; пускозащитную аппаратуру и оборудование, регулирующее температуру и давление в сушильной камере [163].

Процесс сушки перги в сотах осуществляется в вакууме, что налагает определенные требования к некоторым деталям сушилки. К тому же влага, образующаяся при сушке, выводится в атмосферу через вакуумный насос, а это в конечном итоге отрицательно сказывается на его эксплуатации и сроке службы. Еще одним существенным недостатком вакуумных сушилок является невозможность одновременной сушки большого количества перговых сотов. Теплота к перговым сотам в таких сушилках, как правило, передается кондуктивно, через греющую поверхность. Поэтому равномерно прогреть и высушить пергу в соте очень трудно.

Конвективный метод отличается тем, что позволяет создать “мягкие” условия для одновременной сушки большого количества перговых сотов. При его применении агент сушки одновременно является теплоносителем и влагопоглотителем. Оборудование, применяемое при конвективной сушке, отличается простотой устройства, доступностью и невысокой стоимостью [28, 52, 72, 75, 156]. Немаловажное значение имеет и то, что сушку перги в сотах при таком способе можно осуществлять прямо в ульевых корпусах, установленных друг на друга в несколько ярусов и образующих сушильные каналы.

К недостаткам конвективной сушки можно отнести значительную энергоемкость и тот факт, что температурный режим в данном способе сушки создает условия для развития и жизнедеятельности восковой моли, наносящей огромный вред качеству перги.

Для сокращения затрат энергии применяют осциллирующий режим конвективной сушки, при этом материал попеременно нагревают и охлаждают. При охлаждении направление градиентов температуры и концентрации совпадают, что способствует интенсификации процесса сушки. Этот режим применяют как для сушки перги, так и для борьбы с восковой молью, которая портит перговые соты [142, 163].

Таким образом, из анализа выше изложенного следует, что хотя конвективный способ и обладает некоторыми недостатками, он в большей степени, чем все остальные, отвечает требованиям промышленной технологии переработки пчелиных сотов на пергу и восковое сырье.

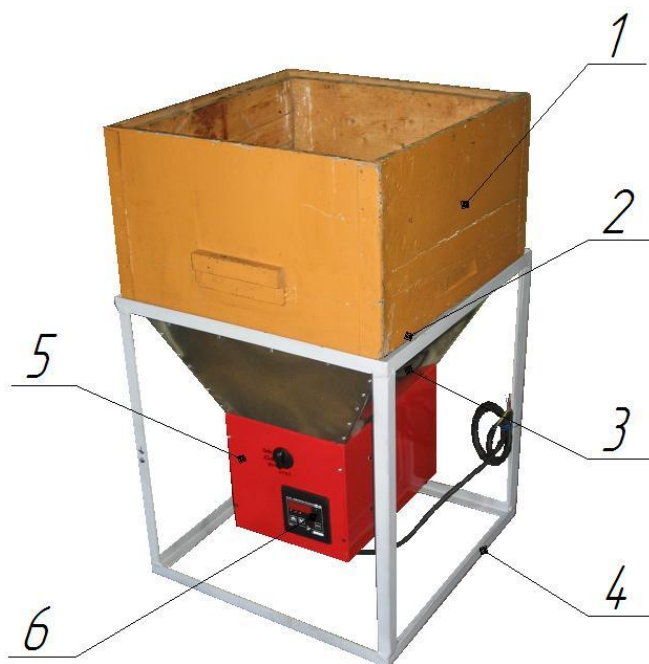
Пергу можно сушить как в пчелиных сотах, так и виде гранул, отделенных от восковой основы сота.

Для сушки перги в сотах применяют камерные сушилки (рис. 1.10 и 1.11).

Известна установка СП-40 (рис. 1.10), которая содержит электрический калорифер 5, закрепленный на раме 4. Калорифер 5 соединен посредством кожуха 3 из стали с рамой 4. Рама 4 сверху имеет площадку 2 для установки

ульевых корпуса 1. С целью исключения попадания восковой крошки на элементы калорифера 5 на площадке 2 закреплена мелкая сетка. Необходимая температура воздушного потока устанавливается при помощи микропроцессорного терморегулятора ОВЕН ТРМ-1, закрепленного на калорифере 5 [120, 125, 140, 144, 163, 207].

Перед началом работы в каждый ульевый корпус устанавливают по 10-12 пчелиных сот. Затем включают калорифер, который подает нагретый воздух в корпуса, где он проходит через перговые соты и забирает влагу.

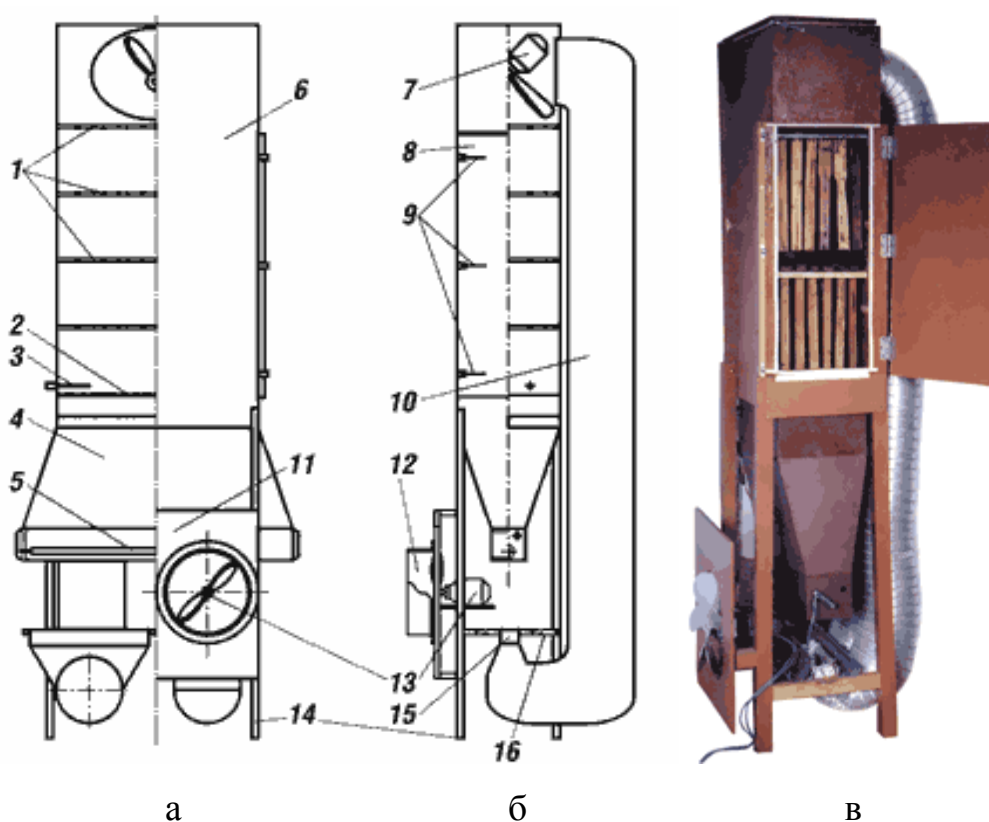


1 – корпус ульевый; 2 – площадка; 3 - кожух; 4 – рама; 5 – калорифер; 6 – терморегулятор.

Рисунок 1.10 – Общий вид сушилки СП-40

Недостатком данной сушильной установки являются значительные потери энергии при сушке перги, так как энергия затрачивается на разогревание атмосферного воздуха, который после однократного взаимодействия с высушиваемым продуктом выбрасывается в атмосферу разогретым и практически сухим, а также сушить пергу в виде кусков сотов отделенных от рамок и гранул [144, 161].

Существует установка [59, 179] (рис. 1.11) позволяющая одновременно сушить 12 перговых сотов. Установка состоит из калорифера 4 и рабочей камеры 6. Конструкция размещена на раме 14. Внутри рабочей камеры находятся защитная сетка 2 полки для установки сотов 1. Вверх у рабочей камеры расположены два воздуховода 10 и осевой вентилятор 7. Воздуховоды 10 снизу оснащены распределителями воздушного потока с конфузуром 15. На раме закреплен щит 11 с направляющими 12 осевых вентиляторов 13. Рабочая камера сушилки снабжена термодатчиком 3, а одна ее сторона имеет дверь 8 с замками 9, для установки сотов.



а – вид сбоку, б – спереди, в – общий вид.

Рисунок 1.11 – Установка для сушки перги в сотах

Конвективная сушка перги производится закольцованным воздушным поток воздуха, с температурой 40–42°C. При достижении относительной влажности воздуха 80 (85)%, испарение влаги замедляется. Для продолжения сушки в рабочей камере происходит замена влажного воздуха на свежий атмосферный. После нагрева воздуха до 40–42°C процесс повторяется.

Чередование циклов сушки до приобретения перги требуемой влажности.

Недостатком такой установки является невозможность досушивать пергу, выделенную из пчелиного сота, высокая стоимость оборудования и низкая производительность из-за увеличения времени сушки.

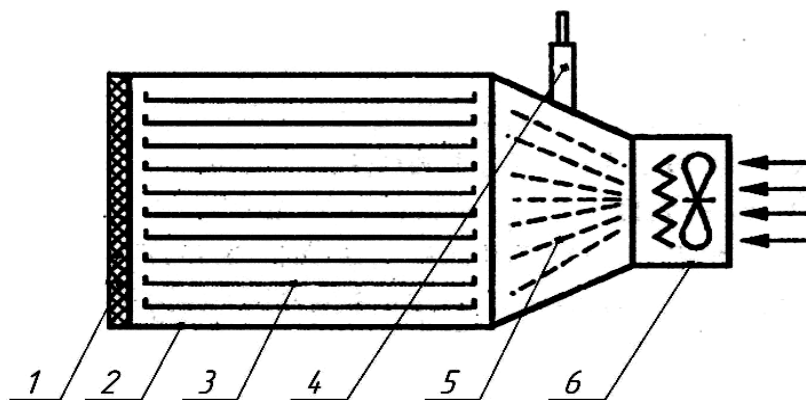
Также разработана конструкция сушилки перги, в которой соты вращаются в барабане [125, 196].

В её рабочей камере установлен барабан с креплениями под пчелиные соты. Барабан с сотами выполняет функцию центробежного вентилятора. При его вращении создается всасывающий поток воздух, который проходя через калорифер, нагревается и обтекает поверхности сотов. При этом достигается интенсивный и равномерный обдув сотов теплым воздухом с интенсивным испарением влаги с поверхности перги. Однако на вращение барабана с сотами требуется затратить дополнительную энергию.

Перга в сотах сохнет неравномерно. Это связано с неравномерным заполнением пчелами ячеек сотов пергой, а также особенностями сушки цветочной пыльцы различного происхождения. Поэтому возникает необходимость досушить гранулы перги выделенные из сотов. Для выполнения операции сушки гранул перги пчеловоды применяют камерные сушилки кустарного и промышленного производства.

В России выпускается лотковая сушилка обножки СП-2, в которой можно довести влажность гранул перги до требований ГОСТа (рис. 1.12) [106, 125]. В Украине для этих целей применяют сушилку «Садочок» схожего принципа действия. В Эстонии фирма Wilara выпускает сушилки BVMPROFI [125].

СП-2 выполнена в виде коробчатого корпуса 2 с сетчатой передней дверцей 1, распределителя воздушного потока 5 и тепловентилятора 6. Внутри корпуса друг над другом размещены сетчатые поддоны 3 для высушиваемого материала. Для контроля температуры установлен термометр 4.



1 – сетчатая передняя дверца; 2 – металлический корпус; 3 – сетчатый поддон; 4 – термометр; 5 – распределитель воздушного потока; 6 – тепловентилятор.

Рисунок 1.12 – Схема сушилки пыльцы марки СП-2

Недостатком этой сушилки является то, что слой перги или пыльцы не равномерно прогревается и для равномерной сушки её необходимо периодически перемешивать. Процесс сушки в такой сушилке малопроизводительный и несовершенный с точки зрения эксплуатации, что не позволяет использовать ее в промышленной технологии.

Существует сушилка перги, которая позволяет сушить пергу, находящуюся в сотах на рамках, в отделенных от рамок кусках перговых сотов или в виде россыпи гранул, имеет возможность применения осциллирующих режимов сушки [172].

Установка для сушки перги, содержащая расположенный в корпусе сушильный канал с сетчатыми полками, вентиляторами и датчиками температуры и влажности, электронный блок управления и воздухопровод, подсоединяемый своим входом по направлению воздушного потока к выходу сушильного канала, а выходом к его входу.

Воздухопровод размещен внутри корпуса и разделен с сушильным каналом перегородкой, сетчатые полки, выполненные в виде противней, устанавливаемых в корпус, снабжены вибровозбудителями.

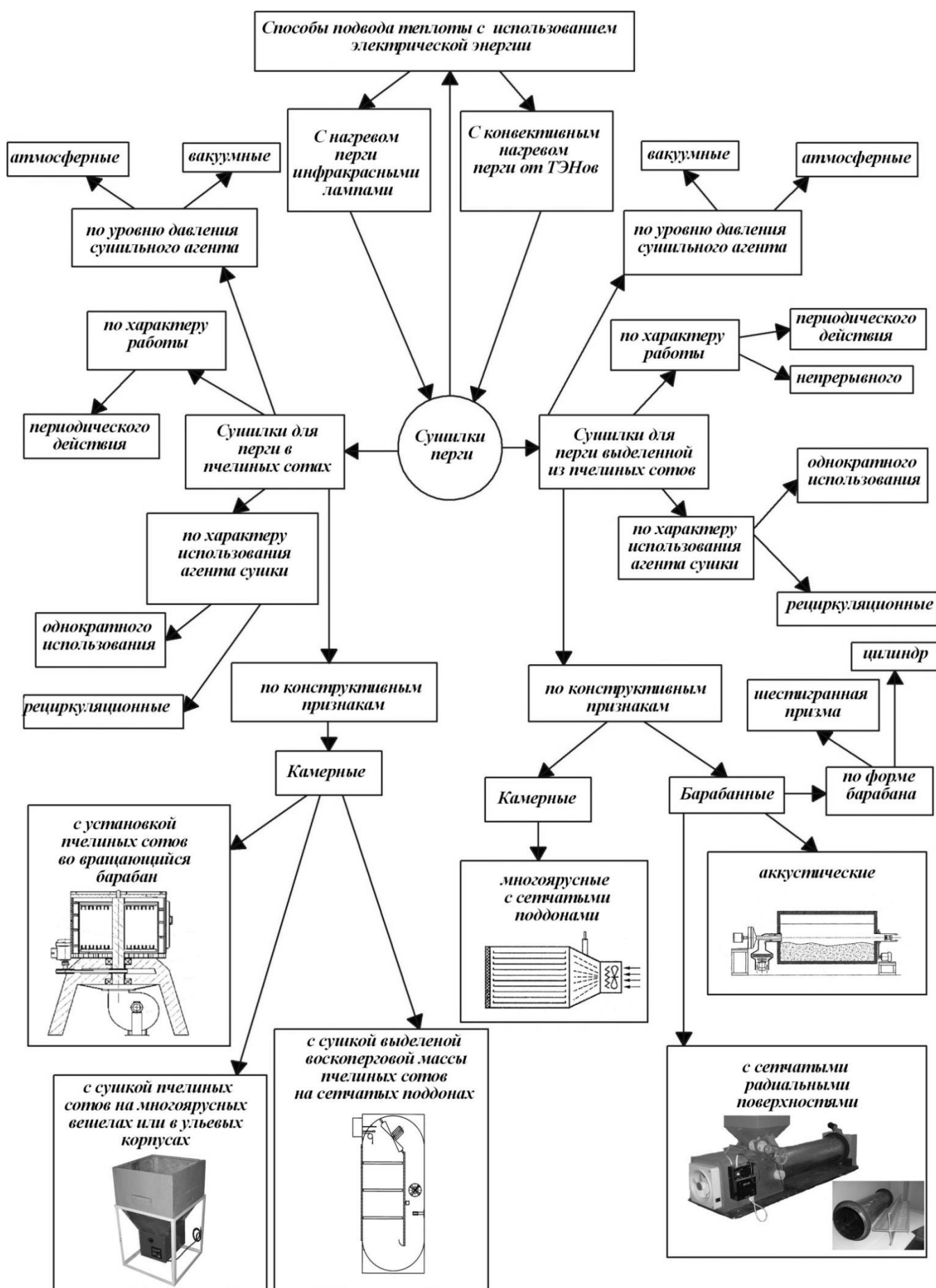


Рисунок 1.13 – Схема классификации сушилок перги

Недостатком данной сушилки является то, что при вибрации сетчатых полок происходит разделение гранул перги на фракции. Мелкие гранулы стремятся опуститься вниз, в результате чего сетчатое дно плотно забивается и тепловлагообмен через него ухудшается. При вибрации не происходит интенсивного перемещения материала на полке. Поэтому вибрация полок не приводит к значительной интенсификации процесса сушки и снижению затрат энергии.

Существует акустическая сушилка патент №2366874, которую можно применять для сушки мервы и перги [173]. Она состоит из вращающегося сушильного барабана с рабочей камерой в виде шестигранной призмы и устройства для создания стоячих акустических волн. В рабочую камеру сушилки сыпучий материал подается загрузочным устройством. Одновременно в неё подается нагретый воздух из калорифера. На пересыпающийся материал в барабане совместно воздействуют акустические колебания и нагретый воздух. Одновременное воздействие теплоты и акустических волн с повышенной интенсивностью колебаний позволяет ускорить процесс сушки перги. Влажный воздух удаляется вентилятором. Её недостатком является сложность конструкции и высокая стоимость.

В результате обзора существующих конструктивно-технологические схемы сушилок перги нами предложена их классификация (рис. 1.13) [25, 73, 78, 125, 163, 173, 196, 199].

Анализ средств сушки перги показал, что существующие сушильные установки не приспособлены к сушке перги в виде гранул или имеют высокую трудоемкость процесса, а из конструкций сушилок наиболее подходящими являются барабанные [125].

1.4.3. Анализ способов и технических средств выделения воскоперговой массы из сота

По технологии, описанной в подразделе 1.3, перед измельчением пчелиных сотов из них необходимо выделить воскоперговую массу. Эта

операция необходима для уменьшения затрат энергии на охлаждение, измельчение и сепарирование воскоперговой массы, так как охлаждаться, измельчаться и сепарироваться будет только та часть сота, которая заполнена пергой. Так же при этой операции происходит отделение воскоперговой массы от части сота с трутневыми ячейками, которые после измельчения очень трудно отделить от гранул перги.

Операция выделения воскоперговой массы из пчелиного сота не механизирована. Она осуществляется вырезанием полосок сота ножом вдоль проволоочной основы ульевого рамки, а затем разламыванием их на куски. При разрезании пчелиного сота нарушается целостность перговых гранул в зоне разреза. В результате внедрения ножа в сот часть проволоочной основы рвется. После этого рамку приходится перетягивать заново проволокой. У перговых гранул, разрезанных ножом, уменьшается прочность и при дальнейшем измельчении пчелиного сота в измельчителе эти гранулы частично разрушаются, что при последующей сепарации приводит к потерям [153].

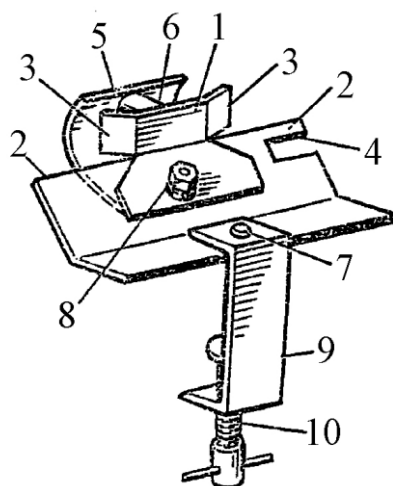
Выделение воскоперговой массы из пчелиного сота можно осуществить в солнечной воскотопке.

Она представляет собой ящик, передняя стенка которого несколько ниже задней. Состоит из корпуса, закрываемого сверху стеклянной крышкой. Внутри корпуса устанавливается наклонно противень, над которым закрепляют пчелиный сот. Инфракрасный спектр солнечных лучей проходит через стекло и нагревает восковую основу сота внутри воскотопки. Воск под действием теплоты плавится и прорезается через проволоочную основу рамки опускается на противень [139]. Данный способ выделения малопроизводителен, требует определенных погодных условий, воздействие солнечных лучей ухудшает качество перги, а расплавленный воск, смешиваясь с перговыми гранулами, уменьшает выход перги из сота.

Выделение воскоперговой массы из сота можно осуществить с помощью устройства для очистки ульевых рамок от воска и прополиса, содержащее

пять скребков и щиток с перегородкой, которые собраны на зажимном устройстве (рис. 1.14) [139].

Недостатком данного устройства является невозможность отделения воскоперговой массы сота от его проволоочной основы, а также высокая трудоемкость и низкая производительность процесса.



1,2,3,4 – соответственно верхний, горизонтальный, вертикальный и внутренний скребки; 5 – полукруглый щиток; 6 – перегородка щитка; 7 – заклепка; 8 – винт с гайкой; 9 – скоба; 10 – зажимной винт.

Рисунок 1.14 – Устройство для очистки ульевых рамок

Так же выделение воскоперговой массы из пчелиного сота можно осуществить при помощи устройства для извлечения воска из рамок с сушиью [9]. Оно выполнено в виде центрифуги, содержащей корпус с ротором для установки рамок, снабженный сеткой и имеющий сливной штуцер, крышку и трубопровод для подачи пара, а с целью повышения производительности труда, ротор снабжен решетом в нижней части с отверстиями, установленными над штуцером.

Недостатком данного устройства является то, что при подаче пара в устройство, воск начинает плавиться и смешиваться с гранулами перги, перга вбирает в себя влагу, что приводит к увеличению влажности перги и необходимости её досушивания после отделения.

Таким образом, процесс выделения воскоперговой массы из деревянной рамки пчелиного сота остается не механизированным, а существующие устройства и приспособления малопроизводительны, ухудшают качество перги и снижают её выход.

1.4.4. Анализ способов и технических средств охлаждения воскоперговой массы

Охлаждение пчелиных сотов осуществляется с целью придания восковой основе хрупких, а перговым гранулам - прочностных свойств, достаточных при механическом разрушении для сохранения их целостности.

В настоящее время промышленностью не выпускается специализированного оборудования для охлаждения перговых сотов.

В зависимости от времени года и объема перерабатываемых сотов используют различные способы охлаждения.

Для охлаждения перговых сотов в весенне-летний период используют холодильные камеры промышленного и бытового назначения. В осенне-зимний период соты охлаждают естественным холодом, выставляя их на улицу в специальной таре или под навес.

Режимы охлаждения и свойства, приобретаемые пчелиными сотами при этих режимах, мало изучены.

Так одни исследователи предлагают сушить пергу в сотах до влажности 14-15 % и перед измельчением перговых сотов охлаждать их выдерживая при температуре $0...-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ не менее $50 \div 60$ мин [111]; другие предлагают охлаждать перговые соты при температуре $-3...-4^{\circ}\text{C}$ в течении 30-40 минут и после этого измельчать [5].

Третьи исследователи предлагают сушить гранулы перги отдельно от восковой основы, поэтому для извлечения гранул перги из сота с естественной влажностью (20-30%) его необходимо выдержать $1,5 \div 2$ часа в холодильной установке при температуре $-5 \div -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [187]; или подвергнуть глубокой заморозке в морозильной камере при температуре $-12...-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в

течение 1,5...2 часов [185]; или при температуре -18...-19 °С в течение 5...6 часов [184].

Таким образом, операция охлаждения пчелиных сотов является важной в технологии извлечения перги. От неё зависит как энергоёмкость процесса, так и качество конечного продукта. Однако промышленностью не выпускается специализированного оборудования, а режимы охлаждения пчелиных сотов мало изучены.

1.4.5. Анализ способов и технических средств измельчения пчелиных сотов

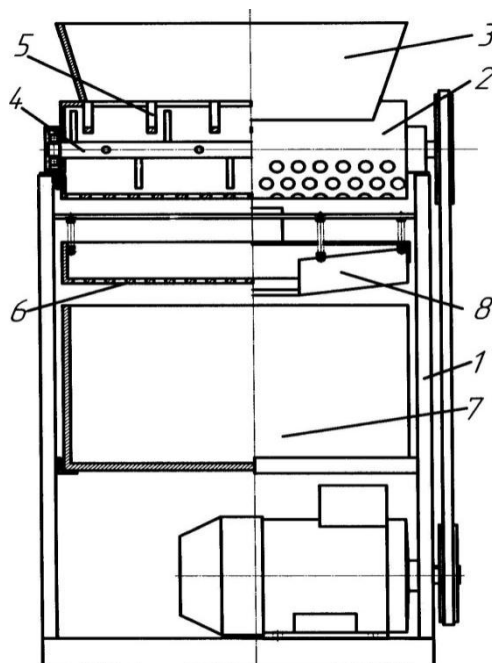
Извлекать пергу из сотов можно двумя способами: с разрушением восковой основы сота и без разрушения.

Способы отделения перги без разрушения восковой основы сота рассмотрены в подразделе 1.4.6.

Механическое разрушение восковой основы сота и отделение от неё гранул перги осуществляется в измельчителях. От операции измельчения зависит количество воска в готовом продукте и количество безвозвратно утерянной перги в виде крошки при дальнейшей сепарации [98].

Для разрушения перговых сотов до образования воскоперговой массы используют измельчители непрерывного или периодического действия или агрегаты, в которых измельчитель объединён с устройством для её сепарации [113,118, 130, 163, 171, 176, 180, 186, 188, 193].

Существует установка для извлечения перги (рис. 1.15), которая содержит раму, загрузочную горловину, цилиндрическую рабочую камеру с размещенным внутри горизонтальным зубчатым валом, сепаратор и электропривод. Между выходной частью загрузочной горловины и рабочей камерой размещены неподвижные зубья V-образной формы. Нижняя половина рабочей камеры выполнена решетчатой [26, 186].



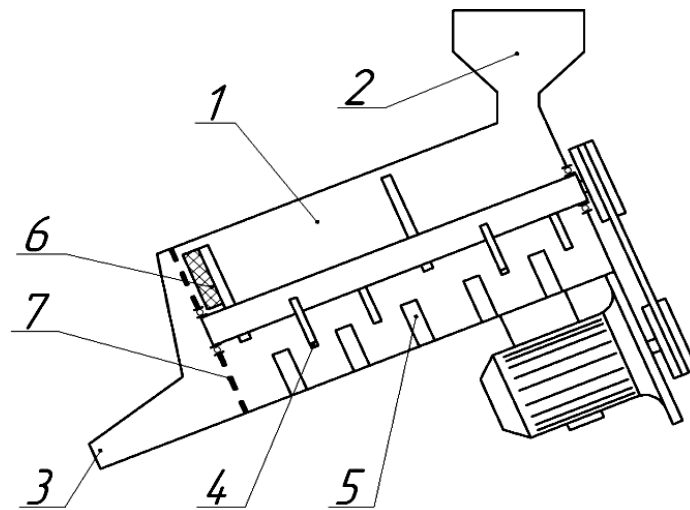
1 – рама; 2 – цилиндрическая рабочая камера; 3 – загрузочная горловина; 4 – вал с зубьями; 5 – V-образные зубья; 6 – сито; 7 – бункер; 8 – лоток.

Рисунок 1.15 – Установка с V-образными зубьями для измельчения сотов

Куски охлажденных сотов опускают в загрузочную горловину 3. Нижние куски опираются на V-образные зубья 5. При вращении вала 4 его зубья ударяют по кускам, разламывают и проталкивают их в рабочую камеру 2. Образовавшаяся при измельчении смесь сепарируется через отверстия решета рабочей камеры 2. Далее продукты измельчения под действием гравитационных силы опускается на сито 6 сепаратора. За счет вибрации поверхности сита 6 происходит прохождение восковой основы сота через его отверстия и попадание в бункер 7. Целые гранулы перги остаются на сите и за счет его колебаний транспортируются в лоток 8.

Недостатком данной установки является то, что при вращении вала его зубья будут выбивать куски сотов из загрузной горловины, а на V-образных зубьях может образовываться свод из кусков сотов, что приведет к неравномерной подаче материала в камеру измельчителя.

Для измельчения пчелиных сотов используют установку с наклонной камерой измельчения (рис 1.16)[126, 208].



1 – рабочая камера; 2 – приемный бункер; 3 – лоток; 4 – штифты вала; 5 – штифты камеры; 6 – лопатка; 7 – решето.

Рисунок 1.16 – Измельчитель с наклонной камерой

Охлажденные куски воскоперговой массы сотов подают в приемный бункер 2, откуда они ссыпаются в камеру 1. От ударов подвижных штифтов 4 и сопротивления, оказываемого со стороны штифтов 5, восковая основа сотов разрушается, при этом высвобождаются перговые гранулы, которые затем с помощью лопатки 6 проталкиваются через решето 7, в результате чего разрушаются их восковые оболочки. Частицы материала, прошедшие через измельчитель, собираются на лотке 3 и выходят из него.

Недостатком рассмотренного измельчителя является крошение гранул перги при прохождении их через отверстия решета и его забивание.

Для разрушения пчелиных сотов некоторые изобретатели предлагают использовать измельчители периодического действия с рабочим органом в виде вала с консольно закрепленными цепями или в виде венчика [155].

Принцип действия измельчителей периодического действия практически одинаков [65]. Рабочую камеру измельчителя с установленным внутри рабочим органом заполняют подготовленными кусками сотов. При включении привода рабочего органа осуществляется разрушение сотов.

После измельчения полученную воскоперговую массу выгружают на сито и вручную сепарируют пергу. Недостатком измельчителей периодического действия является то, что в процессе их эксплуатации затрачивается много ручного труда на загрузку и выгрузку материала, а гранулы перги переизмельчаются и при дальнейшей сепарации безвозвратно теряются в виде крошки.

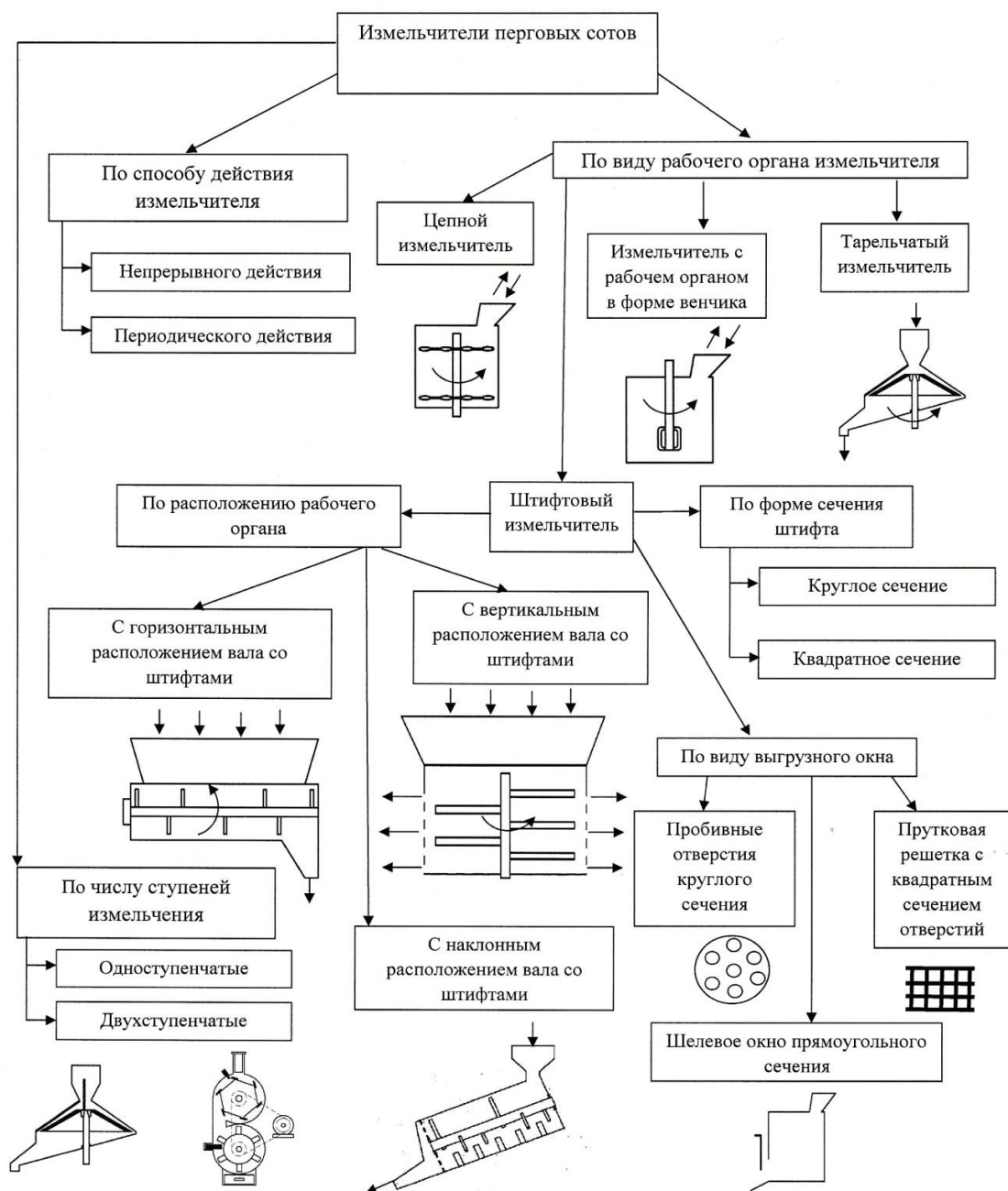


Рисунок 1.17 – Классификация конструктивно-технологических схем измельчителей пчелиных сотов

Существуют различные конструктивно-технологические схемы измельчителей перговых сотов [126, 155], которые можно классифицировать (рис. 1.17) по способу выполнения процесса – непрерывного и периодического действия; по расположению рабочего органа – горизонтальные, вертикальные и наклонные; по форме рабочего органа – цепные, штифтовые, тарельчатые, барабанно-ножевые, венчиковые; по числу ступеней измельчения – одноступенчатые и двухступенчатые; по форме сечения штифта – круглого и квадратного; по форме отверстий выгрузного окна – круглые, квадратные, прямоугольные и кольцевые, по расположению выгрузного окна относительно оси вращения рабочего органа – параллельно и перпендикулярно; по форме рабочей камеры – цилиндрическая и коническая [26, 113, 163, 171, 178, 209 и др.].

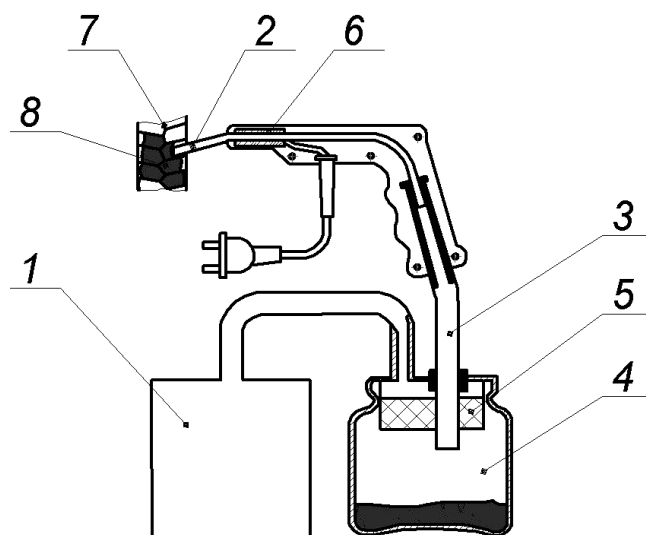
Проанализировав конструкции существующих измельчителей было выявлено, что одной из самых перспективных для дальнейшего совершенствования является конструкция штифтового измельчителя сотов непрерывного действия с вертикальным расположением рабочего органа [155].

1.4.6. Анализ способов и технических средств отделения перги от восковой основы сотов

Отделять перговые гранулы от восковой основы можно двумя способами: из не разрушенной восковой основы пчелиного сота и из воскоперговой массы при измельчении сота.

Извлекать пергу без разрушения восковой основы сота можно с помощью вакуума.

Для осуществления данного способа И.А. Дудов и Ю.В. Донченко [4] разработали специальное устройство (рис. 1.18). Оно состоит из приемной трубки с нагревательным элементом, емкости для перги и трубопровода, для присоединения к источнику вакуума.



1 – вакуумная система; 2 – приемная трубка; 3 – трубопровод; 4 – емкость для извлечённой перги; 5 – фильтрующий элемент; 6 – нагревательный элемент; 7 – восковые ячейки сота; 8 – гранула перги.

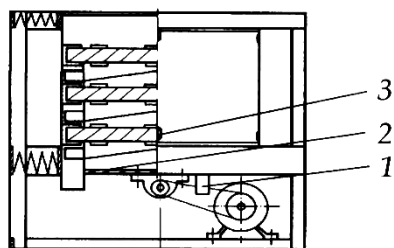
Рисунок 1.18 – Схема устройства для вакуумного извлечения перги

После разогрева сота паром до температуры 50 – 55 °С и подключении установки к вакуумной системе 1 в ячейки сота вводят приемную трубку 2. Разряженный воздух в приемной трубке 2 засасывает пергу и транспортирует ее в емкость 4 для извлеченной перги. Извлеченную пергу необходимо подсушить и переложить в тару для хранения.

Этот способ мало эффективный, требует больших затрат ручного труда и энергии, так как необходимо прогреть каждую ячейку до тех пор, пока восковая оболочка не освободит гранулу перги. Для лучшего выхода гранулы из ячеек сота предлагают прогревать пергу паром [163], однако это приводит к увлажнению перги и ухудшению её качества.

Также существует вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сотов [183]. Установка (рис. 1.19) содержит несущую раму, подвижную плиту на упругой подвеске, каркас с держателями сотов и вибрационный механизм. К подвижной плите жестко прикреплен каркас для поярусной установки в него пчелиных сотов. Под каждым держателем сотов установлен наклонный выгрузной лоток. Под действием вибрации гранулы перги

выпадают из восковых ячеек сота и по выгрузному лотку удаляются из установки. Данная установка имеет малую производительность и низкий выход готовой продукции. Это связано с тем, что гранулы перги имеют межмолекулярные связи со стенками восковых ячеек сота и чтобы их нарушить некоторые исследователи предлагают перед извлечением обрабатывать пчелиные сот паром [10].



1 – вибрационный механизм; 2 – подвижная плита с держателями сотов;
3 – пчелиный сот.

Рисунок 1.19 – Вибрационная установка извлечения перги

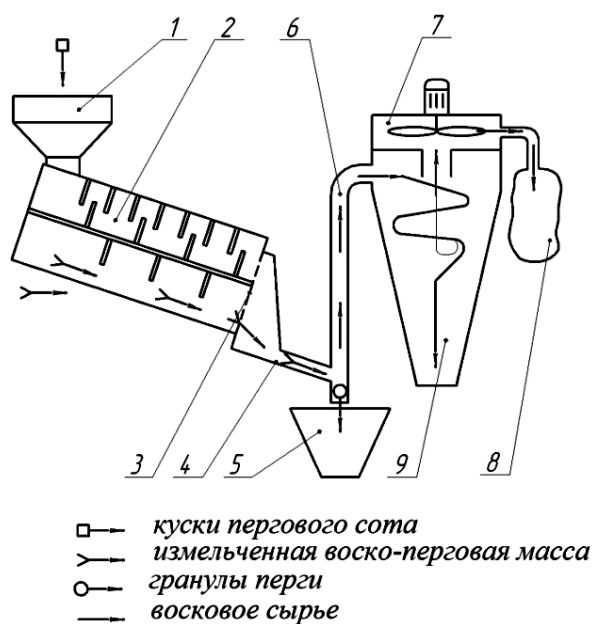
Если процесс извлечение перги идет с разрушением пчелиного сота, то после разрушения воскоперговую массу подвергают сепарации[90].

Для разделения перги и восковой основы сотов в агрегате АИП-50 применен пневматический сепаратор (1.20) [120, 123,162,163].

Пневматический сепаратор включает в себя пневматический канала 6, циклон 9, фильтр 8 и вентилятор 7.

После разрушения сота продукты измельчения ссыпаются в пневматический канал 6, где разделяется потоком воздуха на восковую основу сотов и пергу. Восковые частицы засасывается воздушным потоком в циклон 9, где крупные частицы оседают, а мелкие частицы задерживаются в фильтре 8. Перга выпадает из пневматического канала 6 в емкость 5.

Неравномерный выход воскоперговой смеси из измельчителя в пневматический канал 6 приводит к частичной очистке перги от восковой основы, что является недостатком процесса извлечения перги из сотов.



1 – приемный бункер; 2 – наклонный измельчитель; 3 – решетка; 4 – лоток; 5 – емкость для извлеченной перги; 6 – пневматический канал; 7 – вентилятор; 8 – фильтр; 9 – циклон для восковой основы.

Рисунок 1.20 – Конструктивно-технологическая схема агрегата АИП-50

Для разделения перги и восковой основы сота применяют вибрационный способ, который реализуется при извлечении перги из сотов [26, 186]. Устройство для вибрационной сепарации представляет собой лоток с боковыми стенками, дно которого имеет отверстия продолговатой формы. Нижняя часть лотка сужена и предназначена для схода гранул перги, а к его верхней части присоединено устройство для создания вибрации. Под лотком установлена емкость для сбора отделенных восковых частиц.

Образующаяся в измельчителе масса подается самотеком на вибрационный лоток сепаратора. Двигаясь по перфорированной поверхности лотка, частицы восковой основы сота проходят в продолговатые отверстия и попадают в емкость, а целые гранулы перги остаются на его поверхности и сходят с него в нижней сужающейся части.

Недостатком вибрационных ситовых сепараторов является потеря мелких частиц перги при их выделении из сота.

Для выделения крупных восковых частиц и средостения сота, оставшихся в перге, необходимо её рассыпать на протвине слоем 2...3 сантиметра и воздействовать на него в течение 15...20 секунд с частотой вибрации 50÷100 Гц. В результате такого воздействия восковые частицы вытесняются на поверхность материала и ручным способом отбираются [187].

Процесс разделения перги и восковой основы сотов мало изучен, а существующие устройства имеют низкую производительность и не могут обеспечить полного разделения восковой основы сотов и перги.

1.5. Анализ выполненных исследований по получению перги из пчелиных сотов

Скарификация как термин используется в разных отраслях народного хозяйства. В медицине – это процарапывание кожного покрова человека или животного, в сельском хозяйстве повреждение оболочки семян. Однако цель скарификации перговых сотов отличается от цели скарификации в медицине и других отраслях.

Первое упоминание возможного использования этой операции в технологии извлечении перги было в 1985 году [3]. Однако теоретическими и практическими исследованиями скарификации начали заниматься лишь 15 лет назад сотрудники ФГОУ ВПО Рязанская ГСХА профессор В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров и А.В.Ларин [34, 81, 121].

Их исследования показали, что скарификация позволяет увеличить скорость сушки перги в сотах на 30% и более, при прорезании, процарапывании или прокалывании слоя гранулы перги пропитанного медом.

В немногочисленных научных работах присутствуют данные о расстоянии между иглами, которые должны располагаться на расстоянии 4,5 мм (расстояние между центрами гранул в пчелином соте) [81].

В.Ф. Некрашевичи и А.В. Ларин предложили и обосновали устройство для скарификации методом прокалывания пчелиного сота игольчатыми пластинами. Ими было установлено, что для скарификации прокалыванием целесообразно применять иглы с диаметром 1,2 мм, а глубину внедрения не следует делать более 4 мм. При этом скорость внедрения игл должна быть 1,8-2,0 мм/с [81].

Исследованию процесса сушки продуктов растительного происхождения и пищевых продуктов в целом, к которым, несомненно, можно отнести пыльцу и пергу, посвящено значительное количество работ целого ряда авторов [25, 35, 39, 40, 53, 63, 67, 73, 77, 78, 116, 214, 226 и др.]. Связано это с тем, что данный процесс широко распространен в пищевой промышленности и других отраслях народного хозяйства. Сушка обеспечивает сохранность зерна, плодов, овощей и других материалов в сельском хозяйстве, увеличивает сроки хранения продуктов, а также позволяет добиться их требуемого качества.

Разработкой и совершенствованием теории внесли свой вклад А.В. Лыков, А.С. Гинзбург, Г.К. Филоненко, И.М. Федоров, П.Д. Лебедев, П.Г. Романков, Б. М. Смольский, В.В. Красников, А.П. Журавлев, А.В. Авдеев, В.И. Анискин, В.И. Атаназевич и др., а также зарубежные ученые - Льюис, Шервуд, О. Кришер, Р. Молье [15, 35, 85, 87, 227].

Теория сушки твердых тел получила наиболее полное развитие в работах А.В. Лыкова, М.Ю. Лурье, Г.К. Филоненко [87, 227]. На процесс сушки материала и характер его течения большое влияние оказывает форма связи влаги с сухим веществом. А.В. Лыковым [87] было предложено все твердые влажные материалы разделить на три группы по коллоидно-физическим свойствам на капиллярно-пористые, коллоидные и коллоидные капиллярно-пористые. Эта классификация имеет большое практическое значение при обобщении результатов исследования процесса сушки различных материалов. В 1934 г. этот ученый открыл и научно обосновал явление термовлагопроводности во влажных материалах.

Сушка пищевых продуктов довольно полно рассмотрена в работах А.С. Гинзбурга [35]. В них изложены как вопросы теории, так и техники и технологии сушки пищевых продуктов, а также приведены их теплофизические характеристики и оптимальные режимы сушки.

Особое значение имеют работы Л.К. Рамзина по термодинамике влажного газа и предложенный им в 1918 г. графоаналитический метод теплового расчета сушильных установок с использованием I-d - диаграммы влажного воздуха. Аналогичная I-d - диаграмма была опубликована Р. Молие в 1923 г.

Многие авторы [15, 35, 85, 87, 227] в своих работах, посвященных рассмотрению вопросов сушки, указывают на то, что процесс сушки большинства пищевых материалов состоит из двух периодов, периода постоянной и падающей скорости сушки. Первый период характеризуется постоянной скоростью сушки и постоянной температурой материала, второй – убывающей скоростью сушки и возрастающей температурой материала. Однако некоторые пищевые продукты, содержащие значительное количество сахаров, а также пектиновых веществ, обладающих способностью связывать воду, высыхают медленно, и сушка их в основном происходит почти с самого начала с убывающей скоростью. Первый период в этом случае весьма не значителен по времени.

Изучению сушки перги, как продукта пищевой промышленности растительного происхождения, и влияние на его качество различных температур посвящено большое количество статей и научных публикаций. Вызвано это тем, что высокая первоначальная влажность пыльцы и перги приводит к их быстрой порчи: закисанию, плесневению и бурному развитию вредных микроорганизмов. Поэтому для достижения необходимой влажности, обеспечивающей условие наилучшего хранения и сохранности всех питательных веществ и биологически активных компонентов, и применяется операция сушки.

По имеющимся в литературе данным сушку перги и пыльцы проводят при температуре от 37 до 45 °С [19, 31, 33, 50, 62, 72, 82, 156 и др.]. Так, по мнению ряда авторов [31, 72, 99] нагрев пыльцы свыше 45 °С приводит к резкому снижению ее питательной ценности. Некоторые исследователи рекомендуют и более высокие температуры сушки – 50 °С, 95 – 105 °С, 120 °С ± 5 ° [99]. Однако большинство авторов считают, что температурный режим сушки перги должен соответствовать естественному температурному режиму в улье, при котором пыльца превращается в пергу в процессе приготовления пчелами 35 – 40 °С [163].

В.Ф.Некрашевичем, В.И. Бронниковым и А.А. Григорьяном был исследован процесс сушки перги в вакуумных сушилках. Ими было установлено, что при вакууме 0,098-0,099 МПа и температуре нагрева перговых сотов 40-42 °С время сушки перги в вакууме составляет 5-7 часов [2].

Для борьбы с молью В.Ф. Некрашевич и С.В. Винокуров предложили сушить соты в осциллирующем режиме. При скорости движения нагретого воздуха 1,8-2,0 м/с и интервале нагрева и охлаждения перговых сотов от 20 до 50°С удельные затраты электроэнергии на сушку снижаются на 37,7 % и составляют 11,89 кВт·ч/кг [34].

Н.В. Бышовым и Д.Е. Кашириным были проведены исследования процесса сушки пчелиных сотов в замкнутом потоке теплоносителя и обоснованы режимы сушки [25, 28, 59, 63].

Анализируя приведенные выше работы можно отметить, что сушка продуктов растительного происхождения и пищевых продуктов проходит по общим для всех материалов законам. На процесс сушки наряду с режимными параметрами, такими как влажность, скорость и температура воздуха, огромное влияние оказывают и технологические свойства материала, которые необходимо учитывать [223]. В связи с этим необходимо изучить процесс сушки перги и установить его оптимальные режимы и параметры.

Измельчение — процесс разрушения кускового материала от внешнего нагружения, при котором внутренние напряжения превышают его предел прочности. Теория измельчения позволяет установить закономерности между энергией разрушения материала и его свойствами.

П. Риттингером была выдвинута гипотеза о том, что работа на измельчение материала пропорциональна площади поверхности продуктов измельчения. Однако она плохо описывает процесс измельчения, при котором получаются продукты измельчения с небольшой удельной поверхностью [40].

В 70-80 годах 19 века В.Л. Кирпичев и Ф. Кик предложили теорию, которая хорошо описывает процесс получения средней и крупной фракции измельчаемого материала.

Процесс мелкого и тонкого помола наиболее полно описывает теория Риттингера, которая не учитывает упругую деформацию частиц.

Так как при реальном измельчении материала сначала происходит его деформация, а затем образование трещин и новых поверхностей, то П.А. Ребиндер и Ф. Бонд предложили учитывать эти процессы при определении затрат энергии [214]. Они предположили, что сначала энергия сжатия материала распределяется по всему объёму, а после образовании трещин концентрируется вдоль них.

В начале 20 века А. Гриффитсон начал разрабатывать физическую теорию образования трещин и разрушения материалов. В последствии она дополнялась исследованиями Г.Р. Ирвина, Е. Орована, Г.И. Баренблатта и других [51].

Представление о процессе измельчения тесно связано с дислокационной теорией.

По Х. Румпфу явление хрупкого излома кристаллического тела объясняется блокировкой — торможением — движения дислокаций и их скоплением на границах зерен или в местах пересечения плоскостей скольжения под воздействием напряжений растяжения.

Г.Р. Ирвин и Е. Орован обратили внимание на то, что в процессе распространения трещины в квазихрупком материале микропластические деформации всегда сосредоточены в тонком слое материала, прилегающем к поверхности трещины. Поэтому они предложили наряду с поверхностной энергией материала учитывать также удельную энергию пластической деформации, затрачиваемую на образование единицы новой поверхности трещины. Х. Румпф в теории измельчения обозначает эту общую, связанную с трещинообразованием и отнесенную к единице поверхности разрушения энергию как удельную энергию поверхности разрушения.

С.В. Мельников получил приближенные значения интеграла в виде [211]

$$A = KD^q. \quad (1.1)$$

Это позволило при соответствующих изменениях показателя степени "q" получить аналитические зависимости, описывающие классические законы измельчения

$$A_k = K_k D^3 - \text{закон Кирничева – Кика}; \quad (1.2)$$

$$A_P = K_R D^2 - \text{закон Риттингера}; \quad (1.3)$$

$$A_B = K_B D^{2.5} - \text{закон Бонда}. \quad (1.4)$$

Основываясь на этих законах, С.В. Мельников получил эмпирическую зависимость, позволяющую определить работу сил на разрушение материала

$$A_{\text{изм}} = C_{\text{пр}} (C_v \log \lambda_u^3 + C_s (\lambda_u - 1)), \quad (1.5)$$

где C_v - коэффициент, выражающий удельную энергию для создания упругих деформаций в единице массы материала;

C_s - коэффициент, выражающий энергозатраты на образование новых поверхностей, отнесенные к единице массы;

$C_{\text{пр}}$ - коэффициент, учитывающий влияние неучтенных факторов;

λ_u - степень измельчения.

Вопросами измельчения перговых сотов занимались Е.К. Космович, В.Ф.Некрашевич, В.И. Броннинов, Ю.Н.Кириянов, Н.В. Бышов, Д.Е.

Каширин, В.Н. Кривобоков, А.В. Ларин, К.В. Буренин, В.К. Пестис, С.Н. Ладутко, Н.В. Халько и др. [23, 27, 29, 60, 61, 118, 131, 135, 209].

В настоящее время для отделения гранул перги от восковой основы сотов применяют вибро- и пневмосепараторы.

Основы вибрационной механики были заложены И.И. Блехманом. Он описал процесс разделения на вибрирующих поверхностях сыпучих материалов [20]. Дальнейшее развитие теории вибросепарации получило в работах Д.А. Плисс, Ю. И. Макарова, Г.Я. Пановко, К.В. Фролова, А.В. Гольдина, Ф.Л. Азаматова, В.А. Вишнякова, В.А. Назаренко, С.Ф. Абдулина, Ю.Г. Гриценко и других авторов.

Е.К. Космович в 1981 году предложил просеивать измельченные перговые соты на ситах с ячейкой 4×4 мм [68].

Н.В. Бышов и Д.Е. Каширин исследовали процесс выделения гранул перги из сота за счет вибрации. Они предложили отделять крупные восковые частицы на решетке с продолговатыми отверстиями размером 4×20 мм [188]. Также ими предложено для выделения крупных восковых частиц из массы гранул перги за счет вибрации полученного продукта с частотой $50 \div 100$ Гц в течение $15 \div 20$ секунд [187].

Вопросами разработки сепараторов для очистки и сортировки семян с.х. культур занимались В.П. Горячкин, И.Г. Воронов, Б.Г. Турбин, Н.М. Бушуев, В.М. Дринча, П.А. Емельянов, В.А. Жилкин, А.Н. Карпенко, П.М. Заика, В.В. Коновалов, С.В. Мельников, В.И. Оробинский, Ю.П. Полунин, В.Л. Польшивный, А.П. Тарасенко, Ю.И. Ермольев, А.С. Матвеев, П.М. Василенко, И.П. Безручкин, В.В. Гортинский, Н.Н. Колышев, И.Е. Кожуховский, А.Я. Малис, А.Р. Демидов, М.Н. Летошнев и другие ученые.

Е.К. Космович в 1981 году предложил отвеивать легкие частицы воска продувая воздух через измельченные соты [68].

Наибольшее развитие изучения процесса разделения воскоперговой массы на гранулы перги и восковую основу сота после измельчения получило в работах В.Ф. Некрашевича и В.И. Бронникова. Они установили,

что гранулы перги размером от 1,5 до 6 мм отделяются от крошки восковой основы сота при скорости воздушного потока 5 -8 м/с [5].

В.Ф.Некрашевич, В.И. Бронников и А.А. Григорян в своей работе отмечают, что при разделении воскоперговой массы на четыре фракции и последующее пневмосепарирование каждой фракции с определенной заданной скоростью делает возможным извлекать не менее 80 % перги из воскоперговой массы с содержанием восковых примесей не более 10 % [145].

Следует отметить, что данный способ разделения воскопергового вороха на пергу и восковое сырье на сегодняшний день является единственным наиболее пригодным для промышленной технологии. Поэтому необходимо изучить процессы измельчения пчелиных сотов и разделения воскопергового вороха, установить их оптимальные параметры и режимы, а также взаимоувязать их.

1.6. Постановка проблемы, цель работы и задачи исследований

Перга в нашей стране добывается всего лишь от 500-600 тыс. пчелиных семей при их наличии примерно 3,5 миллиона [84, 238].

Решить проблему повышения объемов получения перги высокого качества возможно только посредством создания эффективной технологии и машин для промышленной переработки пчелиных сотов.

Наиболее перспективной является технология, предложенная В.Ф. Некрашевичем, В.И. Бронниковым и С.А. Стройковым описанная в подразделе 1.3.

Перга является биологически активным продуктом, который подвержен влиянию факторов окружающей среды. Наилучшая сохранность перги обеспечивается при хранении в запечатанных сотах. В улье пчелиные соты вентилируются, благодаря чему поддерживается требуемая температура и влажность. Потребление перги человеком возможно только при извлечении перги из пчелиных сотов.

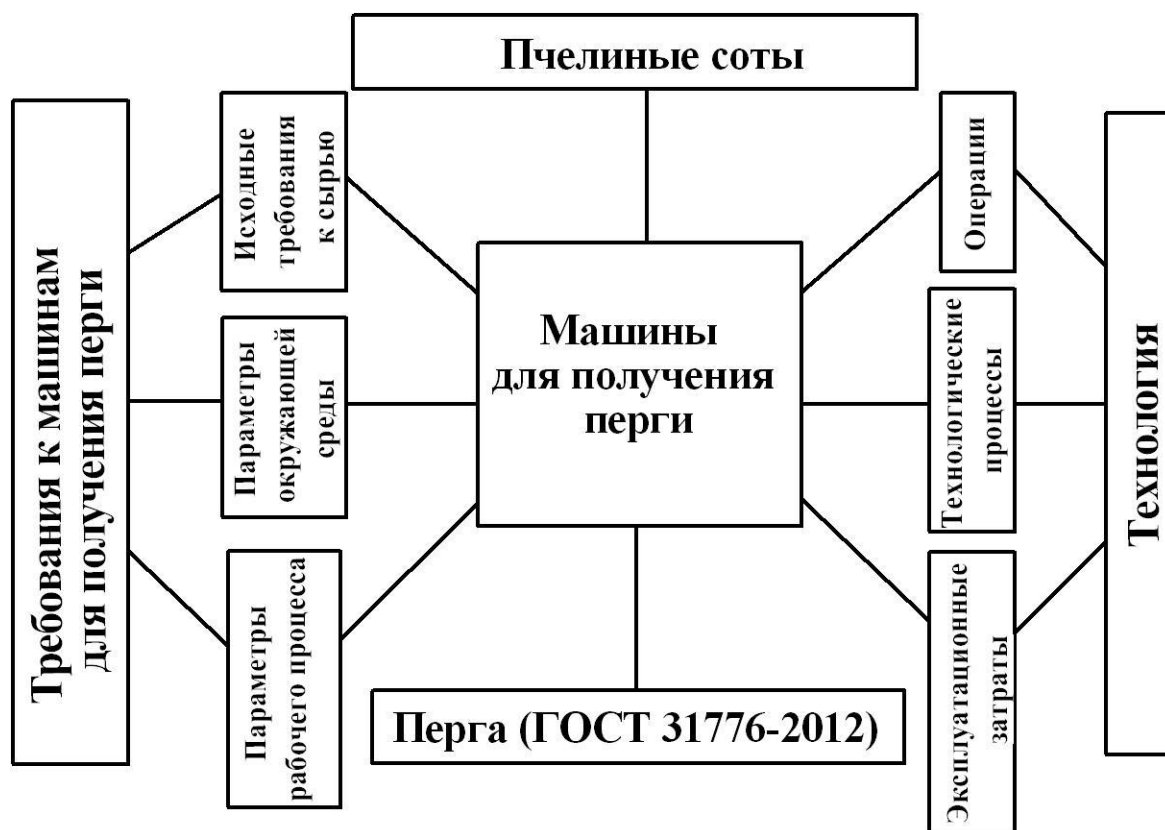


Рисунок 1.21 – Схема системного подхода к разработке машин для получения перги из пчелиных сотов

Поэтому для получения ценного продукта для человека использовался ряд методов, направленных на разрушение пчелиных сотов. Несмотря на то, что получением перги начали заниматься во второй половине 20 века, в настоящее время отсутствует технология, учитывающая совместное влияние технологических требований к исходному сырью, к условиям окружающей среды и технологическому оборудованию. Проблемой является отсутствие системного подхода к технологии и машинам для получения перги из пчелиных сотов. Схема системного подхода представлена на рисунке 1.21.

Нами предложено на основе анализа свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы сотов разработать требования к машинам для получения перги. На их основе усовершенствовать технологию получения перги из пчелиных сотов. Это позволит осуществлять обоснованный выбор необходимых операций для получения перги в зависимости от исходных параметров пчелиных сотов, окружающей среды и машин.

На основе проведенного анализа были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ способов и технических средств получения перги из пчелиных сотов.
2. Исследовать свойства пчелиных сотов, воскового сырья и перги для обоснования технологических требований к машинам.
3. Теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-технологические схемы, параметры и режимы работы машины для получения перги из пчелиных сотов.
4. Осуществить проверку работы машин для получения перги из пчелиных сотов в производственных условиях и оценить технико-экономическую эффективность их работы.

2. Обоснование требований к машинам для получения перги

Пчелиные соты можно представить как систему, состоящую из двух подсистем: гранулы перги и восковая основа сотов. Каждая из этих подсистем обладает своими свойствами. После извлечения из улья их необходимо осушить от меда. Осушку сотов от меда осуществляют в медогонках и окончательно при помощи пчел [137].

Поскольку перга находится в герметичных ячейках, то конечной целью процесса получения перги является разделение пчелиного сота на гранулы перги и восковое сырьё.

Чтобы сделать такое разделение необходимо изучить свойства сотов, их восковой основы и перги. К таким свойствам относятся влажность, плотность, объемная масса, коэффициенты трения, адгезия, коэффициенты теплоемкости, температуропроводности, теплопроводности, и скорость витания.

Это связано с тем, что перга и восковая основа, из которых состоит сот, имеют различные свойства, связанные с воздействием различных температур окружающей среды [22]. При увеличении температуры сота выше 60 °С восковая основа начинает плавиться и терять свою форму, а при температурах ниже 10-15 °С она становится хрупкой [46]. Перга в ячейках сотов имеет влажность 30% и выше, и при переработке может налипать на рабочие органы машин.

Поэтому пчелиные соты к получению перги нужно готовить [105, 117]. При получении перги из сотов их необходимо привести в такое состояние, чтобы:

- не происходило налипание воска и перги на рабочие органы машин;
- отделить от восковой основы сотов гранулы перги целыми;
- затратить минимум энергии и труда на процесс получения перги.

Поэтому технология получения перги из пчелиных сотов должна включать подготовительные, основные и заключительные операции (рис. 2.1).

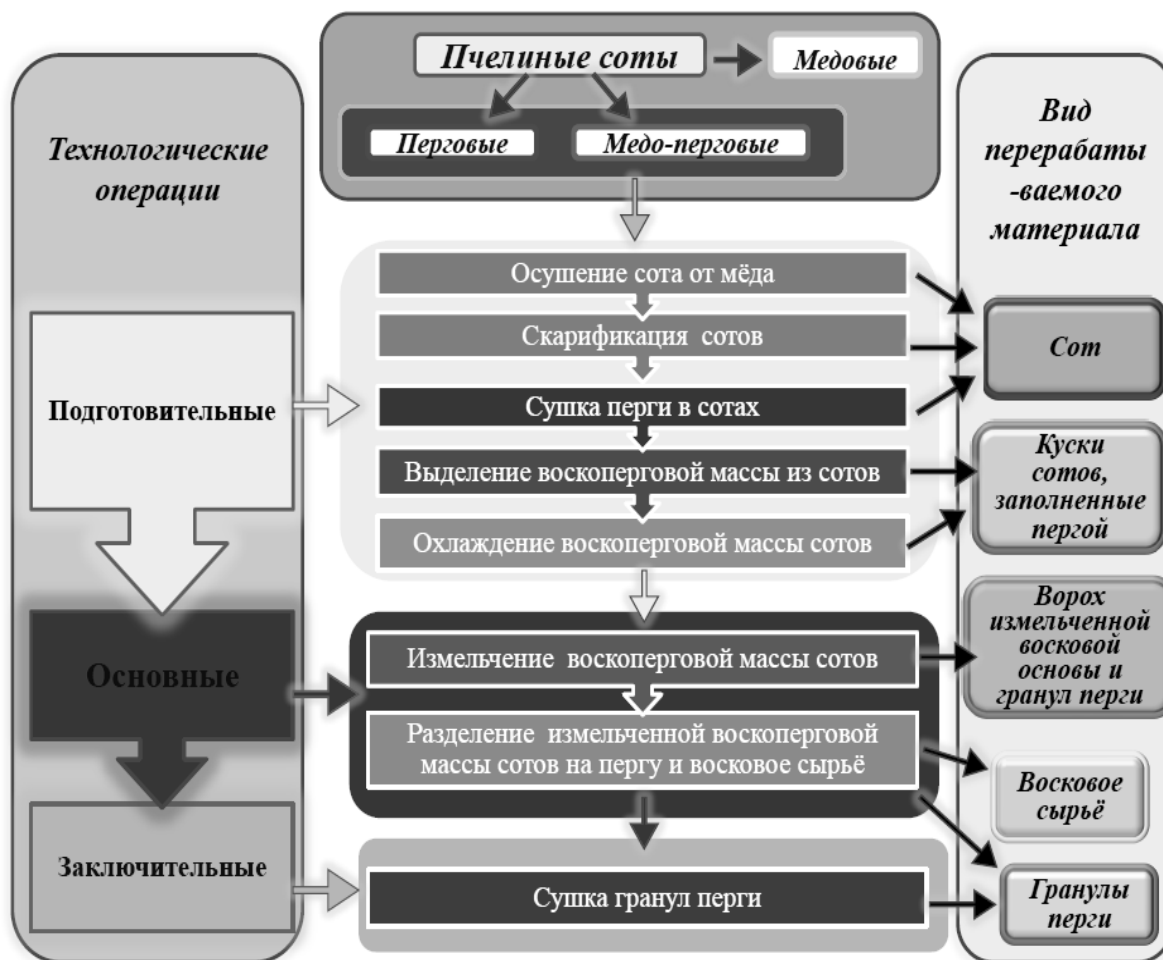


Рисунок 2.1– Технология получения перги из пчелиных сотов

К подготовительным операциям относят сушку перги в сотах. Она должна проводиться с таким расчетом, чтобы сохранить полезные свойства перги без изменения состояния восковой основы сота.

Так как гранулы перги находятся в герметичных ячейках сота, то сушка их при обычных условиях (температуре 20-25°C) происходит длительное время, а при определенных условиях может храниться годами не теряя своих ценных качеств.

Возникает необходимость разгерметизировать ячейки сота и дать возможность соприкоснуться наружному воздуху с гранулами перги.

Раскрыть ячейку с пергой можно разными способами, и эта операция называется скарификацией сота. Известны способы скарификации срезанием, прорезанием и прокалыванием крышечек перговых гранул, которые связаны

с нарушением целостности гранул перги. Поэтому необходимо найти более рациональный способ скарификации сотов.

Процесс скарификации сотов позволяет значительно ускорить процесс сушки перги и довести её до влажности 14-15% за более короткое время.

Возможными способами сушки перги является конвективный, кондуктивный, вакуумный, сублимационный и другие.

Наиболее простой, удобной и невысоко затратной является конвективная сушка, которая достаточно исследована рядом авторов [25, 33, 34, 62]. Поэтому она может быть включена в систему переработки сотов на пергу и восковое сырьё.

Важным элементом подготовки сотов к получению из них перги является выделение воскоперговой массы. В настоящее время применяется исключительно ручной способ выделения ножами.

Важно выделить только ту часть сота, которая содержит пергу, так как при последующих операциях не будет необходимости дополнительно затрачивать энергию и время.

Для того чтобы освободить гранулы перги от восковой основы, необходимо охладить соты до такого состояния, при котором восковая основа станет хрупкой и при измельчении отделится от поверхности гранул перги. Для этого необходимо изучить зависимости состояния сотов и перги от температуры. Поэтому в системе переработки сотов на пергу и восковое сырьё должно быть предусмотрено охлаждение, при котором температура охлаждения и время выдержки сотов позволили не заморозить гранулы перги.

Таким образом, в подготовительные операции технологии получения перги из пчелиных сотов входят: заготовка сотов, с осушением их от меда пчелами, скарификация, сушка перги в сотах, отделение и охлаждение воскоперговой массы сотов.

В результате выполнения подготовительных операций пчелиные соты приводят в такое состояние, при котором возможно получение перги [129, 132, 138, 144, 151, 162].

К основным операциям технологии получения перги из пчелиных сотов относятся: измельчение охлажденной воскоперговой массы сотов и разделение полученного вороха на гранулы перги и восковое сырье. Из анализа конструкций видно, что наиболее подходящими являются измельчители штифтового типа.

Для того чтобы гранулы перги оставались целыми и от тела гранул было полностью отделена восковая основа сота, они должны иметь достаточную прочность от воздействия на них ударных нагрузок при измельчении.

Разделение можно осуществить несколькими способами: рассевом на решетках или пневмосепарированием, так как измельченная восковая основа сотов намного легче перговых гранул.

Первый способ с успехом применяется при небольшом объеме производства, а второй при промышленной переработке сотов [90].

Из основного этапа переработки сотов следует, что необходимо изучить прочностные свойства гранул перги и аэродинамические свойства гранул перги и измельченного воскового сырья.

Заключительным этапом является сушка гранул перги при необходимости. Если при извлечении перги их влажность превышает 14-15%, то для длительного хранения их необходимо подсушить. Поскольку гранулы перги достаточно крупные монолиты, то при сушке необходимо предусмотреть их перемешивание [125, 147].

2.1. Программа и методики исследования физико-механических свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы

Чтобы обосновать конструктивно-технологические параметры и режимы работы машин для получения перги из пчелиных сотов нужно знать

свойства сотов, гранул перги и воскового сырья. Изучение этих свойств позволит усовершенствовать технологию получения перги из пчелиных сотов за счет оптимизации механизированных процессов [96, 104, 128, 235].

Программа обоснования технологических требований получения перги из пчелиных сотов предусматривает:

- изучение массы перги, воскового сырья и деревянной рамки в пчелиных сотах;
- изучение размещения гранул перги в сотах;
- изучение разрушающих усилий пчелиных сотов;
- изучение геометрических параметров, гранул перги в пчелиных сотах;
- изучение адгезионных свойств гранул перги и воскового сырья;
- изучение прочностных свойств гранул перги;
- изучение теплофизических свойств перги;
- изучение аэродинамических свойств гранул перги и измельченной восковой основы сотов.

Вопросами определения свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы занимались В.И. Бронников, К.В. Буренин, Н.В. Бышов, С.В. Винокуров, Д.Е. Каширин, М.В. Коваленко, А.В. Ларин, В.Ф. Некрашевича, А.А. Рогов.

Несмотря на проведенные исследования, существуют различные оценки количественных показателей. Причем количественная оценка зависит от направления проведенных исследований. Нами ставилась задача уточнить полученные показатели для оптимизации параметров машин для получения перги из пчелиных сотов.

Для определения свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы были использованы стандартные и оригинальные методики.

Массу пчелиных сотов определяли путем взвешивания на весах ВСТ-1200 с пределом взвешивания 1200 грамм. Сначала пергу в соте высушивали до влажности 14...15% в течение 36 часов. После от деревянной рамки с натянутой в ней проволокой отделялась воскоперговая масса. Рамка с

проволокой взвешивалась. Воскоперговая масса охлаждалась, измельчалась и разделялась на восковое сырье и пергу в агрегате АИП-50 [123]. Затем восковое сырье и перга взвешивались.

Относительная влажность перги определялась по ТУ 10 РСФСР 505-92 Перга. В нумерованные алюминиевые бюксы равномерным слоем засыпали пергу и помещали в вакуумный сушильный шкаф ВШ-0,035. Сушка проводилась в течение 5 часов при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Затем на лабораторных квадрантных весах модели ВЛКТ-500 определяли массу высушенной перги. Массовая доля влаги в перге (относительная влажность) определялась по формуле [106, 168]

$$W = \frac{m - m_k}{m} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где m – масса навески, г;

m_k – масса сухой перги в бюксе после сушки в шкафу ВШ-0,035, г.

Восковая основа сота состоит из рифленой восковой пластины, называемой вощиной, и восковых стенок ячеек, которые пчелы отстраивают с обеих сторон вошины. Вошина и стенки ячейки сота образуют внутренний объем в виде шестигранной призмы. Размеры вошины Дадановской рамки 415×270 мм. С учетом толщины восковых стенок ячеек, в одном ряду по длине сота располагается 78...80 ячеек, а по ширине 50..51 ячейка.

Исследованием гранул перги в ячейках сота занимались М.В. Коваленко, А.В. Ларин, В.Ф. Некрашевич [81, 141]. Они предложили методики исследования размещения перги в соте и величины заполнения ячеек сотов пергой. В тоже время ими не учитывалось влияние породы пчел и территориальных зон размещения пасек. Нами для определения величины заполнения восковых ячеек пергой использовалась методика, предложенная М.В.Коваленко, В.Ф. Некрашевич [141].

Для определения места размещения перги в соте пчелами было исследовано 100 сотов. Если в ряду располагалось не менее десяти ячеек заполненных пергой, то производился замер расстояния от деревянной рамки до этого ряда ячеек. После всех измерений проводился подсчет количества

случаев заполнения ячеек сотов пергой на определенном расстоянии от деревянной рамки.

Длина гранул перги в соте $l_{гр}$ определялась по формуле

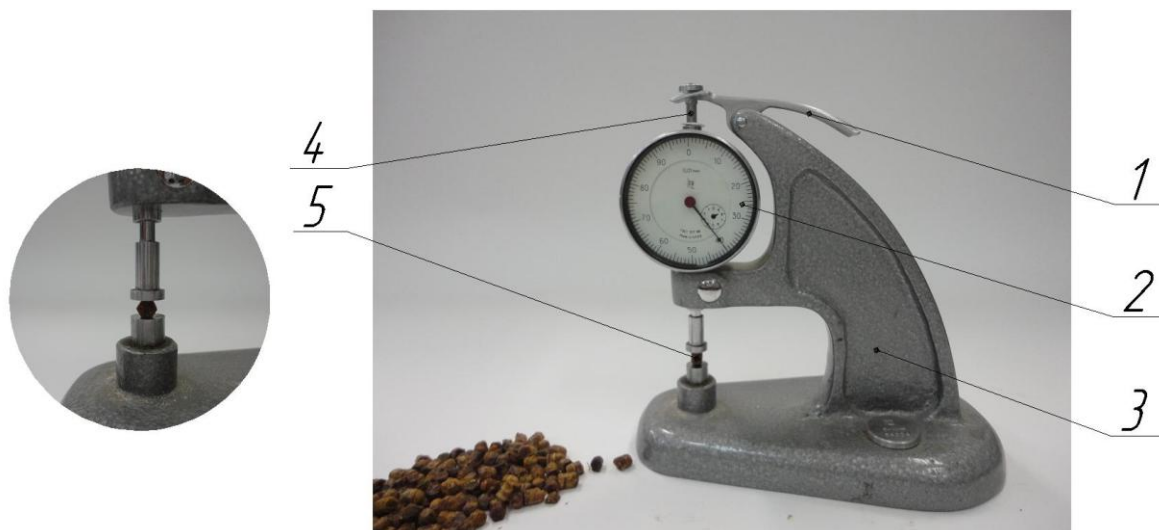
$$l_{гр} = l_{нп} - l_{зн} , \quad (2.2)$$

где $l_{нп}$ – показания индикатора при измерении глубины ячейки незаполненной пергой, мм;

$l_{зн}$ – показания индикатора при измерении глубины ячейки, заполненной пергой, мм.

Массу гранул перги определяли их взвешиванием на весах ВЛКТ – 500. Сначала из сота извлекались гранулы перги разной длины. Затем производилось определение их длины на установке для определения геометрических параметров гранул (рис. 2.2), и взвешивание. После измерений определялась их влажность [141].

Определение внутреннего диаметра шестигранника поперечного сечения гранул перги определялось на установке для определения геометрических параметров гранул (рис. 2.2). Было проведено 500 замеров.

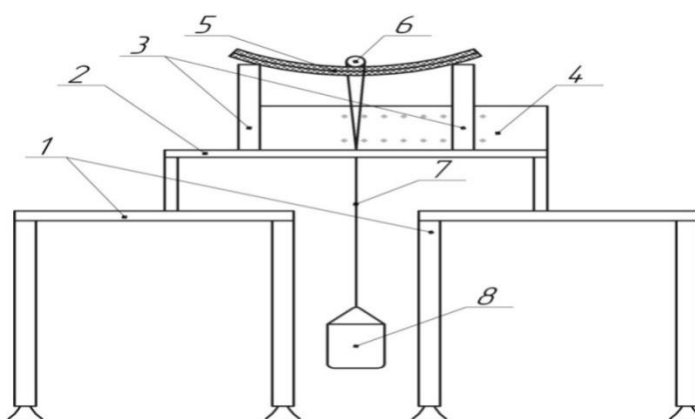


1 – ручка для поднятия штока; 2 – индикаторная головка часового типа; 3 – кронштейн; 4 – шток индикаторной головки; 5 – гранула перги.

Рисунок 2.2– Установка для определения геометрических параметров гранул перги

Исследованием напряжений разрушения пчелиных сотов занимались Буренин К.В., Коваленко М.В., Некрашевич В.Ф. [149]. Следует отметить, что при определении напряжений изгиба очень трудно определить момент сопротивления поперечного сечения сота, так как в поперечном сечении сот неоднороден: вощина, восковые ячейки, а также неравномерность и неоднородность заполнения их пергой. Эти факторы существенно влияют на величину напряжений, и получается значительная ошибка в конечных результатах. Нами предложено оценивать прочность пчелиных сотов по усилиям разрушения.

Для определения усилий разрушения, использовались соты первого года использования со светлым цветом восковой основы и второго года использования с темной восковой основой сота. Из пчелиных сотов выделяли куски заполненные пергой длиной 250 и шириной 50 мм и производили их разрушение на установке, представленной на рисунке 2.3 [149].



1 – стол; 2 – рама; 3 – опоры куска сота; 4 – устройство для перемещения опор; 5 – кусок сота; 6 – пруток; 7 – нить; 8 – ёмкость.

Рисунок 2.3 – Схема установки для двухопорного нагружения куска воскоперговой массы сота

Кусок сота 5 помещали на опоры 3 и крепили зажимами на опорах 3. Посередине куска сота размещали пруток 6 диаметром 15 мм. К краям прутка, через нить 7, подвешивалась ёмкость 8. Расстояние между опорами изменялось посредством устройства 4. В ёмкость 4 равномерным потоком

насыпали песок до момента разрушения сота. Пруток и емкость с песком взвешивали и регистрировали усилие разрушения [149].

На рабочие органы машин, осуществляющих технологические операции переработки пчелиных сотов, возможно налипание перги. Для исследования процесса прокалывания и сушки гранул перги в сотах С.В. Винокуровым, А.В. Лариным и В.Ф. Некрашевичем была определена липкость перги к нержавеющей стали. Так как в предложенной технологии получения пег из пчелиных сотов, перга будет взаимодействовать с рабочими органами машин после сушки, при влажности менее 20 %, то при таких условиях будут проявляться в большей степени адгезионные свойства [128]. Определение адгезионных свойств проводилось по известной методике с использованием прибора Н.А. Качинского [43, 48, 102]. Нами было проведено исследование по определению адгезии перги к нержавеющей стали и металлической пластине покрытой воском.

Величину адгезии перги к пластине определяли по формуле

$$\mu = \frac{m_{\text{отр}} \cdot g}{S_{\text{диск}}}, \quad \text{кПа}, \quad (2.3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$m_{\text{отр}}$ – масса воды в емкости, кг;

$S_{\text{диск}}$ – площадь контакта диска с пергой, $F=0,0025 \text{ м}^2$.

Для определения внутреннего угла трения на горизонтальную поверхность высыпали исследуемый материал из бункера, закрепленного на кронштейне. Затем определяли высоту и диаметр основания образовавшегося конуса.

Коэффициент внутреннего трения $f_{\text{вн}}$ измельченной восковой основы сотов и гранул перги находили по формуле

$$f_{\text{вн}} = \text{tg} \varphi_e = \frac{2 \cdot h_{\kappa}}{a_d}, \quad (2.4)$$

где φ_e – угол естественного откоса;

h_{κ} – высота конуса, м;

a_d – диаметр основания конуса, м.

От внутреннего, статического и динамического коэффициентов трения материала зависит кинематический режим работы машин для получения перги из пчелиных сотов [106, 128].

В момент начала движения и схода материала по поверхности пластины из нержавеющей стали фиксировали углы её наклона [96, 106, 128, 166]. Значение статического коэффициента трения f_{cm} находили по формуле

$$f_{cm} = \operatorname{tg} a_{cm}, \quad (2.5)$$

где a_{cm} – средний угол наклона пластины нержавеющей стали.

Для определения динамического коэффициента трения над пластиной из нержавеющей стали осуществляли перемещением гранул в специальной оправке с измерением усилия динамометром.

Коэффициент динамического трения определяли по формуле

$$f_d = \frac{F_{\text{дин}}}{G_{\text{мат}}}, \quad (2.6)$$

где $F_{\text{дин}}$ – величина силы трения, определенная динамометром, Н;

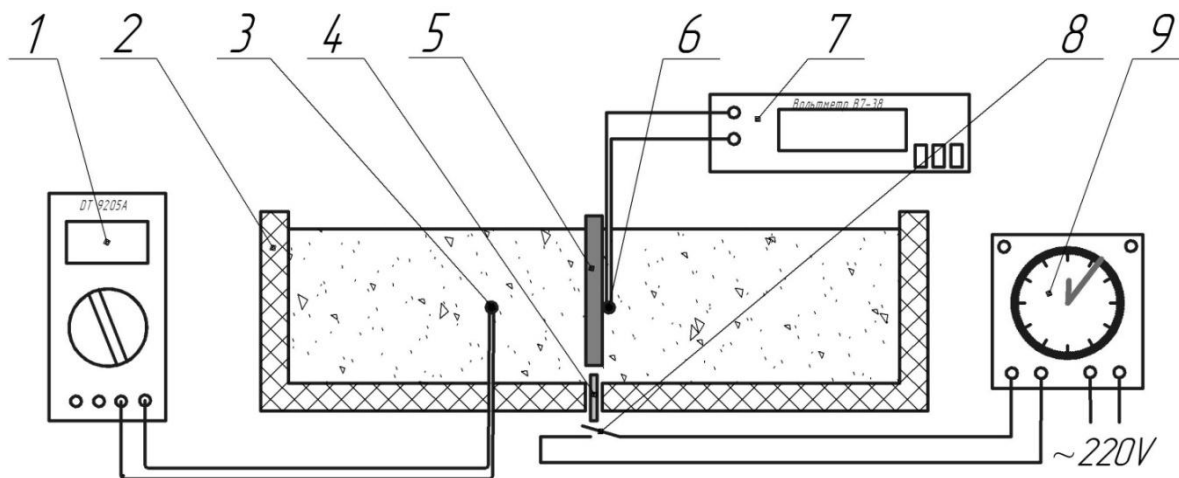
$G_{\text{мат}}$ – вес груза с материалом в оправке, Н.

Для теоретического исследования процессов охлаждения воскоперговой массы сотов, сушки перги и расчета теплового баланса необходимо знать теплофизические свойства перги [143]. Исследованиями теплофизических свойств перги и восковой основы сотов занимались С.В. Винокуров, Н.Б. Нагаев, В.Ф. Некрашевич, А.А. Рогов. Анализ теплофизических свойств веществ и методов их определения [30, 44, 53, 116, 170 и др.] позволил нами выбрать для исследований метод плоского зонда, предложенный А.Ф. Чудновским [106, 152, 240].

Для исследований теплофизических характеристик перги этим методом нами была изготовлена установка, схема которой представлена на рисунке 2.4.

Она состоит из емкости 2 для исследуемого материала, которая выполнена из теплоизоляционного материала. Емкость имеет призматическую форму с размером 175×95×65 мм. В качестве источника

теплового поля используется плоский алюминиевый зонд 5, который устанавливается в центр емкости 2 и имеет размеры $60 \times 30 \times 1,5$ мм.



1 – мультиметр DT-9205A; 2 – емкость; 3 – микротерморезистор MT-54M; 4 – толкатель; 5 – зонд; 6 – микротерморезистор MT-54M; 7 – вольтметр В7-38; 8 – выключатель; 9 – секундомер.

Рисунок 2.4 – Схема установки для определения теплофизических свойств

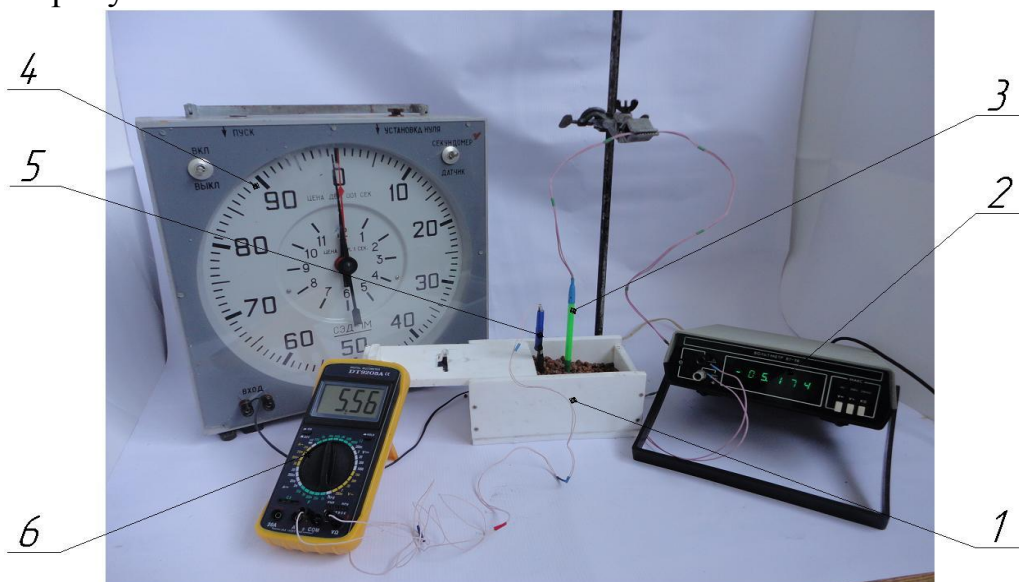
К плоскости зонда 5 прикреплен микротерморезистор (MT-54M конструкции В.Г. Карманова) 6. Микротерморезисторы MT-54M обладают высокой точностью и низкой инерционностью процесса измерения теплового поля. На расстоянии s от зонда расположен второй микротерморезистор (MT-54M конструкции В.Г. Карманова) 3. Чувствительный элемент микротерморезистора помещен во внутренние слои исследуемого материала.

При изменении температуры чувствительного элемента микротерморезисторов марки MT-54M происходит изменение их электрического сопротивления. Для регистрации электрического сопротивления микротерморезисторов 3 и 6 они подсоединены к мультиметру (DT-9205A) 1 и вольтметру (В7-38) 7 соответственно. Перед началом исследований бала проведена тарировка микротерморезисторов 3 и 6 по лабораторному термометру ТЛ-2.

Исследование теплофизических свойств перги проходило следующим образом. Из пчелиных сотов извлекалась перга на агрегате АИП-50. После

выдержки перги в эксикаторе в течение 2 суток определялась её влажность. Подготовленная перга засыпалась в емкость 2 установки. Затем алюминиевый зонд 5 нагревался в вакуумном сушильном шкафу ВШ-0,035 до температуры 46 °С и помещался в емкость 2 с пергой на расстоянии 15 мм от микротерморезистора 3. В нижней части емкости 2, под местом установки зонда 5, размещен толкатель 4. При полном погружении зонда 5 в пергу он нажимает на толкатель 4 и замыкает контакт выключателя 8. В этот момент включается в работу электронный секундомер 9. От нагретого зонда 5 начинает распространяться тепловое поле, которое дойдя до микротерморезистора 3, начинает нагревать его чувствительный элемент. После того как электрическое сопротивление микротерморезистора 3 стало минимальным (температура нагрева достигла максимума) секундомер 9 останавливают и фиксируют показания мультиметра (DT-9205A) 1 и секундомера 9. После чего емкость 2 освобождалась от перги и заполнялась новым материалом. Опыты проводились с трехкратной повторностью каждого уровня.

Общий вид установки для определения теплофизических свойств перги показан на рисунке 2.5.



1 – ёмкость; 2 – вольтметр В7-38; 3 – микротерморезистор МТ-54М; 4 – секундомер СЭД-1М; 5– зонд; 6 – мультиметр DT-9205A.

Рисунок 2.5 – Общий вид установки для определения теплофизических свойств

В результате исследований фиксировались значения температуры зонда до установки в пергу, температуры зонда в момент остановки секундомера и время охлаждения зонда.

По времени охлаждения зонда $t_{\text{зонд}}$ определяли коэффициент температуропроводности a [106, 143, 152]

$$a = \frac{s^2}{2 \cdot t_{\text{зонд}}}, \quad (2.7)$$

где s – расстояние между зондом и микротерморезистором МТ-54М, м;

$t_{\text{зонд}}$ – время охлаждения зонда в перге, с.

Количество теплоты Q потерянной зондом при нахождении в перге

$$Q = m_z \cdot c_{\text{ал}} (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}), \quad (2.8)$$

где m_z – масса зонда, кг;

$c_{\text{ал}}$ – теплоемкость алюминия, Дж/(кг · °С);

$T_{\text{н}}$ – начальная температура зонда, °С;

$T_{\text{к}}$ – конечная температура зонда, °С.

Теплоемкость c перги определялась по формуле

$$c = \ln Q - 0,5 \cdot \ln g - 0,5 \cdot \ln t_{\text{охл}} - 0,5 \cdot \ln (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}) - \frac{s^2}{4 \cdot a \cdot t_{\text{зонд}}} - E, \quad (2.9)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

E – постоянная величина, зависящая от размера и формы зонда.

Величина E определялась по формуле

$$E = \ln 2 + \ln F_z + 0,5 \cdot \ln \pi, \quad (2.10)$$

где F_z – боковая поверхность зонда, м².

Теплопроводность λ перги определялась по формуле

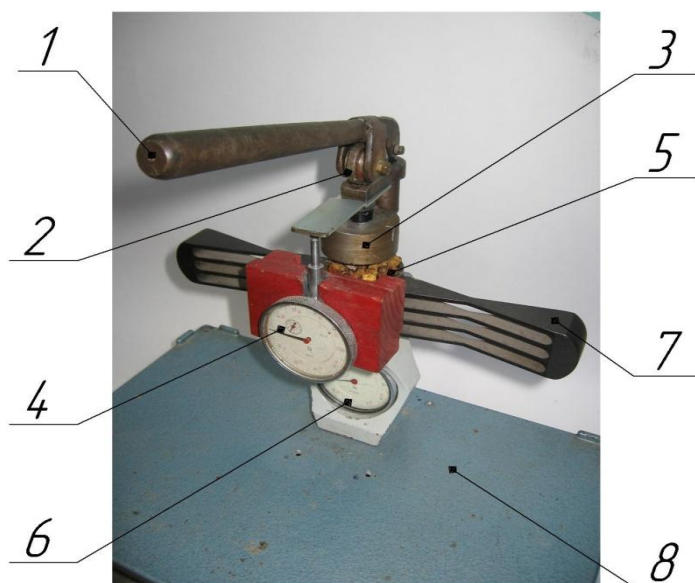
$$\lambda = c \cdot a \cdot \rho, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \quad (2.11)$$

где ρ – плотность перги, кг/м³.

Исследованиями прочности гранул перги занимались К.В. Буренин, С.В. Винокуров, Д.Е. Каширин, А.В. Ларин, В.Ф. Некрашевич. Ими были

определены усилия прокола гранул перги иглой и предел прочности на сжатие. Полученные результаты не учитывают величину деформации гранул перги, а так же влияние температуры на прочность гранул перги [34,62, 81, 148].

Для определения прочности гранул перги в поперечном направлении разработана лабораторная установка, которая позволяет создавать разрушающие усилия в материале и одновременно регистрировать его деформацию (рис. 2.6).



1 – нажимной рычаг; 2 – ролик; 3 – пуансон; 4 – индикатор деформации гранул; 5 – опорная площадка; 6 – индикатор деформации скобы динамометра; 7 – скоба динамометр ДОСМ-3-0,1; 8 – стол.

Рисунок 2.6 – Установка для определения прочности гранул

Установка состоит из нажимного рычага 1, ролика 2, пуансона 3, индикатора деформации гранул перги 4, скобы динамометра (ДОСМ-3-0,1) 7, опорной площадки 5, индикатора деформации скобы динамометра 6 и стола 8 [148].

Перед исследованиями скоба динамометра 7 была протарирован с помощью набора лабораторных грузиков. По полученному тарировочному графику определялось усилие, прилагаемое к гранулам.

Для каждого эксперимента отбирали гранулы перги с одинаковой суммарной длиной. Затем их помещали в климатическую камеру и

выдерживали заданное время при установленной температуре. После чего они помещались на опорную площадку 5. Сверху на гранулы перги опускали пуансон 3 и выставляли стрелки индикаторов 4 и 6 в нулевое положение. После этого прикладывали усилие к нажимному рычагу 1, в результате чего усилие через пуансон 3 передавалось на гранулы перги. Индикатора 4 показывал деформацию гранул в поперечном сечении. Для определения показаний индикатора динамометра 6 в момент 10 % деформации гранул перги использовалась видео съемка верхнего и нижнего индикаторов одновременно одной камерой, с последующим её покадровым просмотром в программе «Pinnacle Studio».

После нескольких испытаний пергу подсушивали и снова определяли прочность гранул. Предел прочности на сжатие в поперечном направлении определялся по формуле [148]

$$P = \frac{F_c}{d_{gp} \cdot l_{gp}}; \quad (2.12)$$

где F_c – наибольшее усилие, прилагаемое к грануле перги при её 10 % деформации, Н;

d_{gp} – диаметр гранулы, м;

l_{gp} – длина гранулы, м;

Исследование прочности гранул проводилось при разной температуре, влажности перги и времени выдержки. Повторность опытов принята пятикратной.

Аэродинамические свойства перги и восковой основы сотов исследовали В.И. Бронников, К.В. Буренин, В.Ф. Некрашевич. С целью уточнения параметров аспирационной системы агрегата АИП-30 были проведены дополнительные исследования, в котором перга и измельченная восковая основа сотов полученных на данном агрегате исследовалась на аэродинамические показатели. Это осуществлялось методом последовательных приближений для обоснования конструктивных параметров установки при изменяющихся условиях окружающей среды и

исходного сырья. Гранулы перги и измельченную восковую основу сотов для проведения исследований получали на измельчителе агрегата АИП-30. Влажность перги составила 14,5%, а воскового сырья – 4%. После полученную пергу и измельченную восковую основу сотов разделяли на наборе сит на фракции.

Определение гранулометрического состава измельченного воскового сырья и перги осуществляли с помощью ситового отсева по ГОСТ 13496.8-72. Для этого бралась навеска материала массой в один килограмм и помещалась на набор сит с диаметрами отверстий 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 мм. В процессе классификации навески на ситах получали фракции со средним размером 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5 мм. Каждую фракцию взвешивали на весах ВЛКТ–500. Средневзвешенный размер навески рассчитывался по формуле [100, 106, 134]

$$l_{cp} = \frac{0,5 \cdot m_0 + 1,5 \cdot m_1 + 2,5 \cdot m_2 + 3,5 \cdot m_3 + 4,5 \cdot m_4 + 5,5 \cdot m_5 + 6,5 \cdot m_6 + 7,5 \cdot m_7}{m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7} \quad (2.13)$$

где $m_1, m_2, m_3 \dots m_7$ – масса фракций на ситах с размерами отверстий 0,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 мм соответственно, грамм.

Для обоснования конструктивно-технологических параметров пневмосепаратора и барабанной сушилки, входящих в технологическую линию, необходимо знать аэродинамические свойства гранул перги и измельченной восковой основы сотов. Определение скорости витания частиц проводили на аспирационной установке СМ-0,15 [106, 134].

Сначала в аспирационном канале устанавливалась скорость 0,5 м/с. Фракцию перед проведением опыта взвешивали на весах и через загрузочный лоток подавали в аспирационный канал. Мелкие частицы воздушным потоком перемещались в циклон. Остальные частицы фракции перемещались в емкость под аспирационным каналом.

Процент частиц, улетевших при установленной скорости воздушного потока, определяли по формуле [134]

$$N = \frac{M_o - M_{ост}}{M_o} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

где M_o – общая масса фракции, грамм;

$M_{ост}$ – масса оставшихся частиц, грамм.

Затем скорость воздушного потока в аспирационном канале увеличивали на 0,5 м/с и оставшаяся часть фракции снова засыпалась в него. Повышение скорости воздушного потока проводили до тех пор, пока все частицы не улетят в циклон.

Результаты исследования свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы представлены в приложении А.

2.2. Результаты обоснования требований получения перги из пчелиных сотов

По результатам исследований построены распределения значения массы гранул перги, восковой основы и деревянной рамки сота (рис. 2.7, 2.8, 2.9).

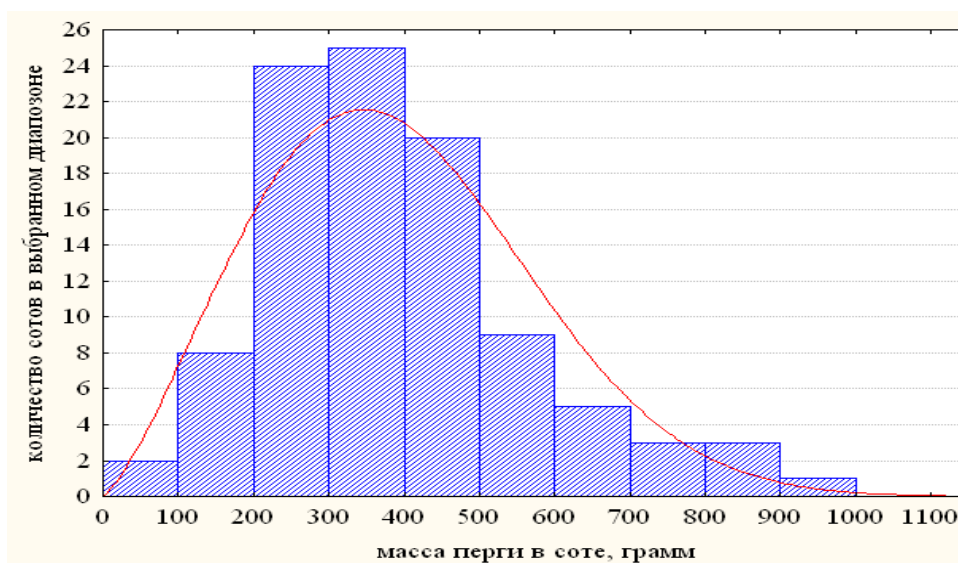


Рисунок 2.7 – Частное распределение значения массы гранул перги в соте

Среднее значение массы гранул перги в сотах 312,5 грамм и составляет 41,82 % от массы пчелиного сота. Однако значение массы перги в сотах сильно колеблется в пределах от 72 до 955 грамм.

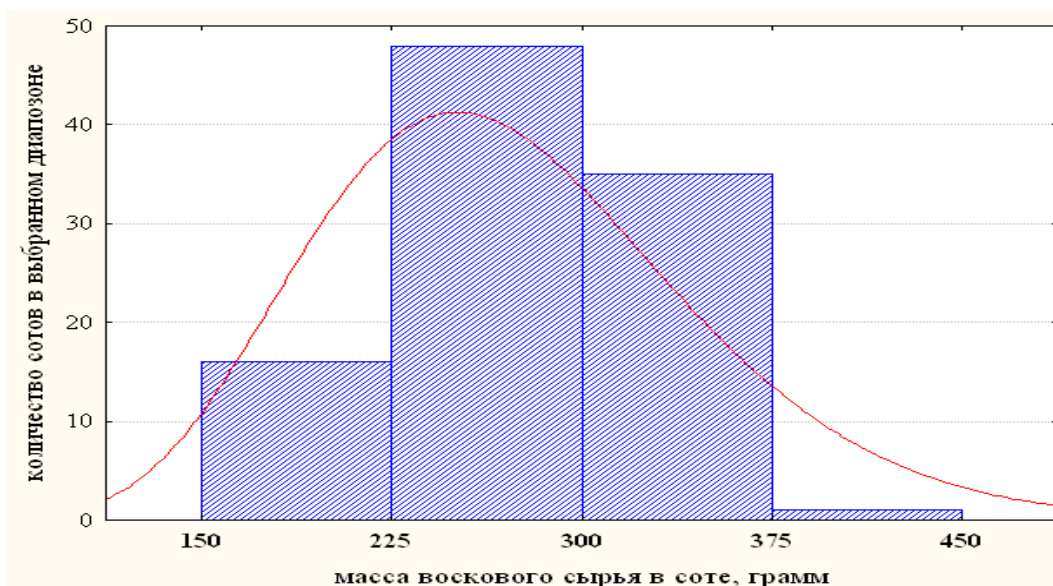


Рисунок 2.8 – Частное распределение значения массы восковой основы сота

Среднее значение массы восковой основы сота 231,2 грамма, что составляет 30,94 % от массы пчелиного сота. Статистический анализ показал, что 16% сотов имеют 100...200 грамм восковой основы. Как правило, это соты первого года использования. Соты второго года использования имеют массу восковой основы 200...400 грамм, что соответствует 83%. Это связано с тем, что в процессе использования сотов пчелами восковая основа сотов загрязняется различными примесями и меняет свой цвет со светлого на коричневый и темный.

Среднее значение массы рамки в сотах составляет 203,6 грамма или 27,24 % от массы пчелиного сота. Масса деревянных рамок исследованных сотов лежит в пределах от 155 до 292 граммов. Это связано с особенностями конструкций рамок и породы древесины, из которой они изготовлены. Данные результатов полученные для среднерусской породы пчёл. При анализе содержания перги, восковой основы сотов учитывались данные

полученные с пасек расположенных на луговом разнотравье Кораблинского района Рязанской области.

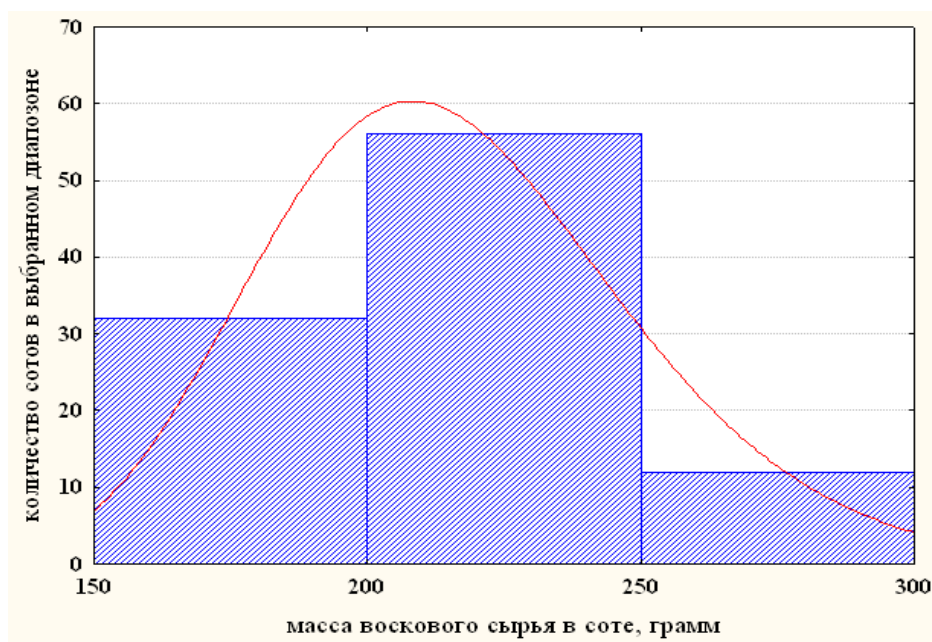


Рисунок 2.9 – Частное распределение значения массы рамки сота

Анализируя полученные результаты необходимо отметить следующее. Из всех составляющих компонентов массовая доля перги в сотах наибольшая, она составляет в среднем 41,82 % от массы сота. Однако вместе с этим у перги наблюдается самое большое отклонение ее массы в соте от среднестатистического значения.

Это объясняется тем, что пчелы делают запасы перги в сотах неравномерно. Масса восковой основы сота варьируется значительно меньше, и эти изменения в основном связаны со временем использования сотов. Чем больше срок службы сотов, тем толще стенки восковых ячеек. Масса рамок исследуемых сотов отличается меньше и является наиболее близкой к среднестатистическому значению. Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований [141].

Из всего сказанного можно заключить, что масса рамок и восковой основы сотов является более постоянной, чем масса перги находящейся в соте. Поэтому зная массу пчелиного сота и массу сота без перги, можно определить приблизительную массу перги, находящейся в соте.

По результатам статистической обработки экспериментальных данных, полученных при исследовании 100 пчелиных сотов, были построены гистограммы размещения гранул перги по длине и ширине пчелиного сота (рис. 2.10, 2.11).

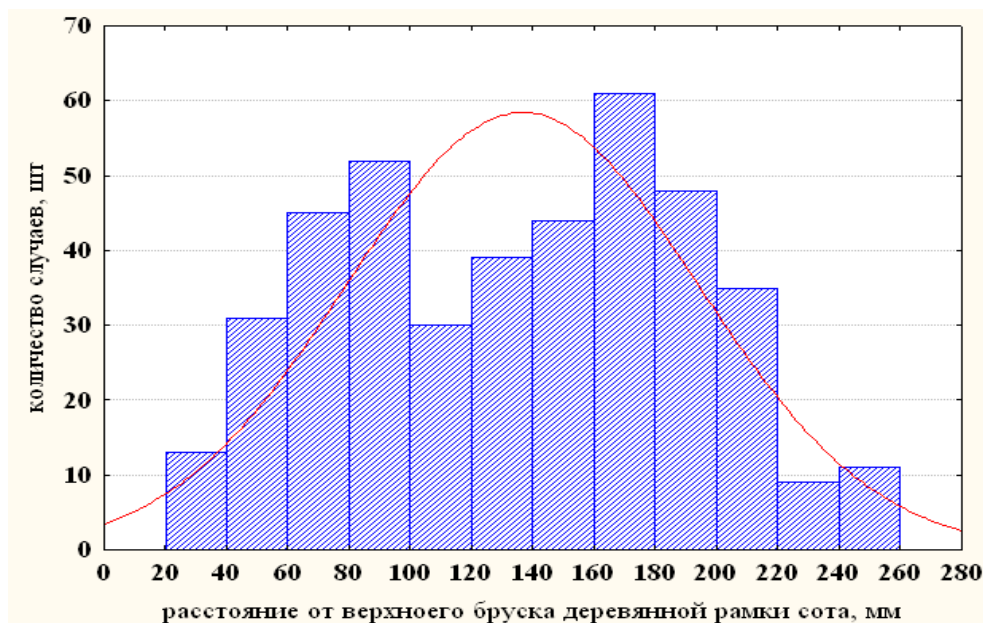


Рисунок 2.10 – Гистограмма размещения гранул перги по ширине сота

Из анализа рисунка 2.10 видно, что первые два ряда ячеек от брусков деревянной рамки сотов не заполнены гранулами перги. Ближе к центру сотов количество случаев заполнения ячеек гранулами увеличивается [141].

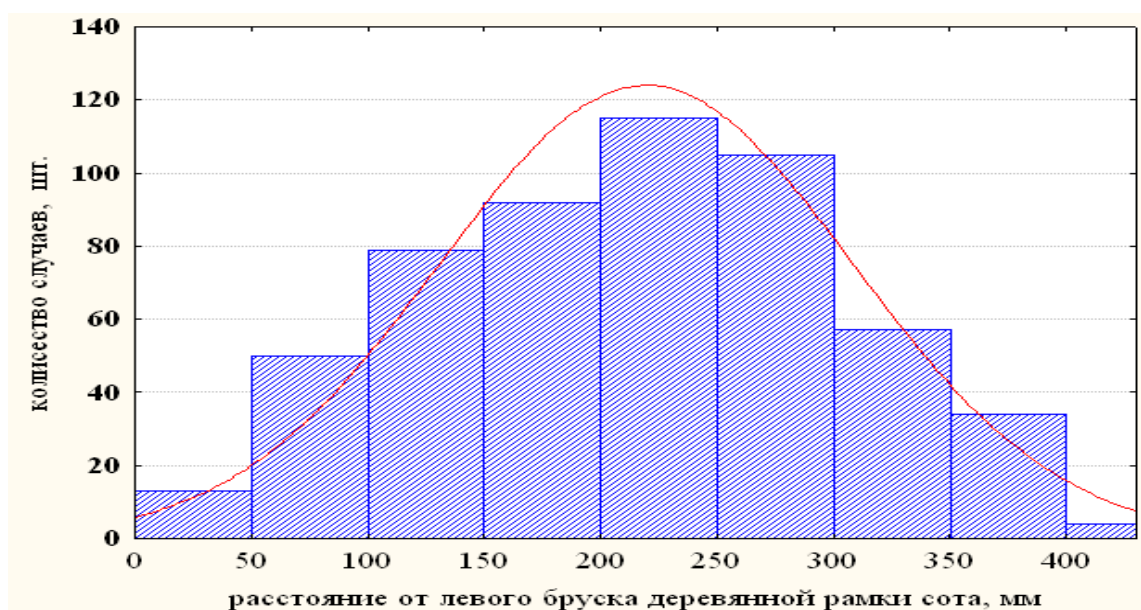


Рисунок 2.11 – Гистограмма размещения гранул перги по длине сота

Анализируя графическую зависимость на рисунке 2.11 можно отметить, что размещение гранул перги от правого и левого бруска рамки сота происходит по одинаковому закону.

В результате представленных данных видно, что пчелы в большинстве случаев закладывают пергу в центральной части сота.

Анализ работ посвященных расположению перги в пчелиных сотах показывает хаотичность её расположения [72, 81, 139,141]. В тоже время М.В. Коваленко, В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженкова, также исследовали вопросы расположения перги в пчелиных сотах. Они получили сопоставимые результаты по размещению пчелами перги в сотах. Таким образом, можно сделать вывод, что основным местом размещения перги является центральная часть сота, в которой находится около 75% от общего количества перги, при этом 25% гранул перги может располагаться по периферии пчелиного сота.

Для определения усилий разрушения сота было деформировано 100 кусков восковой основы сотов с пергой. По результатам статистической обработки экспериментальных данных были получены зависимости усилий разрушения воскоперговой массы сота при двухпорном нагружении (рис. 2.12).

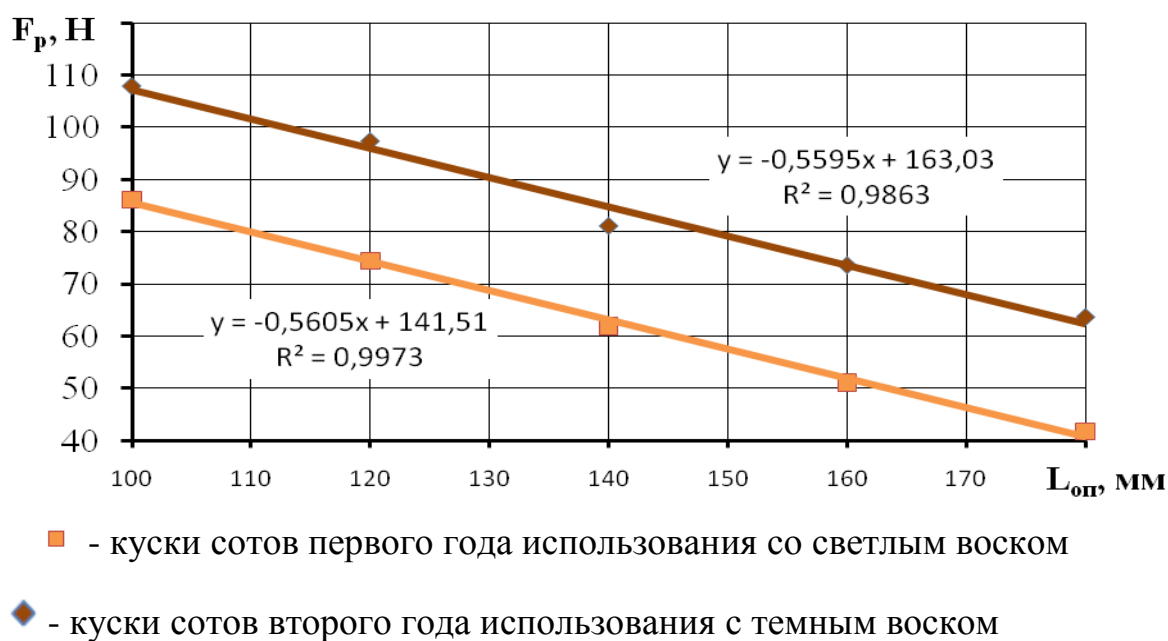


Рисунок 2.12 – Зависимость усилий разрушения воскоперговой массы сота от расстояния между опорами

Из зависимостей видно (рис. 2.12), что при уменьшении расстояния между опорами от 180 до 100 мм усилия разрушения воскоперговой массы сотов первого года использования увеличиваются с 41,7 до 86,1 Н, а у второго года использования с 63,7 до 107,8 Н.

Следует отметить, что консольное нагружение достаточно редко встречается в заполненных пчелиных сотах. Полученные нами данные несколько отличаются от результатов исследований М.В. Коваленко и В.Ф. Некрашевича [149]. Определение разрушающего усилия позволяет намного проще использовать полученные результаты при расчете машин для центробежной скарификации и выделения воскоперговой массы сотов.

По результатам определения величины заполнения восковых ячеек пчелиных сотов пергой было построено частное распределение длины гранул в ячейках сота (рис. 2.13).

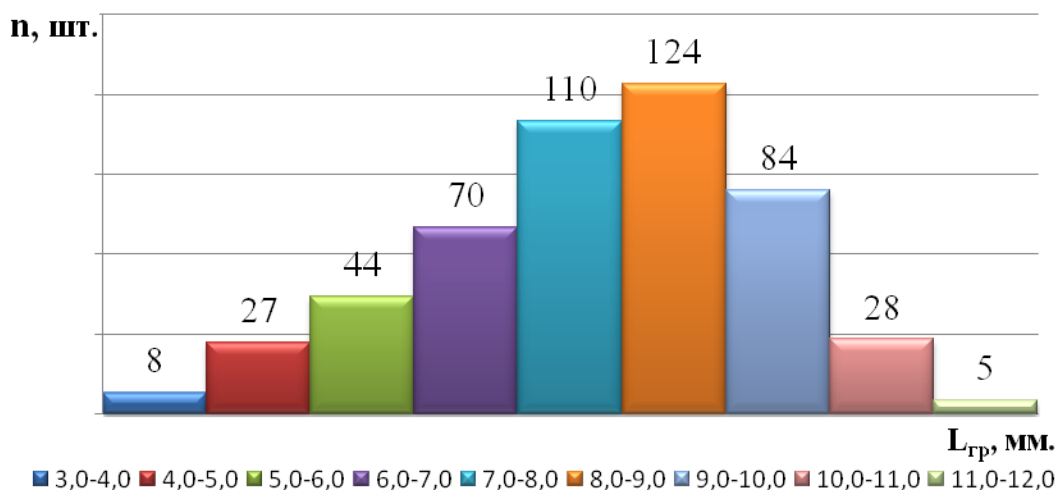


Рисунок 2.13 – Частное распределение длины гранул перги в ячейках сота

Анализ частного распределения (рис. 2.13) показал, что пчелы в ячейках сотов формируют гранулы перги, длина которых лежит в диапазоне от 3,8 до 11,9 мм. Длина 77,6 % сформированных гранул перги лежит в пределах 6...10 мм и зависит от высоты стенок восковых ячеек сота. Как правило, гранула перги занимает 50...75 % объема ячейки сота. Среднестатистическая длина всех обследованных гранул перги составила 7,2 мм [141].

По результатам исследования поперечного сечения выделенных из сотов гранул перги была построена гистограмма (рис. 2.14)

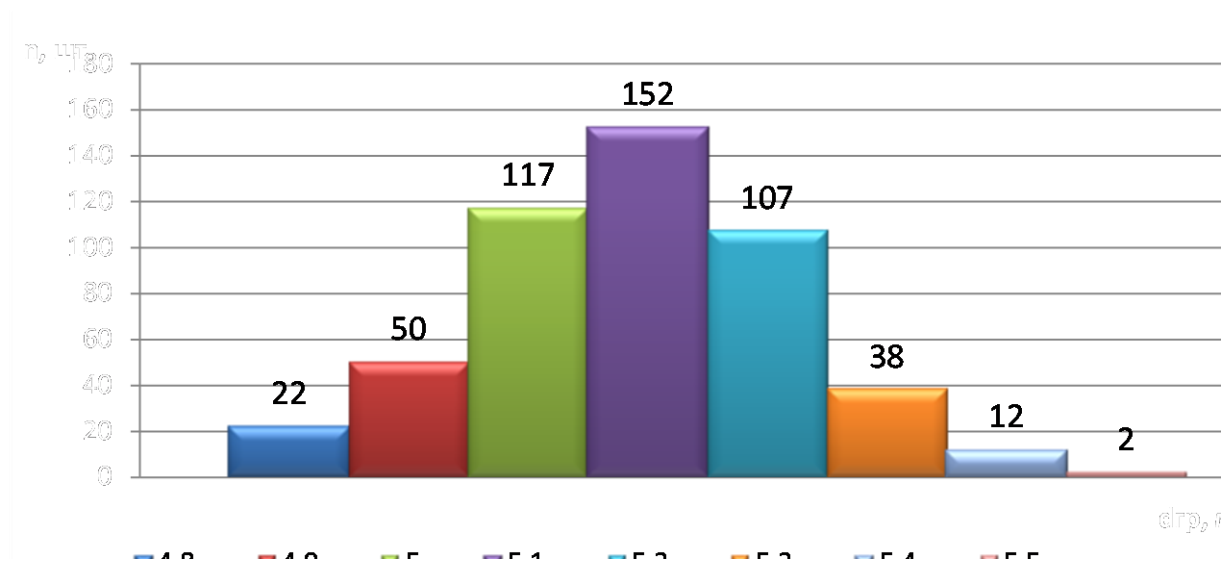


Рисунок 2.14 – Гистограмма диаметра перговой гранулы

Анализируя гистограмму (рис. 2.14), следует отметить, что диаметр окружности, вписанной в шестигранник поперечного сечения гранул, лежит в диапазоне от 4,8 мм до 5,5 мм. Поперечное сечение гранул зависит от габаритных размеров восковых ячеек сотов, в которых они заготовлены. Увеличение продолжительности использования восковой основы сотов в технологии содержания пчелиной семьи приводит к уменьшению диаметра шестигранника ячеек сота и приближает форму перговых гранул к цилиндру.

Среднестатистическое значение диаметра окружности вписанной в шестигранник поперечного сечения извлеченных гранул перги составило 5,09 мм [141].

Для теоретического исследования процессов центробежной скарификации сотов, сепарации измельченных сотов через выгрузную решетку измельчителя, движения материала в барабане сушилки необходимо знать массу гранул перги.

По результатам проведенных измерений была получена зависимость массы гранулы от её длины (рис. 2.15).

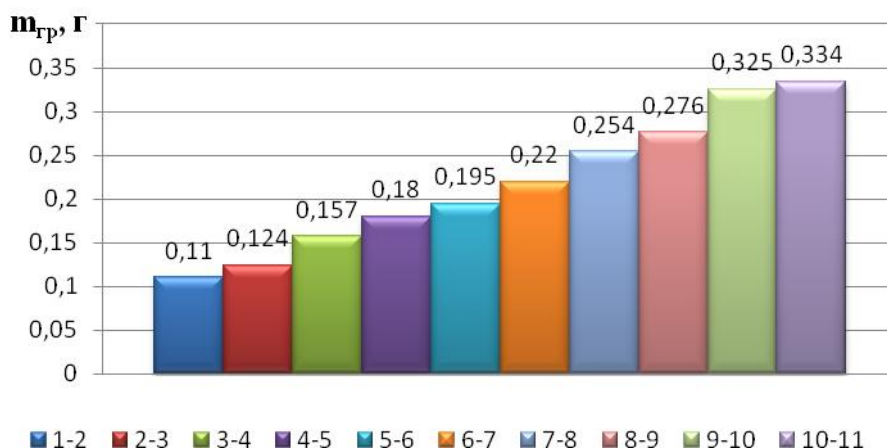


Рисунок 2.15 – Зависимость массы гранулы от её длины

Из полученной зависимости видно, что при увеличении длины извлеченных из сота гранул с 3 до 11 мм увеличивается их масса от 0,157 до 0,334 грамма. Масса гранулы перги со среднестатистическими размерами составляет 0,20...0,21 грамма [141].

Теоретическое описание процессов взаимодействия материалов с рабочими органами машин для получения перги из пчелиных сотов неразрывно связано с силами трения, для определения которых необходимо знать коэффициенты трения. При работе машин для измельчения сотов исследования проводятся в установившемся режиме, поэтому важно понимать динамический коэффициент трения. В исследованиях К.В. Буренина, В.И. Бронникова, А.В. Ларинна, Д.Е. Каширина в основном определяется коэффициент трения покоя, который в среднем на 10-25 % выше. Кроме того нами исследованы коэффициент трения для кусков сотов заполненных пергой. Полученные данные согласуются с ранее проведенными исследованиями. Результаты исследования зависимости коэффициентов трения гранул перги о нержавеющую сталь от её влажности W представлены на рисунке 2.16.

Из рисунка 2.16 видно, что с увеличением влажности перги происходит увеличение коэффициентов трения. При увеличении влажности перги от 8,8 до 18,2% статический коэффициент трения увеличивается с 0,40 до 0,55, а динамический коэффициент трения с 0,28 до 0,41. Коэффициент

внутреннего трения при увеличении влажности перги от 10,19 до 17,37% увеличивается с 0,52 до 0,72. Данное явление характерно для большинства сыпучих материалов и объясняется увеличением количества влаги на поверхности частиц материала, где начинают проявляться законы межмолекулярного сцепления.

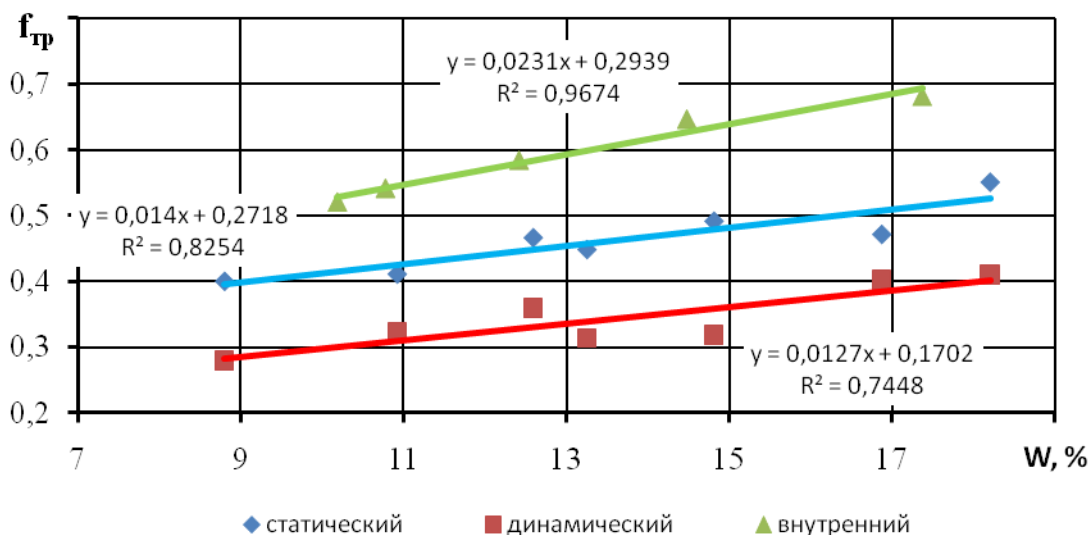


Рисунок 2.16 – Зависимость коэффициентов трения $f_{тр}$ перги о нержавеющую сталь от её влажности W

По результату полученных данных была построена графическая зависимость влияния температуры куска сота, заполненного пергой, на коэффициент трения о нержавеющую сталь (рис. 2.17).

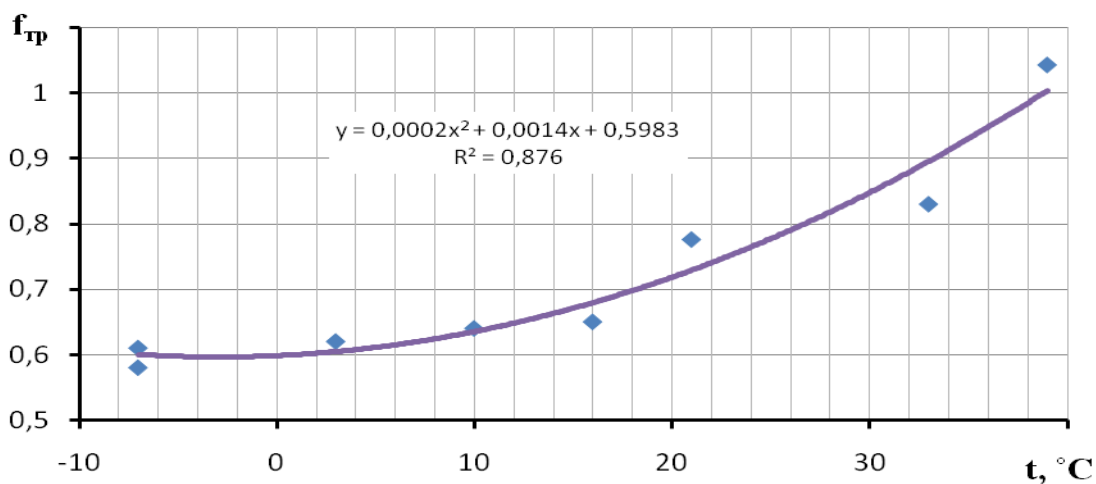


Рисунок 2.17 – Зависимость влияния температуры куска сота, заполненного пергой, на коэффициент трения о нержавеющую сталь

Из графической зависимости видно, что при увеличении температуры куска сота от -7°C до 40°C коэффициент трения о нержавеющую сталь так же увеличивается от 0,61 до 0,98. В диапазоне температур от -7 до 5°C коэффициент трения о нержавеющую сталь практически не изменяется, а при увеличении температуры свыше 5°C он начинает резко увеличиваться. Это связано с тем, что при температурах около 0°C у восковой основы сота преобладают свойства хрупкости, а при его нагреве начинают преобладать свойства липкости. Лабораторные исследования показали, что восковая основы сотов, охлажденная ниже температуры 10°C , перестает налипать на поверхность из нержавеющей стали [128].

Для исследования коэффициентов трения восковых частиц о нержавеющую сталь использовалась восковая основа сотов, измельченная в измельчителе агрегата АИП-30 [166].

По результатам исследований были построены зависимости статического и динамического коэффициентов трения измельченной восковой основы сотов о нержавеющую сталь от температуры (рис. 2.18 и 2.19).

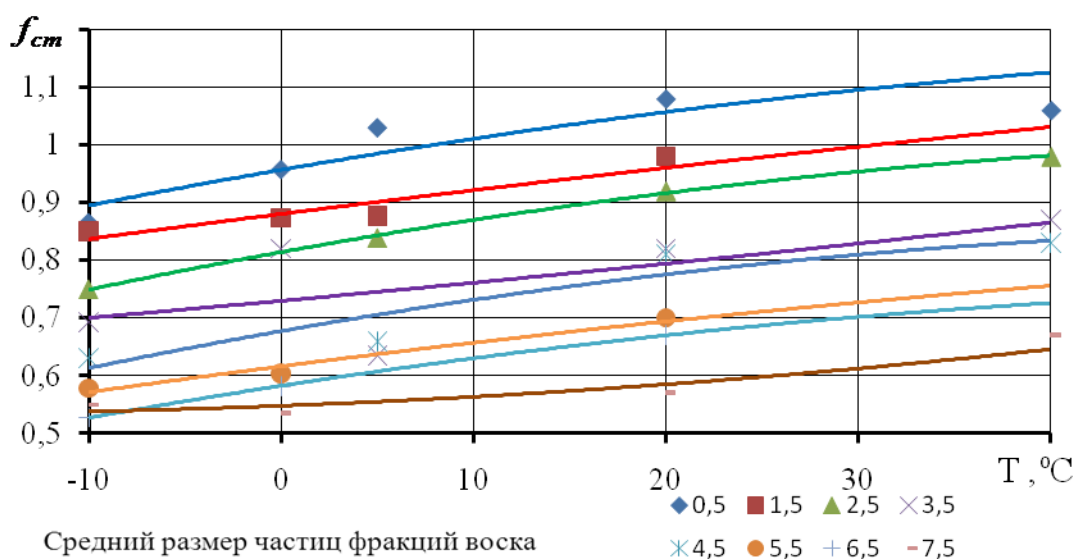


Рисунок 2.18 – Зависимость статического коэффициента трения f_{cm} измельченной восковой основы сотов о сталь от её температуры T

Из рисунка 2.18 видно, что с увеличением температуры измельченной восковой основы сотов от -10 до 40°C статический коэффициент трения о

сталь увеличивается для фракции со средним размером частиц 3,5 мм с 0,692 до 0,87. Причем с увеличением температуры происходит замедления нарастания коэффициентов при температуре около 40 °С силы трения стабилизируются. Дальнейшее увеличение температуры приводит к размягчению воска и изменению сил трения на адгезионные силы. Увеличение среднего размера частиц, охлажденных до температуры 0°С, с 0,5 до 7,5 мм приводит к снижению статического коэффициента трения с 0,957 до 0,535 [166]. При понижении температуры измельченной восковой основы сотов адгезия воска начинает уменьшаться, межмолекулярные силы сцепления снижаются, что приводит к снижению статического коэффициента трения.

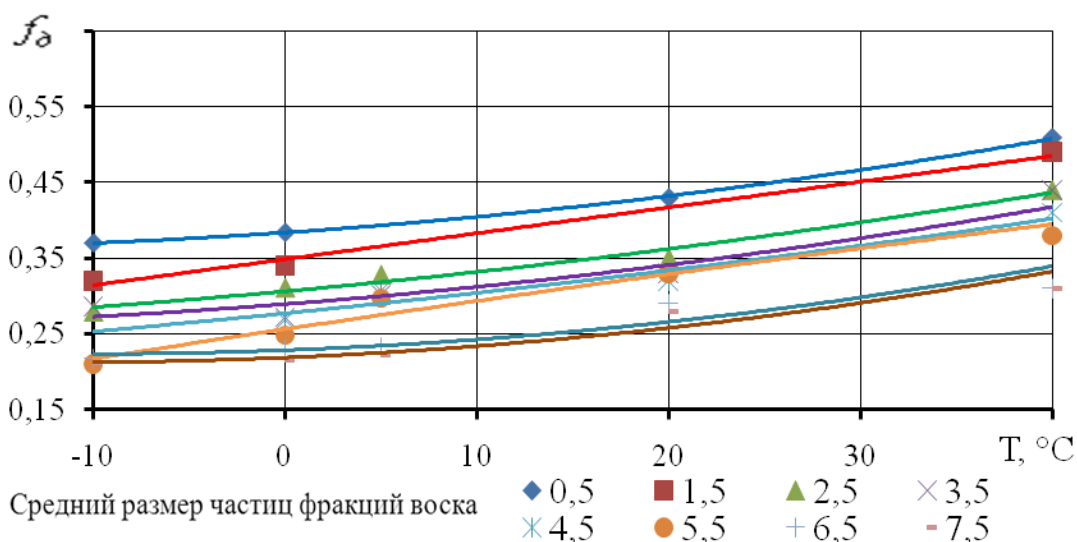


Рисунок 2.19 – Зависимость динамического коэффициента трения f_d измельченной восковой основы сотов о сталь от её температуры T

Из рисунка 2.19 видно, что с увеличением температуры измельченной восковой основы сотов от -10 до 40°С динамический коэффициент трения о сталь с увеличением температуры прогрессивно увеличивается по сравнению со статическим коэффициентом трения. Это обусловлено тем, что при определении динамического трения происходит протаскивание материала по металлической поверхности воск нагревается и проявляется действие адгезионных сил, то есть восковая основа прилипает к металлическому основанию. Увеличение температуры материала в измельчителе для

исключения залипания рабочих поверхностей не должна превышать 10 °С. Для фракции со средним размером частиц 3,5 мм увеличивается с 0,286 до 0,44, а при увеличении среднего размера частиц от 0,5 до 7,5 мм (при температуре 0°С) он снижается с 0,384 до 0,215 [166].

Адгезия перги к нержавеющей стали определялась при температуре 25 °С. По результатам исследований была получена зависимость адгезии перги к поверхности из нержавеющей стали от влажности, представленная на рисунке 2.20.

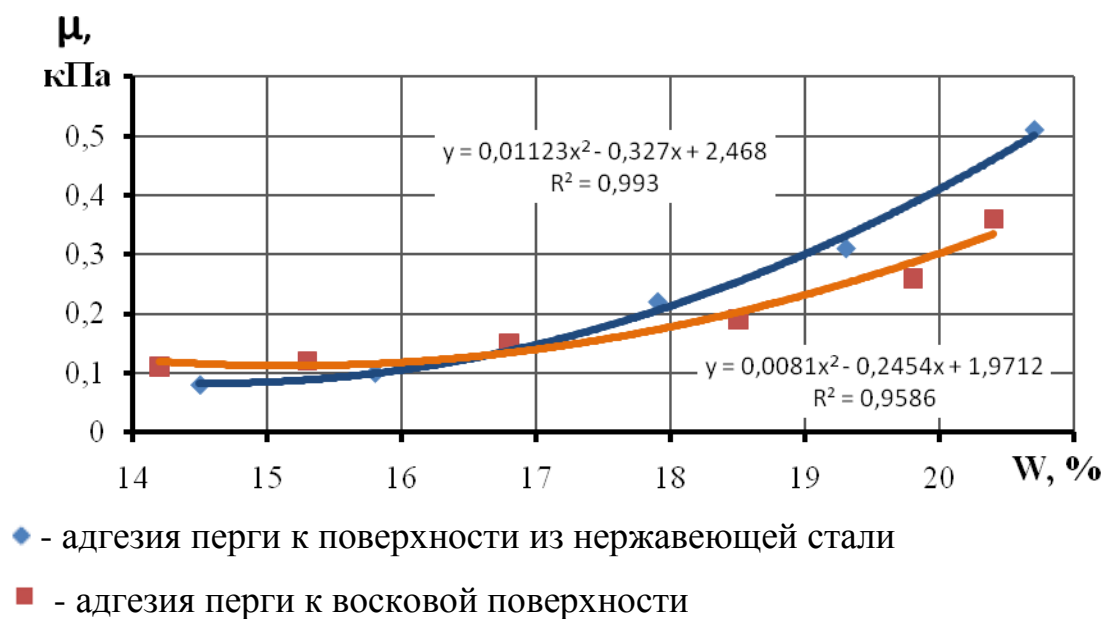


Рисунок 2.20 – Зависимость адгезии перги к поверхности от влажности

Из приведенных зависимостей (2.20) видно, что при уменьшении влажности с 20,7 до 14,5 % происходит значительное снижение адгезии с 0,51 кПа до 0,08 кПа или в 6,4 раза. Из этого можно заключить, что при влажности 14...15 % прилипание перги к рабочим органам машин практически не происходит.

При исследовании адгезии перги с воском обнаружено, что влажность перги менее существенно влияет на адгезию. Это обусловлено тем, что восковая подложка несколько деформируется при прижатии гранул, образуются дополнительные поверхности с небольшими зазорами. Учитывая, что воск обладает гидрофобными свойствами величина адгезии при

повышении влажности будет меняться меньше по сравнению с нержавеющей сталью. В тоже время при снижении влажности величина адгезии уменьшается. Это позволяет сделать вывод, что для лучшего извлечения перги следует производить предварительную сушку перги в сотах.

Теплофизические характеристики гранул определялись при температуре 25⁰С в зависимости от влажности. При исследовании зависимости теплофизических свойств гранул перги влажность варьировалась в пределах от 12 до 20%, что соответствует производственным условиям процесса сушки.

По результатам исследований были построены зависимости теплоемкости (c), коэффициентов температуропроводности (a) и теплопроводности (λ) от влажности гранул перги (рис. 2.21, 2.22 и 2.23).

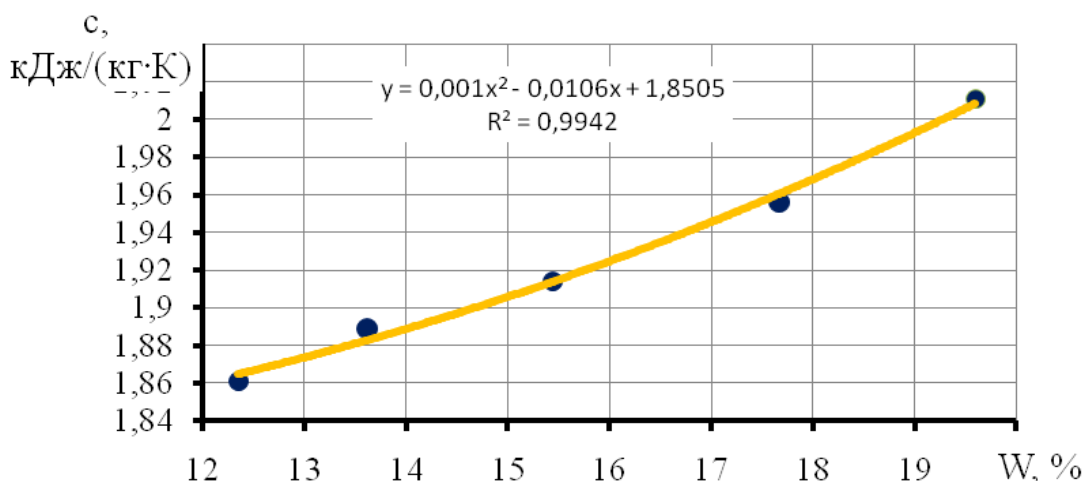


Рисунок 2.21 – Зависимость теплоемкости от влажности гранул

При уменьшении массовой доли влаги в гранулах перги с 19,6 до 12,35% происходит уменьшение теплоемкости с 2,201 до 1,861 кДж/(кг·К), коэффициента температуропроводности с $1,3 \cdot 10^{-7}$ до $1,08 \cdot 10^{-7}$ м²/с и коэффициента теплопроводности с 0,299 до 0,231 Вт/(м·К).

Анализируя зависимости, представленные на рисунках 2.21, 2.22 и 2.23, можно отметить, что при снижении влажности гранул перги при сушке все теплофизические коэффициенты будут уменьшаться.

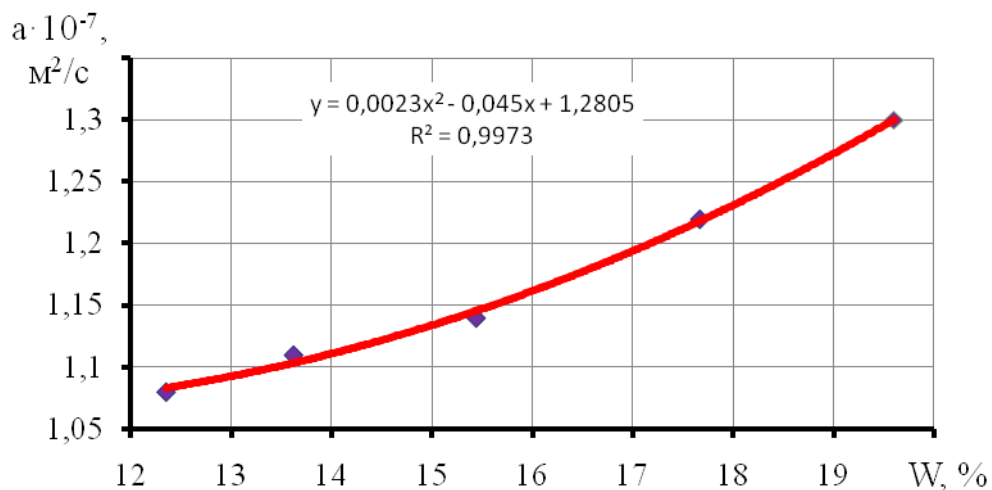


Рисунок 2.22 – Зависимость коэффициента температуропроводности от влажности гранул

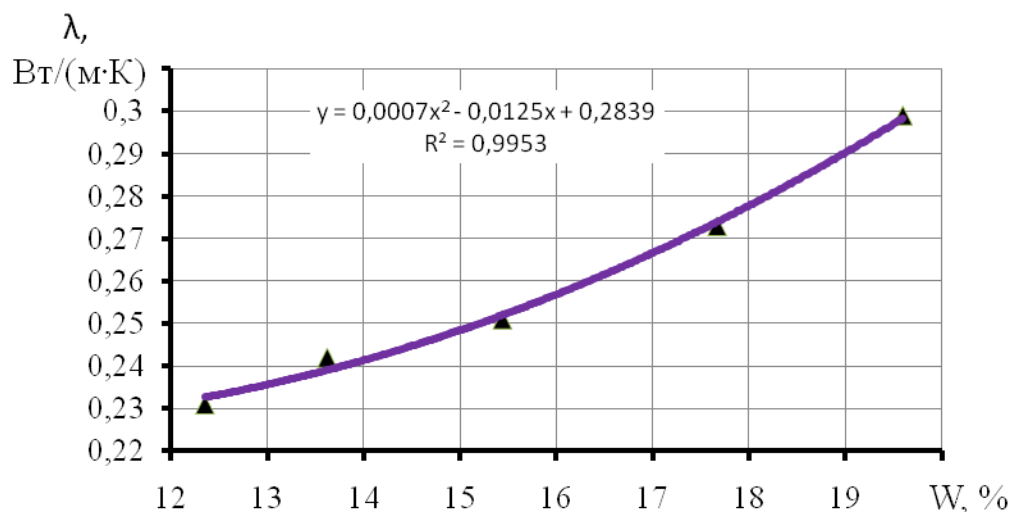


Рисунок 2.23 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности гранул

Такое поведение теплофизических коэффициентов характерно для многих гранулированных материалов растительного происхождения. Объясняется это уменьшением количества влаги на поверхности контакта гранул перги [44, 143, 170]. Теплофизические свойства перги также приводятся в работе С.В. Винокурова. Однако нашими исследованиями установлено, что коэффициенты теплоемкости, температуропроводности и теплопроводности прогрессивно возрастают с увеличением влажности, что

соответствует полиномиальной зависимости. В работах С.В. Винокурова имеет линейный характер, что сказывается на точности расчетов сушильного оборудования.

Определение предела прочности гранул на сжатие в поперечном направлении проводилось при разной влажности перги и температуре охлаждения с 60 минутным временем выдержки гранул [148].

В результате обработки экспериментальных данных были построены зависимости, представленные на рисунке 2.24.

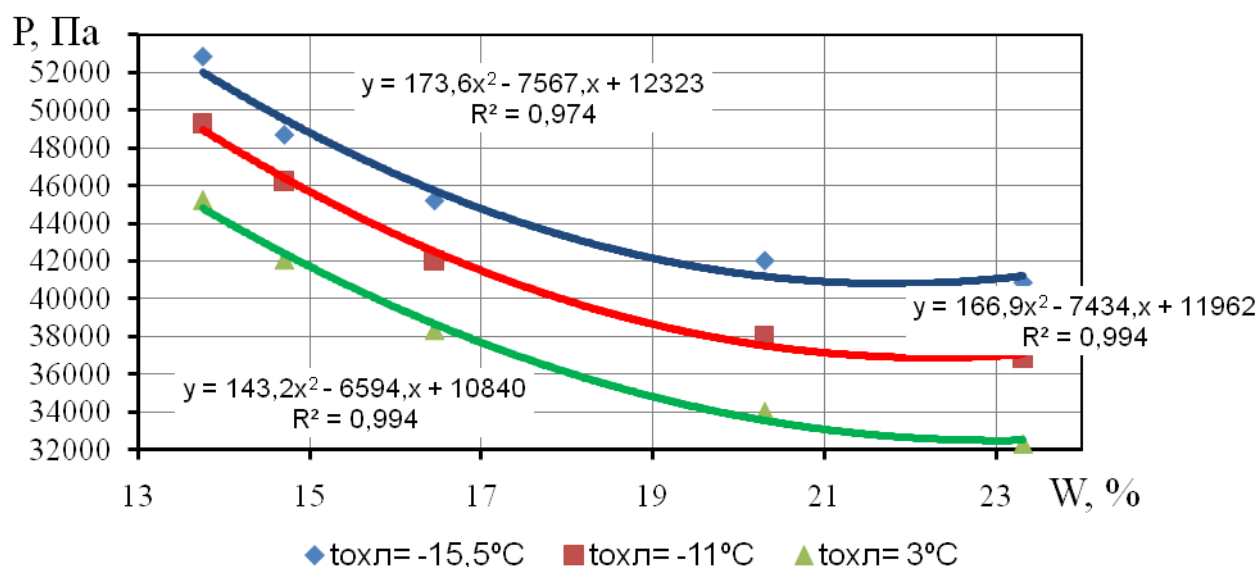


Рисунок 2.24 – Зависимость предела прочности гранул перги на сжатие в поперечном направлении от влажности

Анализируя полученные зависимости можно сделать выводы о том, что сушка перги в сотах до влажности 14...15 % приводит к увеличению предела прочности гранул перги на сжатие в поперечном направлении, даже при незначительной температуре охлаждения. Экспериментальные исследования показали, что извлечение гранул перги из сотов, без их разрушения при внешнем воздействии, можно при их прочности в поперечном направлении не ниже 40 кПа [148].

По результатам ситового отсева перги извлеченной на агрегате АИП-30 была построена диаграмма распределения частиц перги от среднего размера фракции (рис. 2.25.).

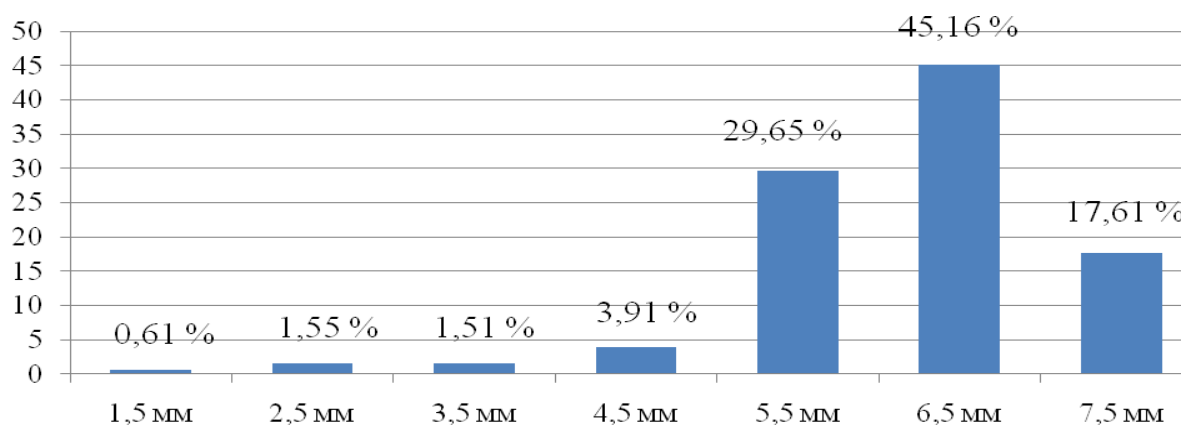


Рисунок 2.25 – Распределение частиц перги от среднего размера фракции

Из гистограммы распределения фракций перги видно, что 45% извлеченной из сотов перги это целые гранулы со средним размером 6,5 мм. Фракции перги 5,5; 6,5 и 7,5 мм представляют собой целые гранулы, разной длины, и в общем составе их не менее 90%. Средневзвешенный размер частиц перги составил 6,2 мм [134]. По результатам исследования аэродинамических свойств частиц перги была получена зависимость, представленная на рисунке 2.26.

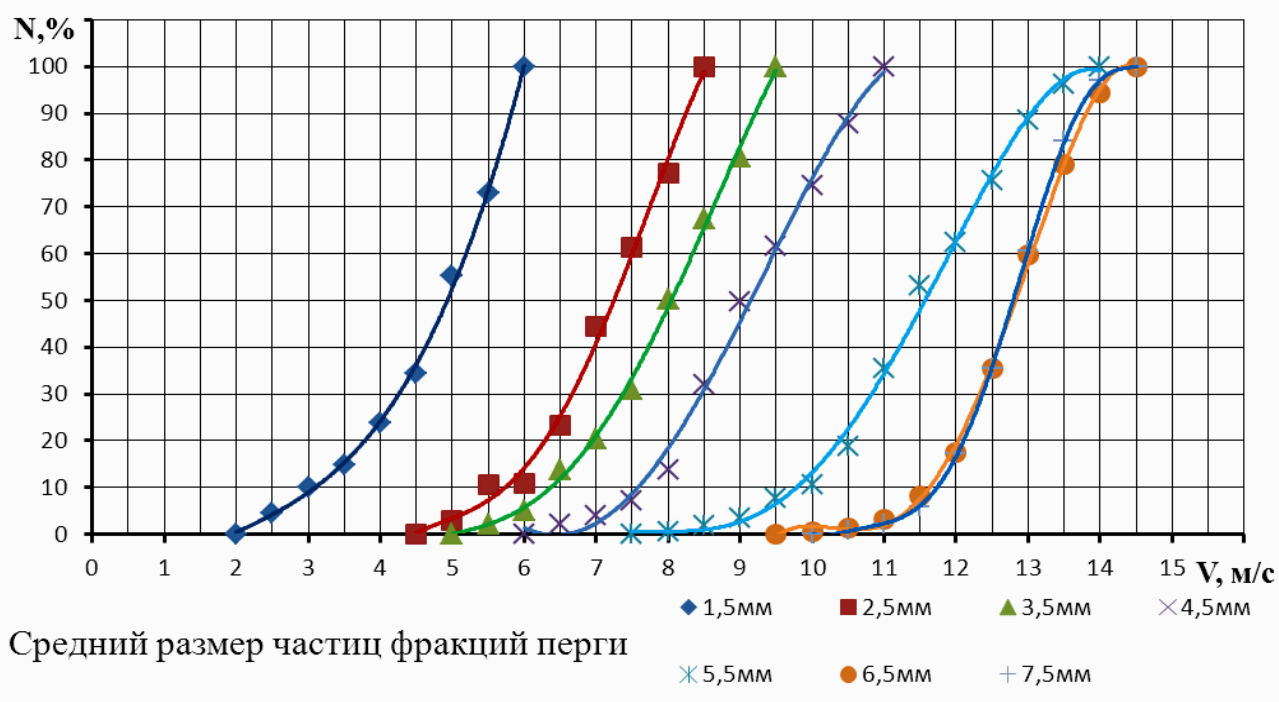


Рисунок 2.26 – Зависимость количества пневмотранспортированных частиц перги от скорости воздушного потока

Анализируя зависимость (рис. 2.26) можно отметить, что фракции со средним размером частиц от 1,5 до 5,5 мм равномерно распределены по скорости воздушного потока, а 6,5 и 7,5 мм совпадают. Скорость витания целых гранул перги начинается от 7,5 м/с [134].

По результатам ситового отсева измельченной восковой основы сотов была построена круговая диаграмма распределения частиц от их среднего размера (рис. 2.27).

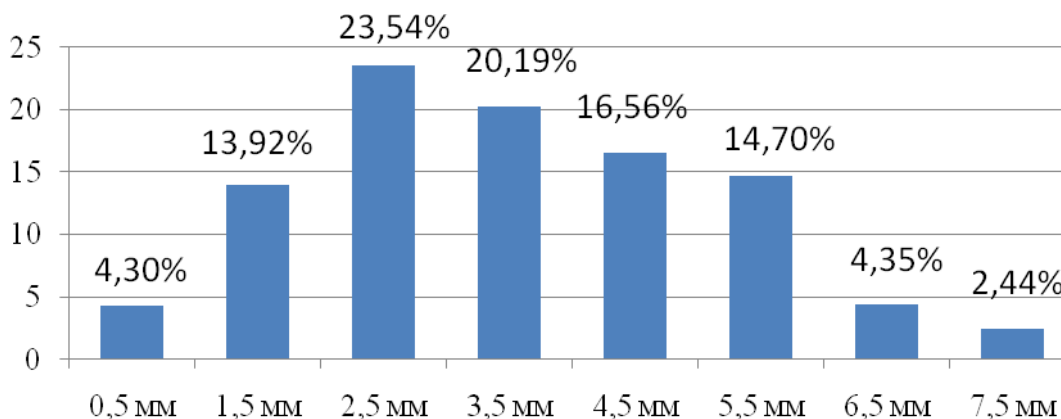


Рисунок 2.27 – Распределение измельченной восковой основы сотов по фракциям

Из диаграммы видно, что фракции со средним размером частиц от 1,5 до 5,5 мм составляют не менее 88% измельченной восковой основы сотов. Анализируя фракции измельченной восковой основы сотов от 5,5 до 7,5 мм, которые соответствуют целым гранулам перги, можно отметить, что их не более 21,5% от общей массы. Средневзвешенный размер частиц измельченной восковой основы сотов составил 3,5 мм [134].

По результатам исследования аэродинамических свойств измельченной восковой основы сотов была получена зависимость, представленная на рисунке 2.28.

Из зависимости видно, что скорости витания частиц измельченной восковой основы сотов от 3 до 6 мм практически совпадают. Анализ гранулометрического состава показал, что эти частицы очень близки по массе и представляют собой кусочки сотовой структуры различной толщины и формы.

Крупные фракции с размером частиц от 6 до 8 мм представляют собой частицы средостения сота. Для их пневмотранспортирования требуется скорость потока воздуха не менее 3 м/с [134].

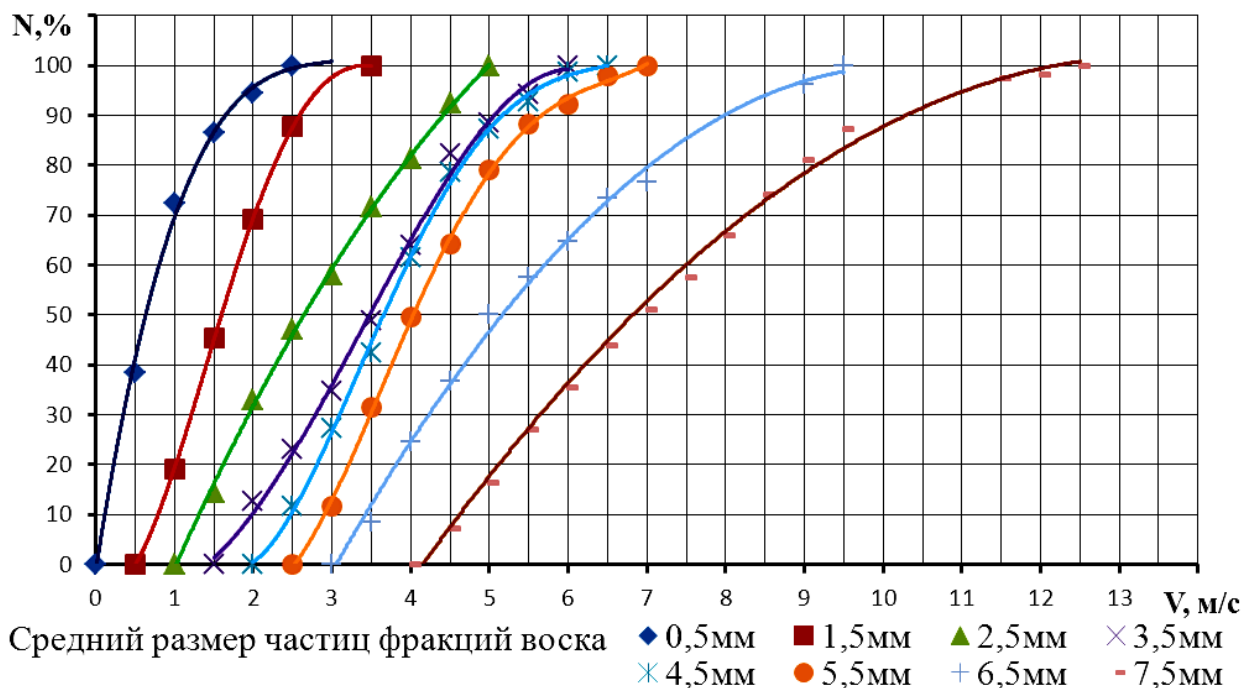


Рисунок 2.28 – Зависимость количества пневмотранспортируемых частиц измельченной восковой основы сотов от скорости воздушного потока

Анализируя зависимости количества пневмотранспортируемых частиц измельченной восковой основы сотов и перги от скорости воздушного потока (рис. 2.26 и 2.28) можно заключить, что их разделение следует вести при скорости движения воздуха в аспирационном канале выше 6 м/с. При этом режиме сепарации, вместе с восковой основой удаляется около 1% разрушенных гранул перги с размером частиц от 1 до 4 мм. В извлеченной перге не более 5% восковой основы сотов от общего количества, с размером частиц от 4 до 8 мм.

Так как привод измельчителя и вентилятора агрегат АИП-30 осуществляется от одного вала, то мы последовательно несколько раз изменяли технологические параметры данного агрегата с целью обеспечения максимального выхода целых гранул перги с минимальным содержанием восковых частиц в готовом продукте. Так как происходит перекрытие

скоростей вращения разрушенных перговых гранул размером до 3 мм и восковых частиц размером свыше 6 мм исследовался размерно-весовой состав гранул перги, и обосновывалась частота вращения приводного ротора. Затем эксперимент повторялся заново, но с другим распределением частиц. Метод последовательных приближений позволил получить рациональные технологические параметры установки для получения качественной перги.

2.3. Требования к машинам для получения перги из пчелиных сотов

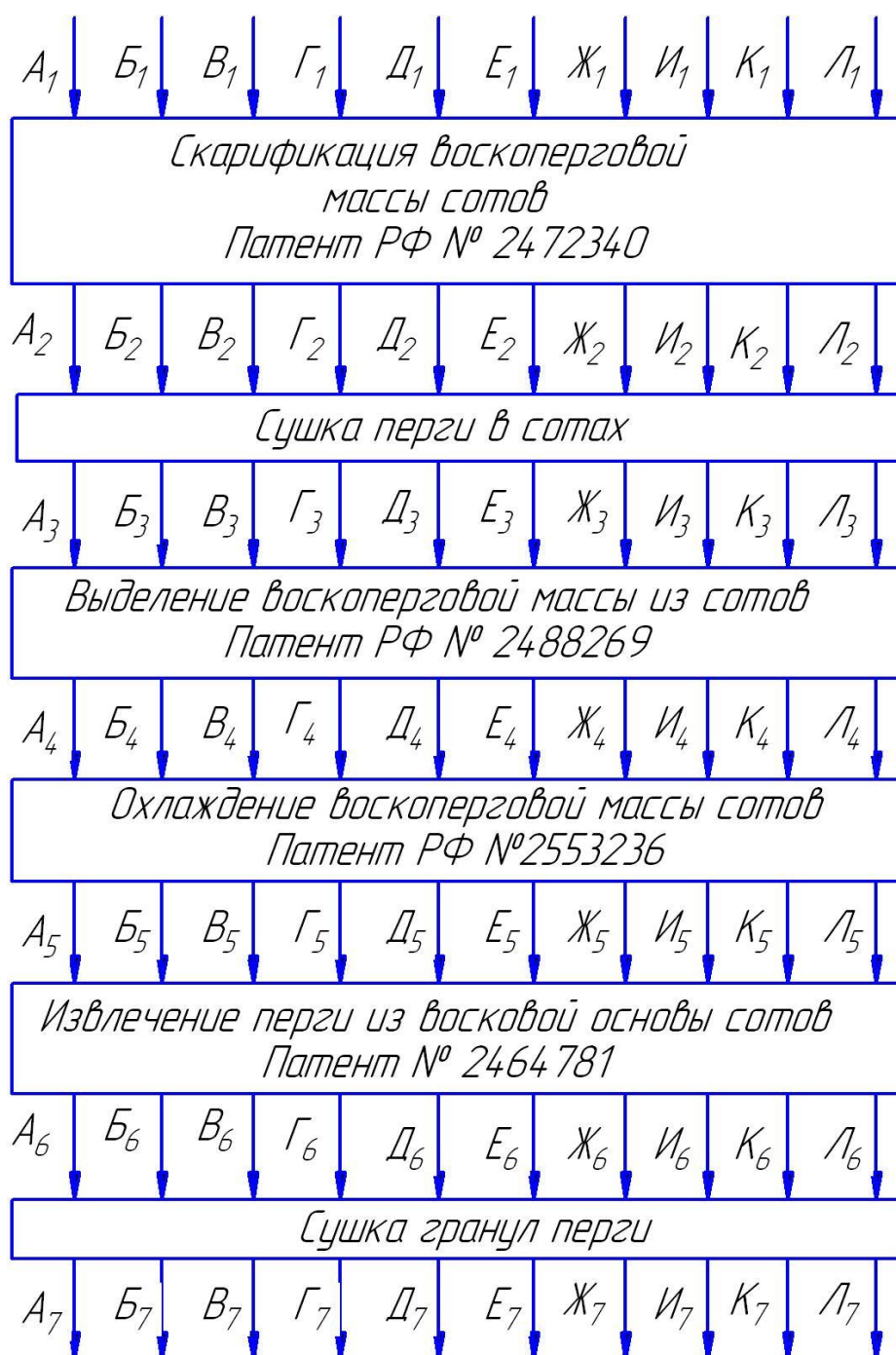
На основании анализа существующих технологий получения перги из пчелиных сотов и изучения свойств сотов, перги и восковой основы предложены требования к машинам для получения перги. Это позволило усовершенствовать технологию, включающую операции: центробежную скарификацию пчелиных сотов, сушку гранул перги в сотах, центробежное выделение воскоперговой массы из сотов, охлаждение воскоперговой массы, измельчение охлажденной воскоперговой массы и разделение измельченной воскоперговой массы на восковое сырье и пергу, сушка гранул перги. Усовершенствованная технология представлена моделью на рисунке 2.29.

В процессе исследования физико-механических свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы происходило уточнение и конкретизация требований предъявляемых к машинам для получения перги.

Первой операцией технологии получения перги из пчелиных сотов, от которой будет зависеть качество готового продукта, является заготовка сотов. К ней предъявляются следующие требования:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_1=100\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_1=0\ldots15^\circ\text{C}$;
- влажность перги, $V_1=14\ldots30\%$;
- температура перги, $\Gamma_1=0\ldots15^\circ\text{C}$;



Исходные характеристики сырья: $A_{1...7}$ – количество целых гранул перги; $B_{1...7}$ – температура восковой основы сотов; $V_{1...7}$ – влажность перги; $\Gamma_{1...7}$ – температура перги, $D_{1...7}$ – содержание восковой основы сотов. Условия окружающей среды: $E_{1...7}$ – температура воздуха; $Ж_{1...7}$ – влажность воздуха. Технологические параметры: $И_{1...7}$ – производительность; $K_{1...7}$ – трудоемкость; $Л_{1...7}$ – энергоемкость.

Рисунок 2.29 – Модель усовершенствованной технологии получения перги из пчелиных сотов

- содержание восковой основы сотов, $D_1=100\%$.
- отсутствие плесени на пчелиных сотах;
- отсутствие меда в пчелиных сотах, не более 5%;
- отсутствие загрязнений и посторонних запахов.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_1=0\ldots 15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_1\leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_1\geq 80\text{ сот/ч}$;
- трудоемкость, $K_1\leq 0,02\text{ чел-ч/сот}$;
- затраты энергии, $L_1\leq 0,01\text{ кВт-ч/сот}$.

Перга в отобранных сотах обладает высокой влажностью 20 и более процентов, что приводит к её быстрой порче при хранении отдельно от восковой основы пчелиного сота. Она также обладает низкими прочностными свойствами, что в процессе измельчения сотов приводит к переизмельчению гранул перги и её безвозвратной потере. Для придания гранулам перги необходимой влажности их сушат непосредственно в пчелиных сотах, а для снижения энергетических затрат перед сушкой проводят операцию скарификации. К машинам для её осуществления предъявляют следующие требования:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_2=100\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_2=20\ldots 25^{\circ}\text{C}$;
- влажность перги, $B_2=14\ldots 30\%$;
- температура перги, $\Gamma_2=18\ldots 25^{\circ}\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_2=100\%$.
- скарификация пчелиных сотов не должна приводить к снижению прочности гранул перги ниже 40 кПа;
- скарификация не должна приводить к разрушению пчелиных сотов и гранул перги, находящихся в них;

– скарификация должна обеспечивать разгерметизацию всех гранул перги в ячейках сота.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_2=20\ldots 25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_2\leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_2\geq 80\text{ сот/ч}$;
- трудоемкость, $K_2\leq 0,02\text{ чел-ч/сот}$;
- затраты энергии, $L_2\leq 0,01\text{ кВт-ч/сот}$.

Операция сушки перги в сотах самая энергоемкая операция из всех операций технологии, от режимов которой зависит количество сохраненных питательных и биологически активных веществ. Исследования процесса превращения пыльцевой обножки в пергу и сушки перги позволили сформулировать требования к сушилкам перги:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_3=100\%$;
- температура агента сушки не должна приводить к перегреву восковой основы сота, его разрушению и отрыву от рамки с натянутой проволокой, $B_3\leq 55^{\circ}\text{C}$;

- влажность перги, $V_3= 14\ldots 18\%$;
- температура перги, $\Gamma_3\leq 42^{\circ}\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_3=100\%$.
- сушилка должна обеспечивать равномерную сушку перги в сотах.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_3\leq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_3\leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_3\geq 2\text{ сот/ч}$;
- трудоемкость, $K_3\geq 0,1\text{ чел-ч/сот}$;
- затраты энергии, $L_3\geq 3,0\text{ кВт-ч/сот}$.

Пчелиный сот представляет собой ульевую рамку, в которой натянута проволока с закрепленной в ней воскоперговой массой. Воскоперговая масса представляет собой сотовую пластину с размещенными внутри гранулами перги. Для дальнейшей переработки пчелиных сотов необходимо отделить воскоперговую массу от рамки с проволокой. К машинам для выделения воскоперговой массы из сотов предъявляются следующие требования:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_4=100\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_4\geq 60^{\circ}\text{C}$;
- влажность перги, $V_4=14\ldots 18\%$;
- температура перги, $\Gamma_4\geq 42^{\circ}\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_4\leq 95\%$;
- выделение воскоперговой массы должно выполняться без разрушения деревянной рамки сота и разрыва натянутой в ней проволоки;
- при выделении воскоперговой массы не должно происходить разрушение гранул перги или уменьшение их прочности;
- выделяться должна только часть сота, заполненная пергой.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_4=20\ldots 25^{\circ}\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_4\leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_4\geq 80$ сот/ч;
- трудоемкость, $K_4\leq 0,02$ чел-ч/сот;
- затраты энергии, $L_4\leq 0,01$ кВт-ч/сот.

Восковая основа сота и перга при температурах выше плюс 10°C обладают высокими пластичными и адгезионными свойствами, что приводит к налипанию воска и перги к рабочим поверхностям машин, а так же к плохому отделению друг от друга.

Для придания гранулам перги и восковой основе сота необходимых прочностных и адгезионных свойств к машинам для охлаждения воскоперговой массы предъявляют ряд требований:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_5=100\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_5\leq 10^0\text{C}$;
- влажность перги, $B_5=14\ldots 18\%$;
- температура перги, $\Gamma_5\geq 0^0\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_5\leq 95\%$;
- при охлаждении восковая основа должна приобрести хрупкость;
- при охлаждении гранул перги должны приобрести прочность в поперечном сечении не менее 40 кПа;
- охлажденные куски воскоперговой массы не должны прилипать друг к другу;
- охлаждение перги не должно приводить к снижению питательных и биологически активных веществ;
- охлаждение перги не должно приводить к сокращению срока хранения перги.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_5\leq 10^0\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_5\leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_5\geq 5$ сот/ч;
- трудоемкость, $K_5\leq 0,02$ чел-ч/сот;
- затраты энергии, $L_5\leq 0,01$ кВт-ч/сот.

Для высвобождения гранул перги из восковых ячеек сотовой структуры, воскоперговую массу разрушают в измельчителе. Воскоперговая смесь, получаемая на выходе из измельчителя, направляется на сепарацию. В процессе транспортировки при условии, что температура окружающей среды выше температуры перги и находится в плюсовой зоне, на поверхность

воскоперговой смеси конденсируется влага, которая усиливает межмолекулярное взаимодействие между гранулами перги и восковыми частицами. Этот процесс приводит к ухудшению процесса сепарации и качеству готового продукта, поэтому перемещение воскоперговой смеси из измельчителя в сепаратор должно проходить за минимально короткое время.

Качество и количество получаемой перги в большой степени зависит от выполнения требований предъявляемых к машинам для извлечения перги из восковой основы сота:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_6 \geq 95\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_6 \leq 10^\circ\text{C}$;
- влажность перги, $B_6 = 14 \dots 18\%$;
- температура перги, $\Gamma_6 \geq 0^\circ\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_6 \leq 5\%$;
- при разрушении воскоперговой массы не должно происходить измельчение гранул перги;
- при измельчении восковые оболочки ячеек сотов должны быть отделены от поверхности гранул перги;
- из измельчителя не должны выходить сотовые структуры воскоперговой массы;
- равномерность подачи смеси в аспирационный канал.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_6 \leq 10^\circ\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_6 \leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_6 \geq 10$ сот/ч;
- трудоемкость, $K_6 \geq 0,03$ чел-ч/сот;
- затраты энергии, $L_6 \leq 0,02$ кВт-ч/сот.

В процессе получения целых гранул очень трудно добиться однородной влажности всей перги, которая бы соответствовала требованиям ГОСТ 31776-2012. Это связано с неодинаковой скоростью сушки пыльцы

разных растений, которая укладывается пчелами в один пчелиный сот. Поэтому в некоторых случаях необходимо досушивать извлеченные перговые гранулы. К машинам, для выполнения этой операции, предъявляют следующие требования:

1. Исходные характеристики сырья

- количество целых гранул перги, $A_7 \geq 95\%$;
- температура восковой основы сотов, $B_7 \leq 42^\circ\text{C}$;
- влажность перги, $V_7 = 14\%$;
- температура перги, $\Gamma_7 \leq 42^\circ\text{C}$;
- содержание восковой основы сотов, $D_7 \leq 5\%$;
- при сушке не должно происходить механического разрушения гранул перги;

перги;

- не должно происходить пересушивания перги;
- минимальные затраты труда и энергии на процесс досушивания.

2. Условия окружающей среды

- температура воздуха, $E_7 \leq 42^\circ\text{C}$;
- влажность воздуха, $Ж_7 \leq 60\%$.

3. Технологические параметры

- производительность, $I_7 \geq 2 \text{ кг/ч}$;
- трудоемкость, $K_7 \leq 0,2 \text{ чел-ч/кг}$;
- затраты энергии, $L_7 \leq 0,15 \text{ кВт-ч/кг}$.

Предложенные требования позволяют осуществлять обоснованный выбор параметров машин для обеспечения необходимого качества получаемой перги.

Выводы

1. Обследование пчелиных сотов показало, что масса перги в соте колеблется от нескольких десятков грамм до килограмма. Следует считать, что с экономической точки зрения для получения перги, выгодно перерабатывать пчелиные соты, которые содержат более 100-150 граммов

перги. В пчелином соте в среднем содержится от 300 до 350 грамм перги, а восковой основы от 200 до 250 грамм.

2. Наибольшее влияние на свойства перги оказывает её влажность. Исходная влажность перги в сотах находится в пределах от 20 и более процентов. При уменьшении влажности от 20,7 до 14,5 % происходит значительное снижение её адгезии к нержавеющей стали с 0,51 кПа до 0,08 кПа.

3. Установлено, что при уменьшении массовой доли влаги в гранулах перги с 19,6 до 12,35% происходит уменьшение теплоемкости с 2,201 до 1,861 кДж/(кг·К), коэффициента температуропроводности с $1,3 \cdot 10^{-7}$ до $1,08 \cdot 10^{-7}$ м²/с и коэффициента теплопроводности с 0,299 до 0,231 Вт/(м·К), что необходимо учитывать при исследовании процессов охлаждения и сушки гранул перги.

4. В процессе извлечения перги соты и гранулы перги подвергаются различным механическим воздействиям. Достаточной прочностью по разрушающим напряжениям в поперечном сечении гранул перги является 40 кПа. Для достижения такой прочности нужно уменьшить влажность перговых гранул до 14...15 % или вести их извлечение при температурах менее 10 °С.

5. Разделение воскоперговой массы, измельченной в агрегате АИП-30 на восковое сырье и гранулы перги, следует вести при скорости воздушного потока не ниже 6 м/с. При этом происходит выделение из воскопергового вороха не менее 96% перговых гранул с содержанием не более 5% восковых частиц, что соответствует требованиям ГОСТ 31776-2012.

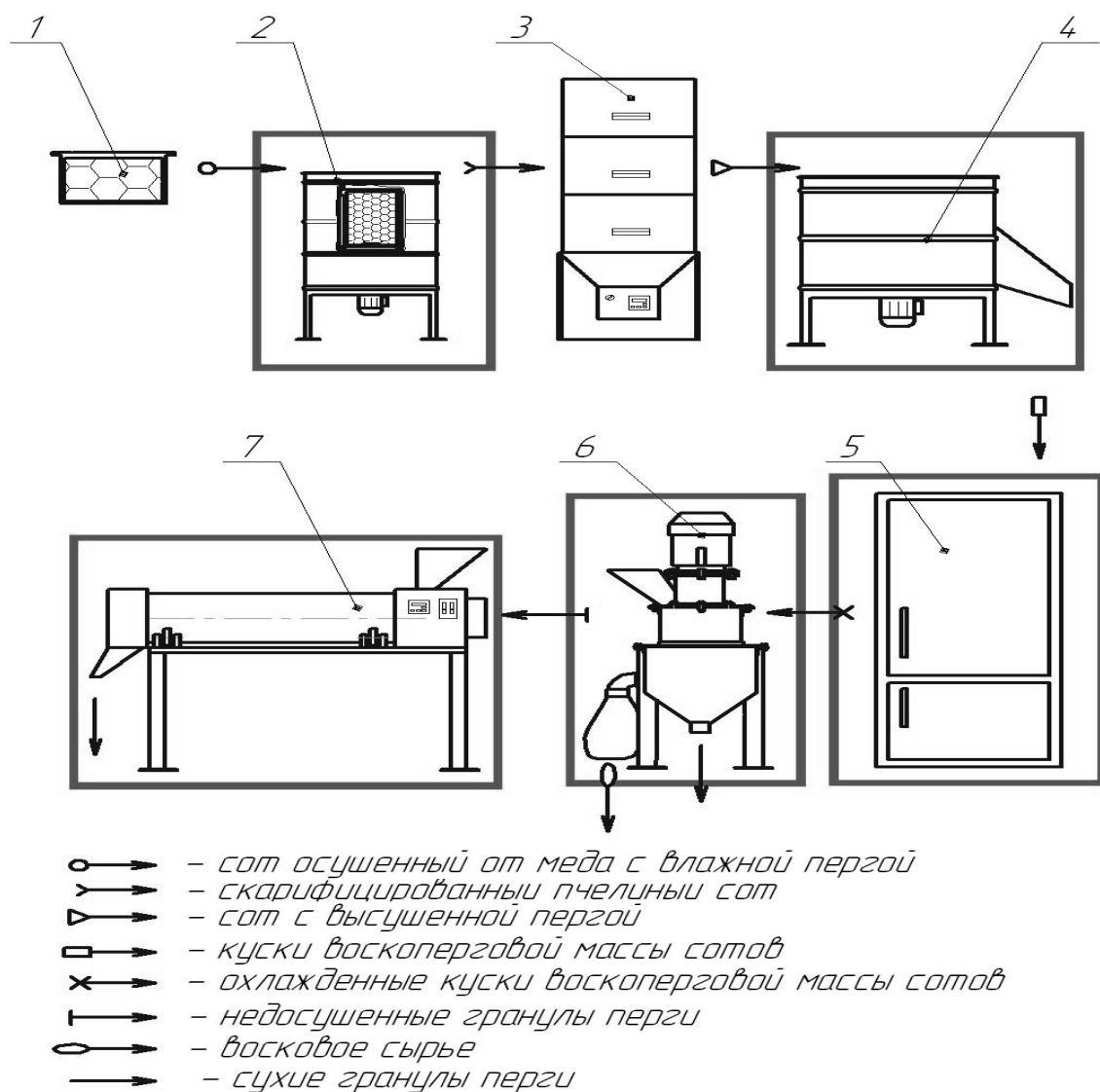
6. Требования к машинам обеспечивают возможность обоснованного выбора необходимых операций для получения перги в зависимости от исходных параметров пчелиных сот, параметров окружающей среды и параметров машин.

3. Теоретические исследования машин для получения перги

3.1. Технология получения перги из пчелиных сотов

Существующие способы заготовки перги до недавнего времени не могли удовлетворить потребность рынка нашей страны высококачественной и дешёвой пергой. В целом объёмы производства перги в стране были низкими [239]. Свой вклад в развитие технологии получения перги внесли такие исследователи как: И.В. Бойко, В.И. Бронников, К.В. Буренин, Н.В. Бышов, Т.В. Вахонина, С.В.Винокуров, А.А.Григорян, Ю.В. Донченко, И.А. Дудов, Н.М. Жариков, Н.Н. Зарецкий, Т.П. Иваненко, Т.А. Ильясов, И.П. Иориш, Д.Е. Каширин, Ю.Н.Кириянов, М.В. Коваленко, В.К. Космович, Н.И. Кривцов, В.И. Курдюмов, А.А. Курочкин, А.В. Ларин, В.И. Лебедев, В.Ф.Некрашевич, Ж.Ж. Сибгатулин, С.А. Стройков и другие [3, 7, 26, 137, 195].

При этом детально изучались вопросы биологии развития пчелиных семей с тем, чтобы отбор сотов с пергой не оказывал негативного влияния на их развитие, активность в весенне-летний период и получение продуктов отрасли. Технология получения перги из пчелиных сотов (рис. 3.1) включает в себя последовательное выполнение следующих операций: заготовка пчелиных сотов с осушиванием их от остатков меда пчелами, центробежная скарификация пчелиных сотов, сушка гранул перги в сотах, центробежное выделение воскоперговой массы из сотов, охлаждение воскоперговой массы, измельчение охлажденной воскоперговой массы и разделение измельченной воскоперговой массы на восковое сырье и пергу, сушка гранул перги [92, 105, 125, 126, 129, 133, 138, 144, 155, 161, 162, 163, 164, 165, 190, 191, 192, 197, 198, 238].



1 – пчелиный сот; 2 – центробежный скарификатор пчелиных сотов; 3 – сушилка перги в сотах; 4 – центробежный выделитель воскоперговой массы из сотов; 5 – холодильное оборудование; 6 – агрегат для извлечения гранул перги; 7 – установка для досушивания гранул перги.

Рисунок 3.1 – Технологическая схема получения перги из пчелиных сотов

Для выполнения операций технологии получения перги из пчелиных сотов выполнены следующие изыскания:

1. Разработан способ центробежной скарификации пчелиных сотов.
2. Разработан механизированный способ центробежного выделения воскоперговой массы из сота.

3. Разработан способ охлаждения воскоперговой массы.

4. Разработан способ и агрегат для извлечения гранул перги из пчелиных сотов, позволяющий осуществить операции измельчения воскоперговой массы и сепарацию высвобожденных перговых гранул от восковой основы сота в непрерывном процессе.

5. Разработана барабанная сушилка гранул перги, отделенных от восковой основы сота.

3.2. Теоретические исследования центробежного скарификатора и выделителя воскоперговой массы из пчелиных сотов

На основе сформулированных технологических требований и анализа конструкций существующих машин для скарификации пчелиных сотов была предложена конструкция центробежного скарификатора. Особенностью данного скарификатора является объединение процессов скарификации и выделения воскоперговой массы из пчелиных сотов.

3.2.1. Конструктивно-технологическая схема центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы

При заготовке перги пчелы запечатывают пыльцу энтомофильных растений в восковых ячейках сота, пропитывая её верхние слои медом. Таким образом, перга в ячейках сотов герметично закрыта с одной стороны восковыми стенками ячеек сота, а с другой – медо-перговой крышечкой. Процесс сушки перги длителен, так как площадь испарения влаги в три раз меньше площади гранулы. Для ускорения процесса сушки необходимо разгерметизировать гранулы перги в ячейках сотов [97].

Для этого поверхность гранул прорежают (процарапывают) или прокалывают различными приспособлениями. В результате влага начинает испаряться быстрее, что приводит к ускорению процесса сушки, снижению

затрат времени и энергии. Однако существующие способы скарификации имеют недостатки:

- часть гранул перги остается не скарифицированной;
- не всегда поверхностный слой гранул прорезается или прокалывается по центру;
- рабочие органы скарификаторов постоянно забиваются пергой или восковой основой, поэтому на их очистку затрачивается больше времени, чем на скарификацию;
- скарификация прорезанием (процарапыванием) или прокалыванием нарушает целостность гранул, что приводит к снижению их прочности и безвозвратной потере перги в виде крошки при последующей сепарации[163]

Для устранения недостатков существующих способов нами разработан центробежный способ скарификации пчелиных сотов, который осуществляет разгерметизацию гранул перги в ячейках сота без нарушения их целостности. Новизна центробежного способа скарификации подтверждена патентом РФ на изобретение № 2472340 [191], который представлен в приложении Ж.

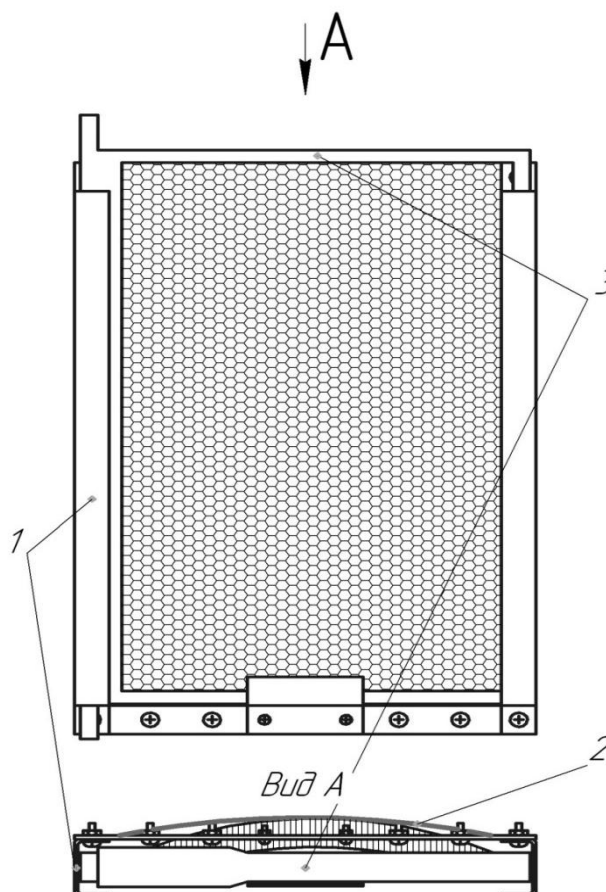
Суть центробежного способа скарификации заключается в равномерном прогибе воскоперговой массы сота при воздействии на него центробежных сил. В результате прогиба происходит деформация и растяжение восковых ячеек пчелиного сота и образование кольцевого зазора вокруг гранул перги. Это приводит к значительному увеличению поверхности испарения влаги с гранул перги при последующей сушке.

Для осуществления центробежного способа скарификации разработана кассета (патент РФ на полезную модель № 147422) позволяющая повысить равномерность скарификации воскоперговой массы сота (рис. 3.2) [205].

Кассета для центробежной скарификации пчелиных сотов состоит из каркаса 1 и удерживающей пластины 2, выполненной из резины.

В каркас 1 кассеты для центробежной скарификации устанавливают сот 3 и закрепляют её в роторе центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы (рис. 3.3). В первоначальный момент восковая основа пчелиного сота 3 прикасается к удерживающей пластине 2

каркаса 1. При вращении ротора центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы восковая основа сота прижимается центробежными силами к удерживающей пластине 2 и выгибается вместе с ней. При остановке ротора центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы удерживающая пластина 2 принимает свое первоначальное положение в месте с восковой основой сота. Это позволяет быстро удалять сота 3 из каркаса кассеты 1 без застревания.



1 – каркас кассеты; 2 – удерживающая пластина; 3 – сот.

Рисунок 3.2 – Кассета для центробежной скарификации сотов

После центробежной скарификации одной стороны сота и остановки ротора, пчелиные соты вынимают из кассет, поворачивают на 180° и скарифицируют обратную сторону. Равномерное растяжение удерживающей пластины 2, выполненной из резины, при прогибе восковой основы сота 3 предотвращает образование больших трещин и его разрушение.

Упругие свойства удерживающей пластины позволяют вернуть пчелиным сотам начальную форму после снятия центробежной нагрузки и снизить время на установку и замену сотов в кассете центробежного скарификатора.

После центробежной скарификации гранулы перги сушат в сотах. После высушивания перги до относительной влажности не выше 15% из сотов необходимо выделить воскоперговую массу. Операция выделения воскоперговой массы из сота позволяет снизить затраты энергии при охлаждении, измельчении и сепарации, а также сократить время технологического цикла выделения гранул перги. Так при выделении воскоперговой массы энергия не будет тратиться на охлаждение деревянной рамки, стальной проволоки и восковых ячеек сота незаполненных пергой, а полезный объем холодильной камеры будет использоваться эффективнее.

Выделение воскоперговой массы осуществляется вырезанием ножом полосок вдоль проволочной основы сота или выламыванием кусков воскоперговой массы руками. До настоящего времени эта операция не механизирована и имеет ряд недостатков:

- при разрезании пчелиного сота нарушается целостность перговых гранул в зоне разреза, уменьшается их прочность и при дальнейшем измельчении воскоперговой массы в измельчителе эти гранулы разрушаются и безвозвратно теряются при сепарации восковой крошки;
- в результате внедрения ножа в сот часть проволоки рвется и после этого рамку приходится перетягивать заново проволокой.

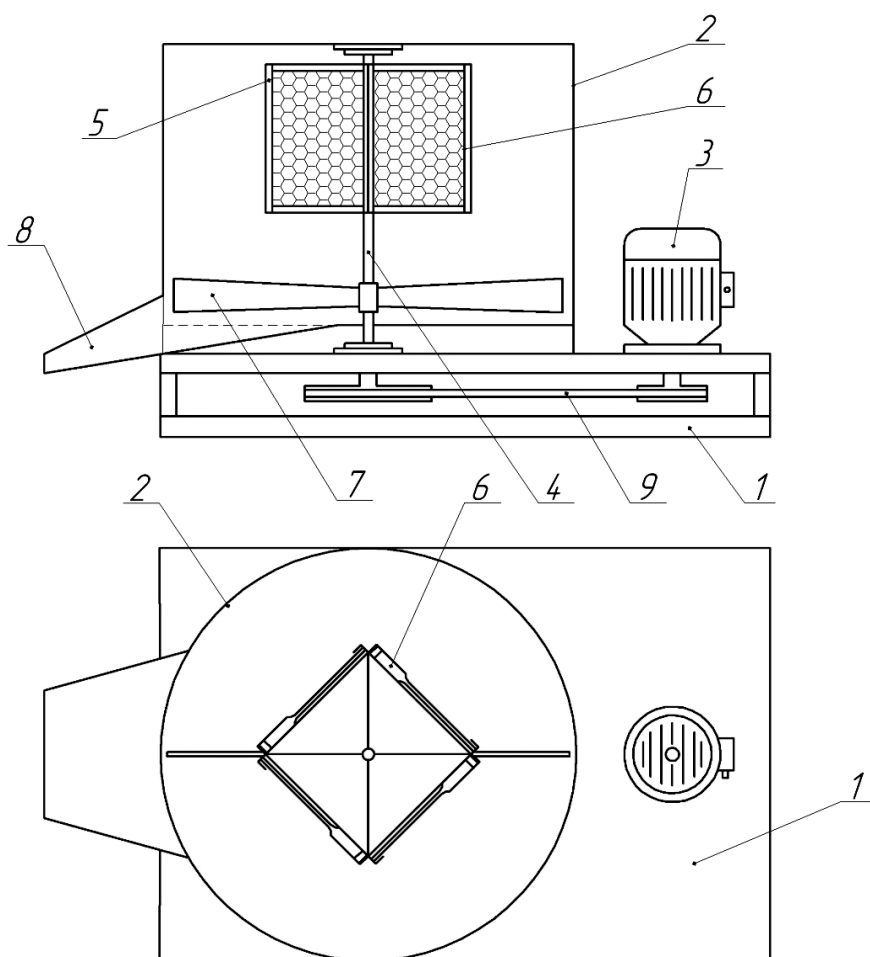
Для устранения недостатков существующих способов нами разработан центробежный способ выделения воскоперговой массы из сотов, который можно осуществить с нагревом воскопергвой массы сота (патент РФ №2488269)[192].

При воздействии на нагретый сот центробежной силой проволока рамки прорезает восковую основу и более тяжелая его часть с пергой отделяется от остальной массы. Это приводит к снижению затрат ручного

труда на отделение воскоперговой массы сота от ульевой рамки, повышению производительности линии производства перги и сохранению целостности перговых гранул, ульевой рамки и натянутой в ней проволоки.

Конструктивно-технологическая схема центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы представлена на рисунке 3.3 [153, 200].

Устройство центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы из сота состоит из рамы 1, на которой закреплена рабочая камера 2 и электродвигатель 3. Внутри рабочей камеры 2 расположен ротор 4. В верхней части ротора 4 закреплен держатель 5 для установки четырёх кассет с сотами 6. В нижней части ротора 4 закреплены крыла 7, которые при вращении ротора 4 выгружают воскоперговую массу в выгрузной лоток 8. Ротор 4 приводится в движение электродвигателем 3 через клиноременную передачу 9.



1 – рама; 2 – рабочая камера; 3 – электродвигатель; 4 – ротор; 5 – держатель; 6 – сот; 7 – крыла; 8 – выгрузной лоток; 9 – клиноременная передача.

Рисунок 3.3 – Конструктивно-технологическая схема центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы

Конструкция держателя 5 такая, что в каждую секцию держателя можно установить хордиально только одну кассету с сотом 6. В нижней части ротора 4 установлен крылач 7 для удаления выделенной воскоперговой массы из рабочей камеры 2 через выгрузной лоток 8. Вращение вала ротора 4 осуществляется от электродвигателя 3 через клиноременную передачу 9. Конструкция держателя 5 такая, что в каждую секцию держателя можно установить хордиально только одну рамку с сотом 6 [153].

Для центробежной скарификации в держатель 5 устанавливают кассеты для скарификации (рис. 3.2), для выделения воскоперговой массы из сотов используют те же кассеты но без удерживающей резиновой пластины [164].

Такие кассеты с сотами устанавливают в держатель 5 ротора 4. Затем включают электродвигатель 3. Через клиноременную передачу 9 вращение от вала электродвигателя 3 передается ротору 5. При вращении ротора 4, под воздействием центробежных сил, нагретая воскоперговая масса сота 6, прорезается проволокой рамки, деформируется, изгибаясь в сторону от центра вращения, и кусками отрывается от рамки с проволокой. Проволока рамки не вытягивается и остается целой, а рамка не деформируется. От сота выделяется только более тяжелая, чем восковая основа сота, воскоперговая масса. Сотовая структура, незаполненная пергой, остаётся на деревянной рамке и проволочной основе. Выделившиеся куски воскоперговой массы опускаются в нижнюю часть рабочей камеры 2, выталкиваются крылачом 7 в выгрузной лоток 8 и выводятся из центробежного скарификатора сотов и выделителя воскоперговой массы в приемную ёмкость или мешок. Далее воскоперговую массу отправляют на дальнейшую обработку, а пустые рамки меняют на пчелиные соты. Экономический эффект достигается за счет сокращения затрат труда и времени на процессы выделения воскоперговой массы, а также времени и средств на замену и натяжение проволоки в ульевой рамке. Дополнительные затраты энергии на нагрев пчелиных сотов не нужны, так как выделение воскоперговой массы из сота осуществляется после сушки перги в соте, когда его температура находится в пределах 40-42 °С.

3.2.2. Исследование деформации сотовой пластины в поле центробежных сил при вращении рамки в центрифуге

При вращении сота в центрифуге (рис. 3.4) на сотовую пластину действуют центробежные силы инерции, направленные по радиусу вращения [160]. Соты устанавливаются в роторе центрифуги вертикально. При таком размещении сота, проволока, армирующая сотовую пластину, расположена параллельно оси вращения ротора центрифуги. Проволока размещена в соте так, что на каждую проволоку приходится одинаковые по размеру куски сотовой пластины шириной d . В результате вращения сота в роторе центрифуги происходит натяжение проволоки и её прогиб вместе с сотовой пластиной.

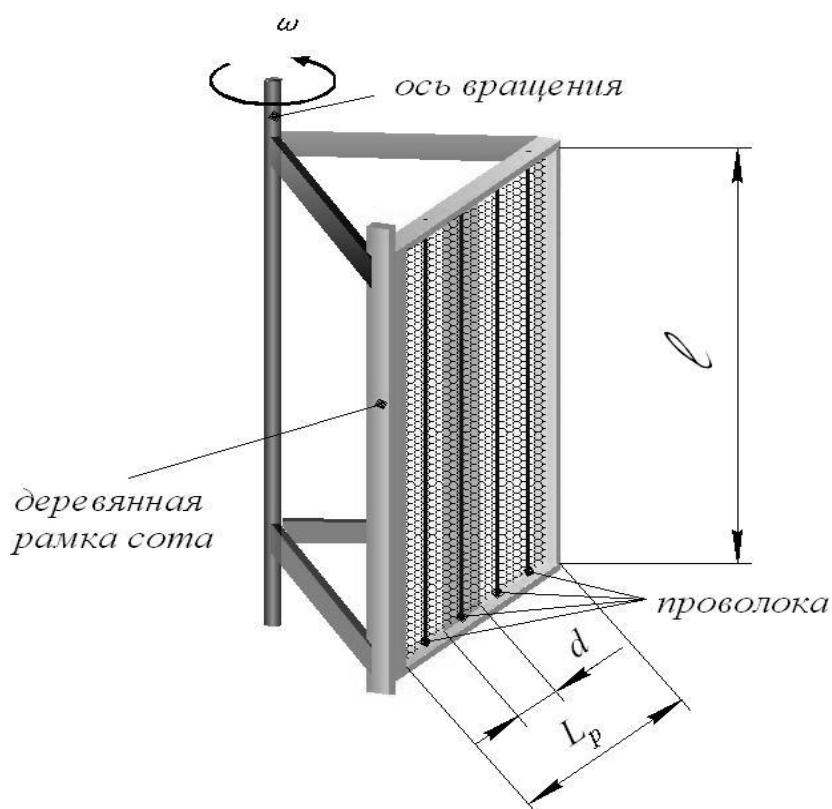


Рисунок 3.4 – Размещение сота в роторе центрифуги

Поскольку прочность пчелиного сота во много раз меньше прочности проволоки, армирующей сот, то нами рассмотрен вопрос растяжения проволоки при прогибе её вместе с воскоперговой массой сота.

При теоретическом исследовании процесса выгибания сота под действием центробежных сил примем следующие допущения:

- вес проволоки не учитываем, так как вес сота приходящийся на проволоку во много раз больше;
- изгибающие моменты сота не учитываем, так как они значительно меньше усилий растяжения проволоки;
- на каждую проволоку приходится определенная часть сота (сот равномерно распределен по армирующей проволоке).

Так как проволока расположена параллельно оси вращения ротора, то центробежные силы инерции будут действовать перпендикулярно оси вращения, а их действие на проволоку можно рассматривать как равномерно распределенную нагрузку по длине проволоки [66, 222].

Тогда центробежная нагрузка, приходящаяся на один погонный метр проволоки, определится по формуле

$$q_{\Pi} = (m_{\text{пр}} + (\rho_{\text{сот}} \cdot d \cdot h_{\text{сот}})) \cdot \omega^2 \cdot R, \text{ Н/м} \quad (3.1)$$

где $m_{\text{пр}}$ – масса одного погонного метра проволоки, $m_{\text{пр}} \rightarrow 0$;

$\rho_{\text{сот}}$ – средняя плотность сотовой пластины, кг/м^3 ;

d – ширина сотовой пластины, приходящаяся на одну проволоку, м;

$h_{\text{сот}}$ – средняя толщина сотовой пластины, м;

ω – угловая скорость, с^{-1} ;

R – расстояние от оси вращения сота до проволоки, м.

С учетом допущений уравнение (3.1) примет вид

$$q_{\Pi} = \rho_{\text{сот}} \cdot d \cdot h_{\text{сот}} \cdot \omega^2 \cdot R \quad (3.2)$$

Ширина сотовой пластины находится из выражения

$$d = \frac{L_{\text{р}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (3.3)$$

где $L_{\text{р}}$ – длина боковой рейки деревянной рамки сота, м;

$n_{\text{пр}}$ – число проволок в соте, шт.

Схема действия сил на проволоку сота, находящегося под центробежной нагрузкой, представлена на рисунке 3.5 [103].

Выделим и рассмотрим бесконечно малый элемент проволоки dL , со стороны отброшенных частей проволоки на выделенный элемент будут действовать по касательной растягивающие силы N_{np} и N_{np}' .

Действие сил инерции можно считать равномерно распределенными по длине выделенного элемента

$$dQ = q_n \cdot dL. \quad (3.4)$$

Составим сумму проекций всех сил на горизонтальную ось

$$N_{np}' \cdot \cos(\alpha - d\alpha) - N_{np} \cdot \cos \alpha = 0, \quad (3.5)$$

где α – угол между направлением действия растягивающей силы N_{np} и вертикальной осью z ;

$d\alpha$ – приращение угла α на вертикальной проекции dz элемента проволоки dL .

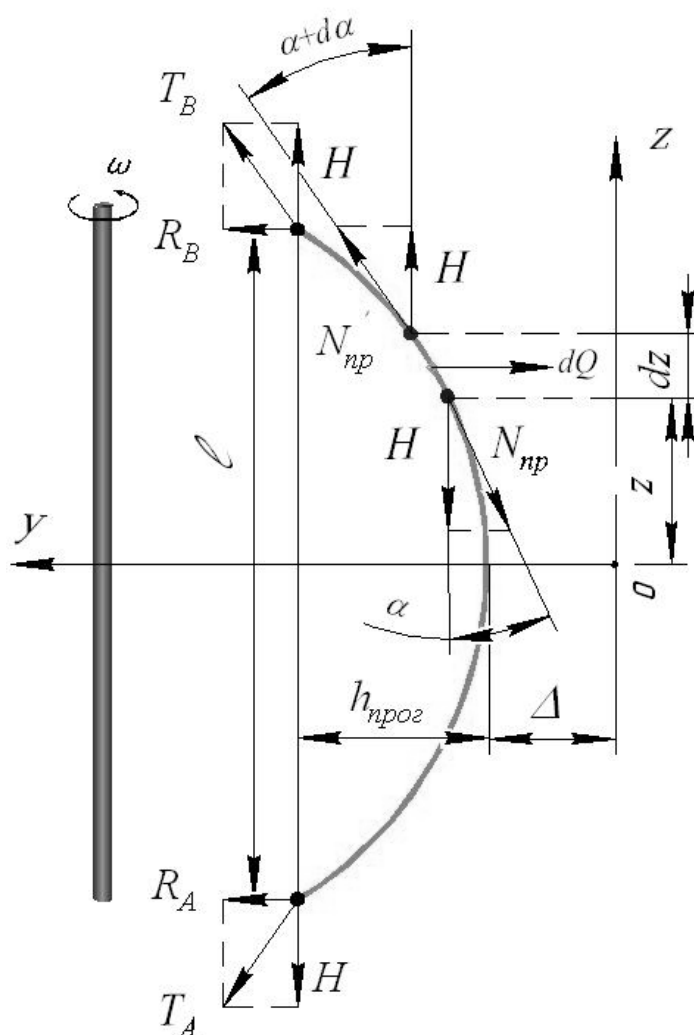


Рисунок 3.5 – Схема действия сил на проволоку сота

Анализируя выражение (3.5) можно сказать, что проекции растягивающих сил $N_{пр}$ и $N_{пр}'$ на ось z равны постоянной величине H . Поэтому на величину натяжения проволоки оказывает влияние только проекции сил на ось u .

Составим сумму проекций всех сил на ось u

$$H(y' + dy') - Hy' - q_n \cdot dL = 0, \quad (3.6)$$

где y' - угловой коэффициент касательной к бесконечно малому элементу проволоки dL ;

dy' - приращение углового коэффициента на участке dL .

Раскрыв скобки выражение (3.6) примет вид:

$$H \cdot dy' = q_n \cdot dL. \quad (3.7)$$

Определим величину приращения углового коэффициента подставляя величину бесконечно малого элемента проволок и выраженную через

угловой коэффициент $dL = \sqrt{1 + y'^2} dz$ в уравнение (3.7)

$$H \cdot dy' = q_n \cdot \sqrt{1 + y'^2} dz. \quad (3.8)$$

Разделим переменные

$$\frac{dy'}{\sqrt{1 + y'^2}} = \frac{dz}{\Delta}, \quad (3.9)$$

где Δ - это отношение растягивающей нагрузки к центробежной, приходящейся на один погонный метр проволоки, $\Delta = \frac{H}{q_n}$.

Проинтегрировав выражение (3.9), получим

$$\operatorname{arcsinh} y' = \frac{z + C_1}{\Delta},$$

из которого получим угловой коэффициент

$$\frac{dy}{dz} = \operatorname{sh} \frac{z + C_1}{\Delta}. \quad (3.10)$$

Разделив переменные и проинтегрировав уравнение (3.10), получим уравнение выгнутой проволоки

$$y + C_2 = \Delta \cdot sh \frac{z+C_1}{\Delta}. \quad (3.11)$$

Для определения постоянных интегрирования точку с координатами $(-C_1; -C_2)$ поместим в начало координат, при этом уравнение (3.17) примет вид

$$y = \Delta \cdot ch \frac{z}{\Delta}. \quad (3.12)$$

Подставляя в уравнение (3.12) координату $z=0$, получим координату $y = \Delta = \frac{H}{q_{\pi}}$.

Переместим точку наибольшего прогиба проволоки в начало координат. В этом случае абсцисса точки наибольшего прогиба проволоки будет равна нулю, а постоянные интегрирования примут значения: $C_1=0$; $C_2=\Delta$.

С учетом того, что точка максимального прогиба проволоки помещена в начало координат, а постоянные интегрирования $C_1=0$ и $C_2=\Delta$, уравнение изогнутой проволоки (3.11) примет вид:

$$y = \Delta \left(ch \frac{z}{\Delta} - 1 \right). \quad (3.13)$$

Преобразуем уравнение (3.13) представив его в виде формулы Тейлора [210]

$$y = \frac{z^2}{2 \cdot \Delta} + \frac{z^4}{4 \cdot \Delta^3} + \frac{z^6}{6 \cdot \Delta^5} + \dots + \frac{z^{2n}}{(2n) \cdot \Delta^{2n-1}}. \quad (3.14)$$

Практическое решение уравнений (3.13) и (3.14) сопровождается значительными математическими трудностями. Поэтому для упрощения дальнейших расчетных формул, с учетом того, что прогиб проволоки $h_{\text{прог}}$ во много раз меньше расстояния между точками крепления проволоки l , уравнение (3.14) можно представить в виде уравнения параболы

$$y = \frac{z^2}{2 \cdot \Delta}. \quad (3.15)$$

Подставим в уравнение (3.15) $z = \frac{l}{2}$, $y = h_{\text{прог}}$, $\Delta = \frac{H}{q_{\pi}}$.

Тогда растягивающую нагрузку, действующую на проволоку сота, можно рассчитать по формуле

$$H = \frac{q_{\text{п}} \cdot l^2}{8 \cdot h_{\text{прог}}}, \text{ Н}, \quad (3.16)$$

где l – расстояние между точками крепления проволоки (расстояние между боковыми рейками деревянной рамки сота), м;

$h_{\text{прог}}$ – прогиб проволоки, м.

Подставив выражение (3.8) и (3.9) в уравнение (3.16) получим [103]

$$H = \frac{L_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{сот}} \cdot h_{\text{сот}} \cdot \omega^2 \cdot R \cdot l^2}{8 \cdot h_{\text{прог}} \cdot n_{\text{пр}}}. \quad (3.17)$$

Для определения длины проволоки под воздействием центробежных сил необходимо проинтегрировать уравнение длины бесконечно малого элемента проволоки на участке от точки максимального прогиба (начало координат) до точки крепления проволоки к деревянной рамке сота

$$L_{\text{пр}} = 2 \cdot \int_0^{\frac{l}{2}} \sqrt{1 + y'^2} dz = 2 \cdot \Delta \cdot sh \frac{l}{2 \cdot \Delta}. \quad (3.18)$$

Преобразуем уравнение длины проволоки (3.18) представив его в виде формулы Тейлора [210]

$$L_{\text{пр}} = 2 \cdot \Delta \left(\frac{l}{2 \cdot \Delta} + \frac{1}{3} \left(\frac{l}{2 \cdot \Delta} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{l}{2 \cdot \Delta} \right)^5 + \dots + \frac{1}{2n+1} \left(\frac{l}{2 \cdot \Delta} \right)^{2n+1} \right) \quad (3.19)$$

С учетом допущений, что кривая изогнутой проволоки описывается уравнением параболы уравнение (3.19) примет вид:

$$L_{\text{пр}} = l + \frac{l^3}{24 \cdot \Delta^2}, \quad (3.20)$$

или при подстановке $\Delta = \frac{H}{q_{\text{п}}}$

$$L_{\text{пр}} = l + \frac{q_{\text{п}}^2 \cdot l^3}{24 \cdot H^2} \quad (3.21)$$

При подстановке выражения (3.16) в (3.21) можно получить уравнение длины проволоки от величины прогиба под действием центробежных сил

$$L_{\text{пр}} = l \cdot \left(1 + \frac{8 \cdot h_{\text{прог}}^2}{3 \cdot l^2} \right) \quad (3.22)$$

Выразим прогиб проволоки через удельные значения её характеристик. Для этого в уравнение (3.16) подставим растягивающую нагрузку, выраженную через напряжение в проволоке $H = \sigma \cdot S_{\text{пр}}$ [12]. Тогда уравнение (3.16) примет вид:

$$h_{\text{прог}} = \frac{q_{\text{пр}} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma \cdot S_{\text{пр}}}, \quad (3.23)$$

где $S_{\text{пр}}$ – площадь поперечного сечения проволоки, мм²;

σ – напряжение в проволоке, Н/мм².

Максимальное усилие в проволоке будет в точках крепления проволоки к рамке сота. Суммарная реакция опор крепления проволоки равна:

$$R_A + R_B = q_{\text{пр}} \cdot l \quad (3.24)$$

Так как точки крепления проволоки находятся на одинаковом удалении от оси ординат, то реакции опор будут равны $R_A = R_B$. Тогда уравнение (3.24) примет вид:

$$R_A = R_B = \frac{q_{\text{пр}} \cdot l}{2} \quad (3.25)$$

Общее усилие в точке крепления проволоки к рамке сота определяется по формуле

$$T = T_A = T_B = \sqrt{H^2 + \left(\frac{q_{\text{пр}} \cdot l}{2}\right)^2} = \frac{\rho_{\text{сот}} \cdot L_p \cdot h_{\text{сот}} \cdot \omega^2 \cdot R \cdot l}{2 \cdot n_{\text{пр}}} \sqrt{1 + \frac{l^2}{16 \cdot h_{\text{прог}}^2}} \quad (3.26)$$

Найдем угловой коэффициент, продифференцировав уравнение (3.15)

$$y' = \tan \varphi_{\text{кр}} = \frac{q_{\text{п}} \cdot z}{H} \quad (3.27)$$

где $\varphi_{\text{кр}}$ – угол наклона вектора усилия T к оси ординат, град.

Для точки крепления проволоки, расположенной на расстоянии $z = \frac{l}{2}$, угол наклона вектора усилия к оси z найдем как

$$\varphi_{\text{кр}} = \arctan \frac{q_{\text{п}} \cdot l}{2 \cdot H}, \quad (3.28)$$

или через геометрические размеры

$$\varphi_{\text{кр}} = \arctan \frac{4 \cdot h_{\text{прог}}}{l}. \quad (3.29)$$

По полученному выражению (3.17) построена зависимость прогиба проволоки от плотности воскоперговой массы сота и частоты вращения ротора с использованием программы MathCad 14.0 (рис. 3.6).

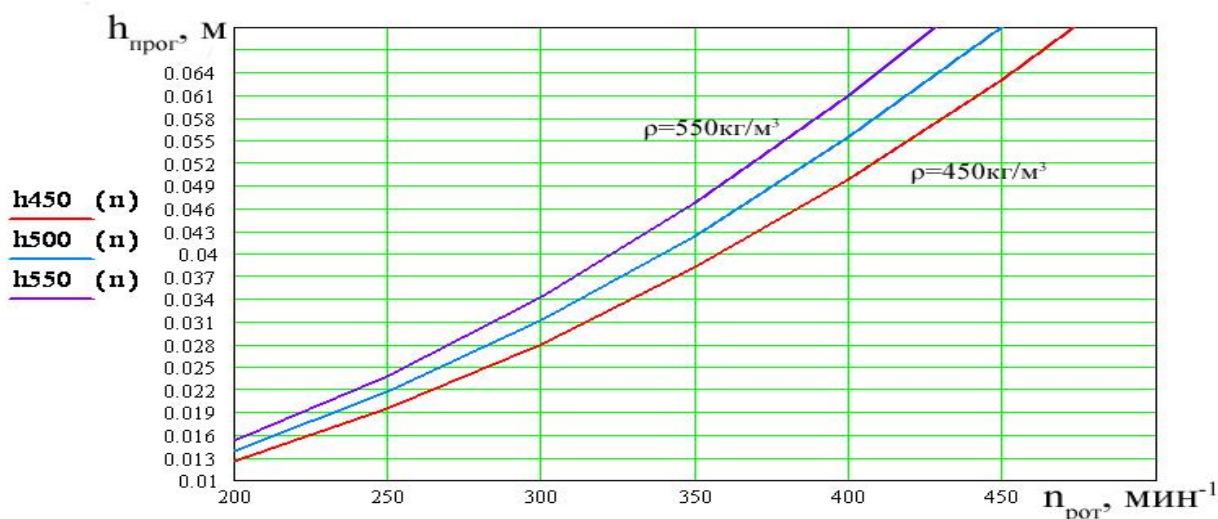


Рисунок 3.6 – Зависимость прогиба проволоки от плотности воскоперговой массы сота и частоты вращения ротора

Из рисунка 3.6 видно, что при средней плотности сота 500 кг/м^3 прогиб воскоперговой массы 40 мм достигается при частоте вращения ротора 340 мин^{-1} .

3.2.3. Исследование деформации ячеек на выпуклой стороне сотовой пластины

Срединная поверхность сотовой пластины прогибается вместе с армирующей проволокой по кривой описываемой уравнением (3.15).

Рассмотрим часть сотовой пластины с выпуклой стороны проволоки

В предположении, что стенки ячеек сота перпендикулярны проволоке до и после деформации, можем определить изменение расстояния между стенками ячейки, зная угол поворота нормали (или всё равно, что касательной) в месте расположения стенки ячейки (рис. 3.7).

На рисунке 3.8: S – первоначальный размер ячейки; h_y – высота ячеек; S_k – координаты стенки ячейки по оси z ; α_k – угол поворота стенки ячейки в результате деформации сотовой пластины; ΔS_k – увеличение размера ячейки при прогибе сотовой пластины под воздействием центробежных сил.

Для определения угла поворота нормали надо найти координаты S_k стенок возле дна ячеек по оси z .

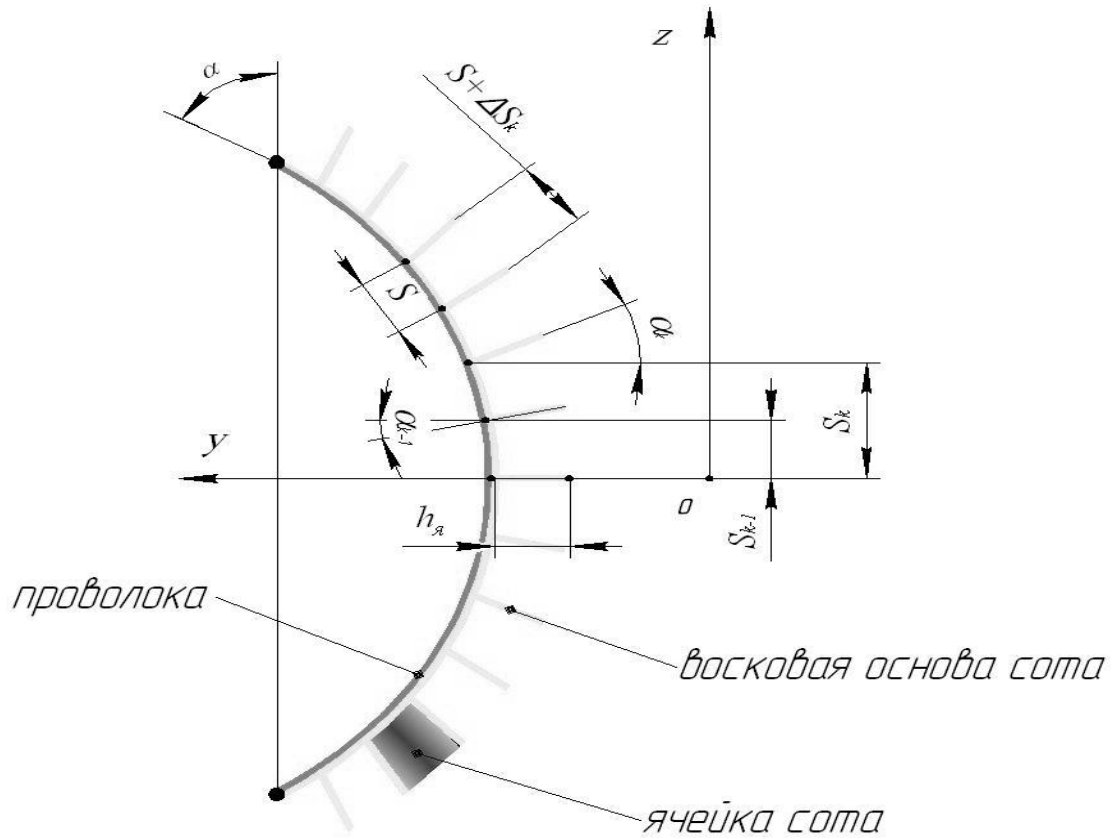


Рисунок 3.7 – Схема деформирования ячеек сота с выпуклой стороны проволоки

Выразим размер ячейки S через координаты стенки ячейки S_k по оси z на проволоке [71]

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{S_{k-1}}^{S_k} \sqrt{1 + y_i'^2} dz = \int_{S_{k-1}}^{S_k} \sqrt{1 + \left(\frac{q_n z}{H}\right)^2} dz = \frac{H}{q_n} \int_{S_{k-1}}^{S_k} \sqrt{1 + \left(\frac{q_n z}{H}\right)^2} d \frac{q_n z}{H} = \\
 &= \frac{H}{q_n} \left(\frac{q_n}{2H} z \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} z\right)^2} + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{q_n}{H} z + \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} z\right)^2} \right| \right) \Bigg|_{S_{k-1}}^{S_k} = \\
 &= \frac{1}{2} S_k \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} S_k\right)^2} + \frac{H}{2q_n} \ln \left| \frac{q_n}{H} S_k + \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} S_k\right)^2} \right| - \\
 &\quad - \frac{1}{2} S_{k-1} \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} S_{k-1}\right)^2} - \frac{H}{2q_n} \ln \left| \frac{q_n}{H} S_{k-1} + \sqrt{1 + \left(\frac{q_n}{H} S_{k-1}\right)^2} \right|
 \end{aligned}$$

В результате интегрирования получим

$$S = \frac{1}{2} \left[S_k \sqrt{1 + \left(\frac{q_{\pi}}{H} S_k \right)^2} - S_{k-1} \sqrt{1 + \left(\frac{q_{\pi}}{H} S_{k-1} \right)^2} \right] + \frac{H}{2q_{\pi}} \ln \left| \frac{\frac{q_{\pi} S_k}{H} + \sqrt{1 + \left(\frac{q_{\pi} S_k}{H} \right)^2}}{\frac{q_{\pi} S_{k-1}}{H} + \sqrt{1 + \left(\frac{q_{\pi} S_{k-1}}{H} \right)^2}} \right|$$

$$(k = 1, 2, \dots, n_{\text{я}}) \quad (3.30)$$

Выражение (3.30) представляет собой рекуррентную последовательность уравнений относительно S_1, S_2, \dots , при значении $S_0 = 0$, $n_{\text{я}}$ – число ячеек по одну сторону от середины проволоки (от оси y).

В результате решения уравнений (3.30) найдем координаты концов дуг длиной $S_{\text{по}}$ оси oz (т.е. стенок ячеек сота возле дна) и тем самым можем найти углы поворота нормали изогнутой оси проволоки в этих точках.

$$\operatorname{tg} \alpha_k = y'(S_k) = \frac{q_{\pi}}{H} \cdot S_k \quad (3.31)$$

$$\alpha_k = \arctan \left(\frac{q_{\pi}}{H} \cdot S_k \right) \quad (3.32)$$

Найдем изменение длины дуги $S_{\text{на}}$ внешней стороне изогнутой сотовой пластины. Выпуклая поверхность пластины эквидистантна срединной поверхности, по которой проходит армирующая проволока (рис. 3.8).

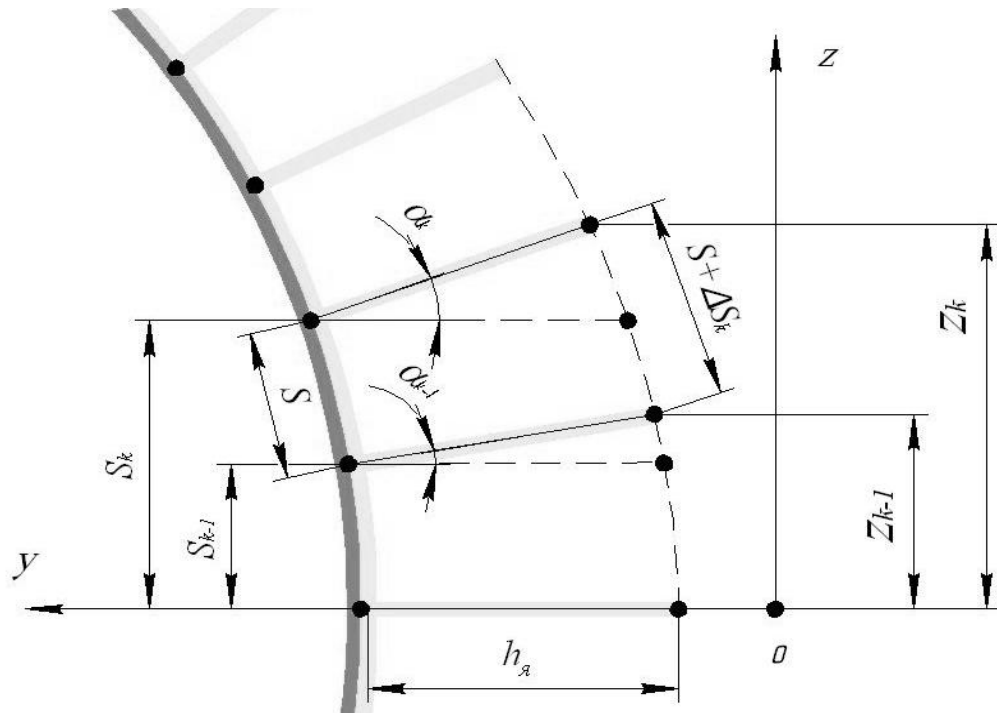


Рисунок 3.8 – Схема к определению размера ячеек сота на выпуклой поверхности проволоки

Приближенное решение имеет погрешность порядка отличия разности длин дуг и разности длин проекций дуг на ось z . Так как поверхности изогнутой пластины достаточно пологие, то эти разности будут отличаться на небольшую величину. Поэтому найдем приближенное значение величины ΔS для k -ой ячейки сота после её растяжения

$$\Delta S_k = h_{\text{я}} \cdot (\sin \alpha_k - \sin \alpha_{k-1}), \quad (3.33)$$

где $h_{\text{я}}$ – длина ячейки сота, м.

По полученным выражениям (3.32) и (3.33) с использованием программы MathCad 14.0 были построены зависимости изменения величины приращения размера поперечного сечения ячейки сота, при центробежном растяжении, от места её расположения на проволоке при различном прогибе проволоки (рис. 3.9).

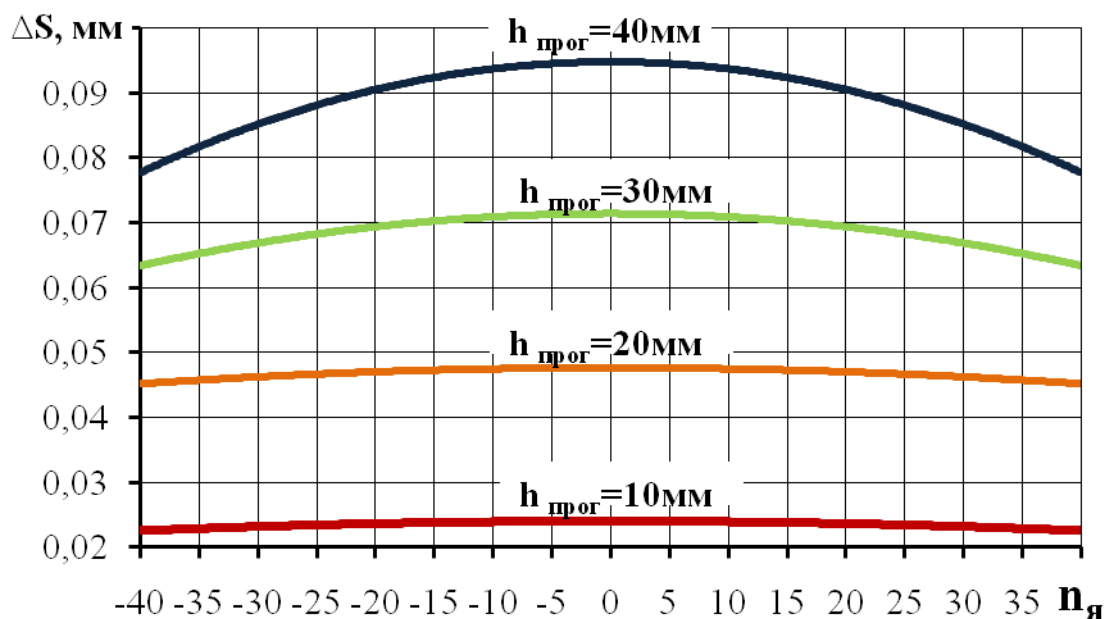


Рисунок 3.9 – Зависимость изменения величины приращения размера поперечного сечения ячейки сота от места её расположения на проволоке

При диаметре проволоки 0,4 мм, высоте ячейки сота 10 мм и величине прогиба 40 мм, зазор между гранулой перги и восковой стенкой ячейки варьируется в зависимости от места её положения в соте от 0,078 до 0,094 мм.

3.2.4. Исследование разрушения пчелиных сотов

Для выделения части сотов, заполненных пергой, установка для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы должна иметь другой режим работы, который приводит к разрушению восковой основы сотов. Учитывая то, что перга неравномерно распределяется по поверхности пчелиного сота возникает неравномерность инерционных нагрузок. То есть воздействие на пчелиный сот будет осуществляться в тех его частях, где будет возникать сосредоточение сил. При деформации восковой основы вначале происходит деформация изгибом, а затем, по достижении определенного прогиба, воскоперговая основа дополнительно деформируется растяжением. В этом случае мы имеем дело со сложным напряженным состоянием восковой основы. Так как перга располагается в центральной части пчелиного сота, то периферия сота образована не заполненными ячейками. Момент сопротивления, этой части сота стремиться к нулю, так как незаполненные пергой ячейки сотов не способны сопротивляться напряжениям изгиба. Поэтому основным напряжением в этой зоне будет растяжение (рис. 3.10). Рассматривая процесс разрушения пчелиного сота, установлено, что в начальный момент происходит отрыв восковой основы от бокового бруска деревянной рамки. А затем отрыв кусков вдоль армирующей проволоки. Рассмотрим влияние центробежных сил на разрушение восковой основы в зоне не заполненных ячеек, так как они имеют наименьшую прочность.

$$F_{цб} = q_{п} \cdot S_{п}, \quad (3.34)$$

где $S_{п}$ – площадь сота заполненного пергой, m^2 .

Спроецировав уравнение равновесия на радиальную ось. Так как в скарификаторе воскоперговая масса движется с постоянной скоростью, то с учетом принципа Даламбера составим уравнение равновесия

$$\overline{F_{цб}} + \overline{F_{раз}} + \overline{F_{раз}^*} = 0 \quad (3.35)$$

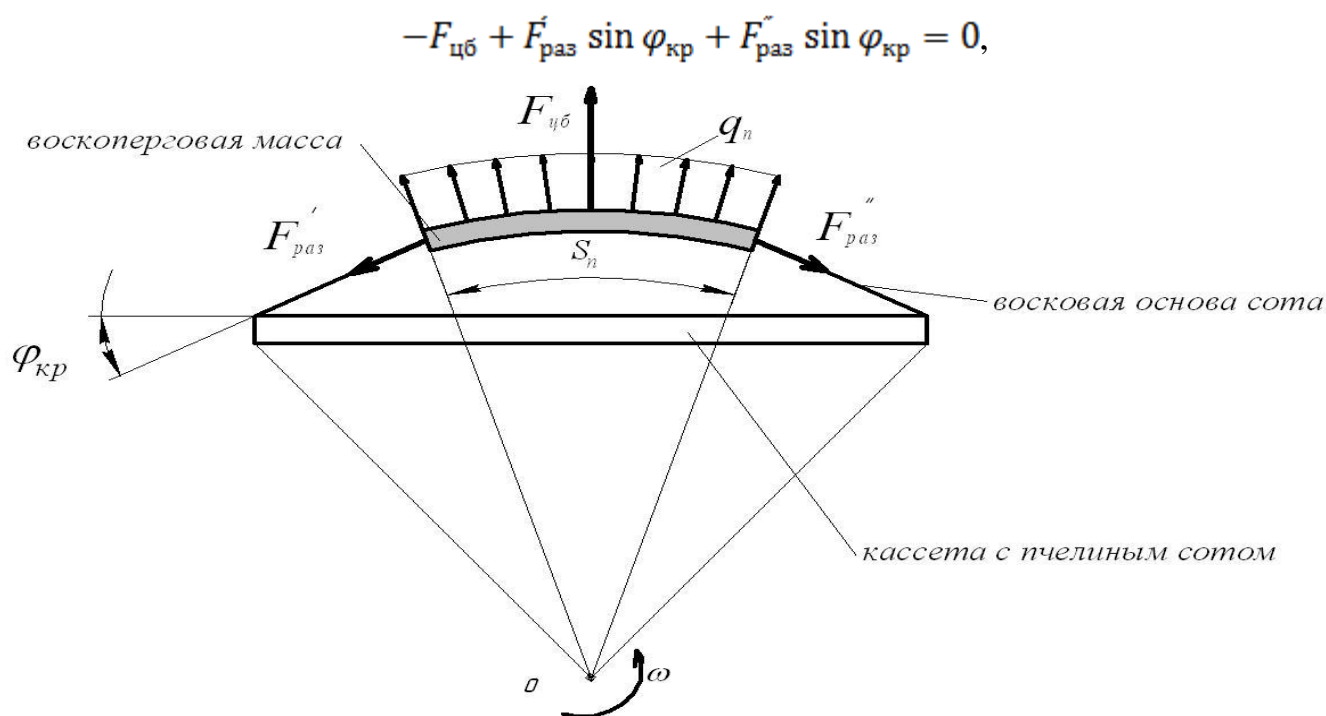


Рисунок 3.10 – Расчетная схема нагружения восковой основы сотов

Учитывая, что сила растяжения восковой основы примерно равны усилия разрывал восковой основы будет равно

$$F_{раз} = \frac{F_{цб}}{2 \cdot \sin \varphi_{кр}}. \quad (3.36)$$

Для определения максимальных усилий разрыва зададимся толщиной вошины и шириной куска сота между армирующими проволоками (рис. 3.11).

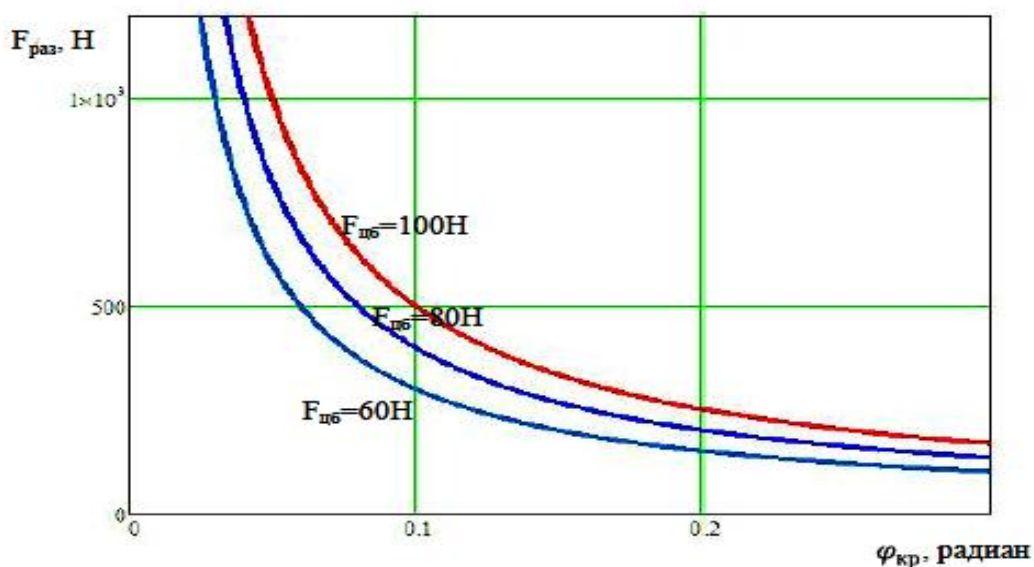


Рисунок 3.11 – Зависимость разрушающих усилий пчелиного сота от центробежной нагрузки и критического угла

Анализ полученных зависимостей позволил установить, что значение разрушающей силы в большей степени зависит от центробежной нагрузки и в зависимости от критического угла прогиба сота составляет около 400...600 Н. Учитывая, что центробежная нагрузка зависит от массы перги в пчелином соте, радиуса и угловой скорости вращения запишем её величину[231]

$$F_{цб} = m_{п} \cdot \omega^2 \cdot R . \quad (3.37)$$

Выразим величину угловой скорости из выражения (3.37)

$$\omega = \sqrt{\frac{F_{цб} \cdot \sin \varphi_{кр}}{m_{п} \cdot R}} . \quad (3.38)$$

Учитывая то, что необходимая величина центробежной силы определяется величиной усилия разрыва восковой основы сота, значение угловой скорости будет определяться

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{раз} \cdot \sin \varphi_{кр}}{m_{п} \cdot R}} . \quad (3.39)$$

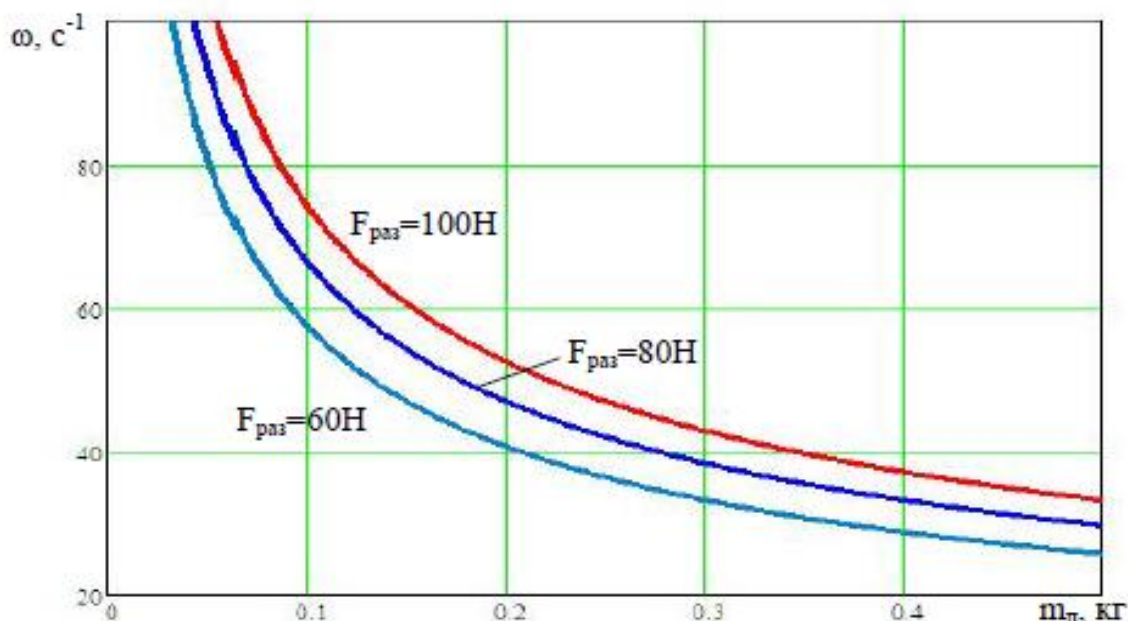


Рисунок 3.12 – Зависимость угловой скорости ротора от массы перги в пчелином соте

Анализ рисунка 3.12 показывает, что с увеличением массы перги в пчелином соте угловая скорость ротора уменьшается. При среднем значении перги в

соте 300...350 грамм угловая скорость ротора должна быть от 36 до 43 с⁻¹. Также на частоту вращения влияет усилие разрыва восковой основы сота. У темных сотов с длительным периодом использования максимальное усилие разрыва составляет 107,8 Н, у светлых сотов – 86,1 Н. Следует отметить, что не рекомендуется использовать соты с содержанием перги менее 150 грамм.

3.2.5. Исследование деформации удерживающей пластины кассеты для скарификации

Для повышения равномерности центробежной скарификации ячеек пчелиного сота с пергой предлагается осуществлять прогиб воскоперговой массы совместно с удерживающей пластиной кассеты [97]. Схема нагружения удерживающей пластины в кассете для центробежной скарификации представлена на рисунке 3.13.

Так как размер удерживающей пластины по оси y меньше других размеров по осям x и z , то срединная плоскость удерживающей пластины в результате прогиба будет искривляться по цилиндрической поверхности.

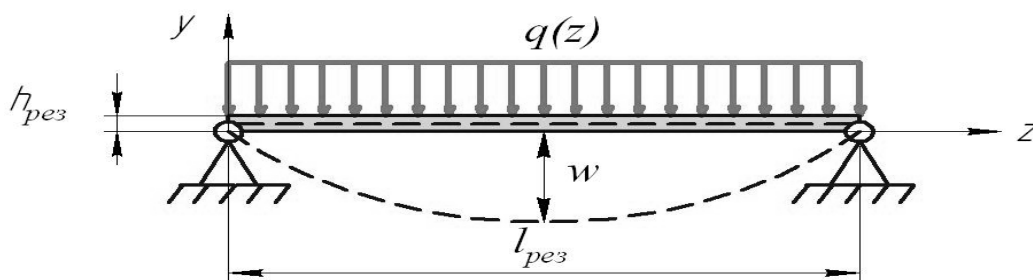


Рисунок 3.13 – Схема нагружения удерживающей пластины в кассете для центробежной скарификации

Для определения прогиба удерживающей пластины используем дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности [216]

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \cdot \frac{d^4 w}{dx^2 dz} + \frac{d^4 w}{dz^4} = \frac{q(z)}{D},$$

подставив в него граничные условия $\frac{\partial w}{\partial x} = 0$ получим

$$\frac{d^4 w}{dz^4} = \frac{q(z)}{D}, \quad (3.40)$$

где $q(z)$ – центробежная нагрузка, Н/м;

D – цилиндрическая жесткость удерживающей пластины, Н·м².

$$D = \frac{E_{\text{рез}} \cdot h_{\text{рез}}^4}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (3.41)$$

где $E_{\text{рез}}$ – модуль упругости материала удерживающей пластины, Па;

$h_{\text{рез}}$ – толщина удерживающей пластины, м;

μ – коэффициент Пуассона.

Используя способ закрепления удерживающей пластины как балки на двух опорах и метод начальных параметров, решаем дифференциальное уравнение (3.40)

$$w(z) = \frac{q}{12D} \cdot \left(\frac{l_{\text{рез}}^3}{2} \cdot z - l_{\text{рез}} \cdot z^3 + \frac{1}{2} \cdot z^4 \right), \quad (3.42)$$

Так как максимальный прогиб будет находиться в середине удерживающей пластины, тогда $z = \frac{l_{\text{рез}}}{2}$. Подставив значение $z = \frac{l_{\text{рез}}}{2}$ в уравнение (3.42) получим

$$w_{\text{max}} = \frac{5 \cdot q \cdot l_{\text{рез}}^4}{384 \cdot D}, \quad (3.43)$$

или с учетом уравнения (3.49) имеем

$$w_{\text{max}} = \frac{5 \cdot q \cdot l_{\text{рез}}^4 \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2)}{384 \cdot E_{\text{рез}} \cdot h_{\text{рез}}^4} = \frac{5 \cdot q \cdot l_{\text{рез}}^4 \cdot (1 - \mu^2)}{32 \cdot E_{\text{рез}} \cdot h_{\text{рез}}^4}, \quad (3.44)$$

где $q \cdot l_{\text{рез}}$ – это суммарная центробежная нагрузка. Подставив выражение $F_{\text{рез}} = q \cdot l_{\text{рез}}$ в уравнение (3.42) получим [97]

$$w_{\text{max}} = \frac{5 \cdot F_{\text{рез}} \cdot l_{\text{рез}}^3}{32 \cdot E_{\text{рез}} \cdot h_{\text{рез}}^4} \cdot (1 - \mu^2). \quad (3.45)$$

Прогиб воскоперговой массы сота без разрушения удерживающей пластины будет идти до тех пор, пока соблюдаться условие

$$w_{\text{max}} \leq [w] \quad (3.46)$$

где $[w]$ – предельно допустимый прогиб удерживающей пластины.

Теоретические исследования показали, что прогиб удерживающей пластины будет зависеть от её жесткости и толщины, размера пчелиного сота, плотности его заполнения пергой и центробежной нагрузки.

3.2.6. Исследование мощности установки для центробежной скарификации и выделения воскоперговой массы из сотов

Максимальная мощность на привод установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы будет определяться мощностью на разгон ротора с пчелиными сотами. Так как установка сотов в кассеты происходит при остановленном роторе, а затем происходит его разгон до заданных угловых скоростей, то максимальная мощность будет затрачиваться на достижение требуемой скорости. Следует отметить, что установка может работать в двух режимах, поэтому мощность установки будем рассчитывать в режиме выделения вокоперговой массы.

Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии [80]

$$T_1 - T_0 = \sum_{r=1}^n A_{\text{ц}} \quad (3.47)$$

где T_1 – кинетическая энергия ротора при достижении требуемой скорости, Дж;

T_0 – кинетическая энергия ротора в начальный момент, $T_0 = 0$;

$A_{\text{ц}}$ – работа привода ротора по выводу его на требуемую скорость вращения, Дж.

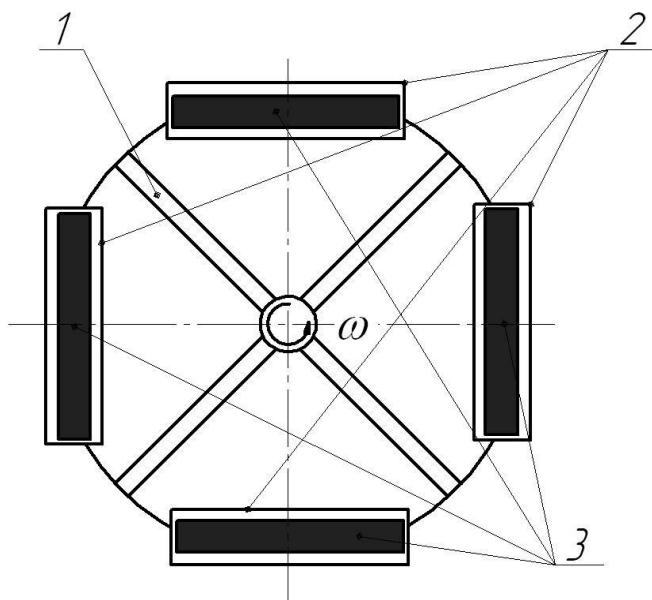
Кинетическая энергия ротора будет определяться следующим выражением

$$T_1 = \frac{I_{\text{рот}} \cdot \omega^2}{2}, \quad (3.48)$$

где $I_{\text{рот}}$ – момент инерции ротора с сотами, кг/м²;

ω – угловая скорость ротора, с⁻¹.

Ротор неоднороден и включает в себя каркасную конструкцию, кассеты с устанавливаемыми сотами (рис. 3.14). Основная масса ротора распределена по периферии ротора и может быть разделена на две части: постоянная часть – ротор с кассетами и переменная часть – устанавливаемые соты.



1 – ротор; 2 – кассеты; 3 – пчелиные соты.

Рисунок 3.14 – Размещение пчелиных сотов в роторе установки

В этом случае момент инерции запишется в следующем образом:

$$I_{\text{рот}} = \frac{m_{\text{рот}} \cdot R^2}{2} + 4 \frac{m_{\text{сот}} \cdot R^2}{2} \quad (3.49)$$

Допустим, что ротор установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы разгоняется равноускоренно, тогда мощность на привод ротора можно записать

$$N = \frac{A_{\text{ц}}}{t_{\text{раз}}}, \quad (3.50)$$

где $t_{\text{раз}}$ – время разгона до требуемой скорости, с.

Подставив в выражение (3.50) значения выражений (3.47) – (3.49) получим

$$N = \frac{\omega^2}{t_{\text{раз}}} \left(\frac{m_{\text{рот}} R^2}{2} + 2 \cdot m_{\text{сот}} R^2 \right). \quad (3.51)$$

В результате математического моделирования в программе MathCad была построена зависимость мощности на привод установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы N от угловой скорости ротора (рис. 3. 15).

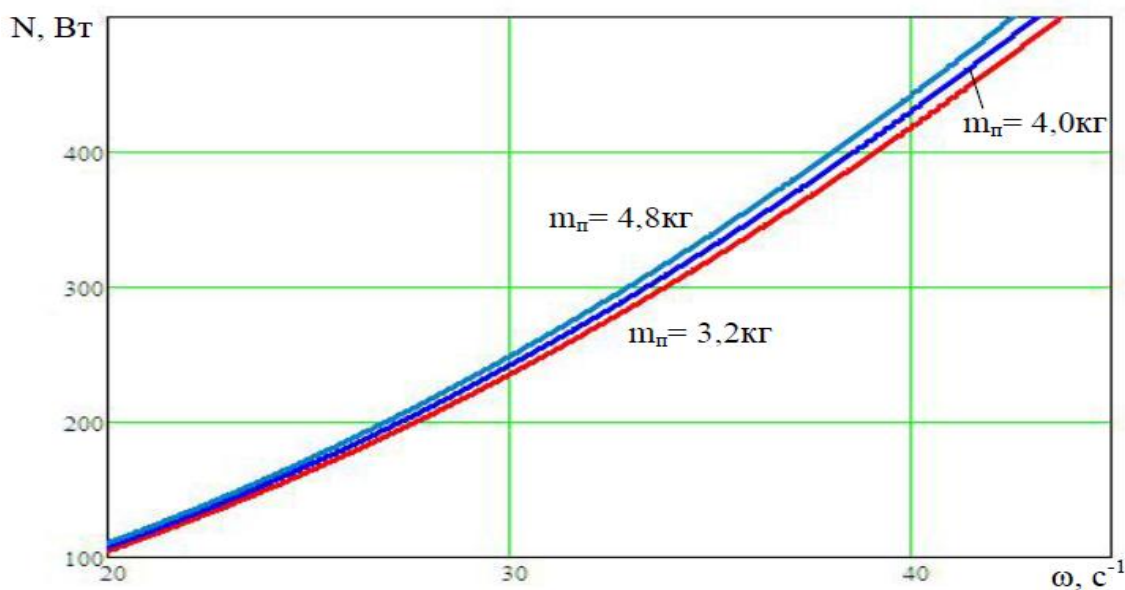


Рисунок 3.15 – Зависимость мощности на привод установки от угловой скорости ротора

Анализ зависимости показал, что мощность на привод установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы зависит от времени разгона $t_{\text{раз}}$ и массы пчелиных сотов с пергой. При максимальной угловой скорости ротора установки $41 \dots 43 \text{ с}^{-1}$ при выделении воскоперговой массы максимальная мощность составляет $N=430 \dots 500 \text{ Вт}$.

3.3. Теоретические исследования измельчителя пчелиных сотов

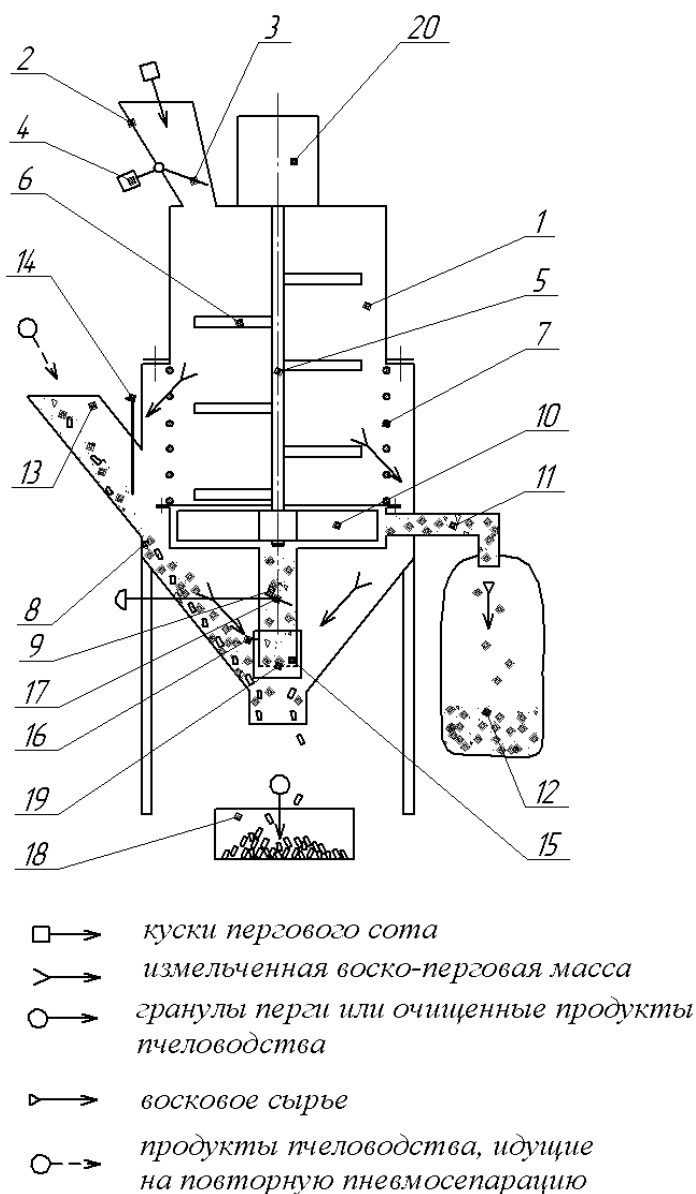
3.3.1. Конструктивно-технологическая схема агрегата для извлечения перги из пчелиных сотов

В процессе извлечения перги из пчелиных сотов было выявлено, что при транспортировке воскоперговой смеси из измельчителя к сепаратору происходит конденсация влаги на охлажденные поверхности гранул перги и кусочки восковой основы сота. Это приводит к налипанию восковых частиц на гранулы перги и ухудшению процесса их разделения. Вследствие этого увеличиваются затраты времени и энергии на извлечение перги, а качество готового продукта ухудшается.

Нами был предложен способ извлечения перги, в котором воскоперговая смесь, выходящая из измельчителя, в непрерывном процессе выравнивается на наклонной поверхности и подается на сепарацию [190].

Для устранения недостатков существующих измельчителей пчелиных сотов была разработана конструктивно-технологическая схема функционирования агрегата (рис. 3.16), в котором осуществляется предложенный способ [101, 189, 190, 201, 203].

Агрегат содержит цилиндрическую рабочую камеру 1 с загрузочным бункером 2, внутри которого шарнирно установлена заслонка 3 с грузом-противовесом 4. Внутри камеры 1, на валу 5 поярусно и радиально расположены штифты 6. Нижняя часть цилиндрической поверхности рабочей камеры выполнена перфорированной в виде съемных решеток 7. Под рабочей камерой 1, с охватом её перфорированного участка установлен циклон 8. Внутри циклона 8 находится аспирационный канал в виде трубы 9. На нижнем конце вала 5 установлен центробежный вентилятор 10 с отводным патрубком 11 для сбора воскового сырья в фильтр-мешок 12. На внешней верхней стороне циклона 8 расположен бункер 13 для повторной подачи на пневмосепарацию извлеченных гранул перги.



1 – рабочая камера, 2 – загрузочный бункер, 3 – заслонка, 4 – груз-противовес, 5 – вал, 6 – штифт, 7 – съемная решётка, 8 – циклон, 9 – аспирационный канал, 10 – вентилятор, 11 – отводной патрубок, 12 – фильтр-мешок, 13 – бункер, 14 – дозирующая заслонка, 15 – муфта, 16 – винт, 17 – заслонка, 18 – емкость, 19 – решётка, 20 – электродвигатель.

Рисунок 3.16 – Конструктивно-технологическая схема функционирования агрегата для извлечения перги

Бункер 13 выполнен с дозирующей заслонкой 14 [69]. На нижнем конце трубы 9 аспирационного канала, с возможностью перемещения по трубе, установлена муфта 15, рабочее положение которой фиксируется винтом 16. Внутри трубы 9 расположена заслонка 17 для регулирования

величины воздушного потока через аспирационный канал. Под сужающейся нижней частью циклона 8 установлена емкость 18 для сбора готовых гранул перги и продуктов пчеловодства идущих с пневмосепарации. Нижний торец трубы 9 закрыт решеткой 19. Вал 5 и центробежный вентилятор 10 приводятся во вращение от электродвигателя 20 [101, 129, 189, 201, 203].

Работа агрегата осуществляется следующим образом. Подготовленные к переработке куски воскоперговой массы сотов подают в загрузочный бункер 2 на заслонку 3. Под их воздействием заслонка поворачивается, а они скатываются в цилиндрическую рабочую камеру 1, где измельчаются под ударным воздействием штифтов 6 при вращении вала 5. Измельченная воскоперговая масса до размеров отверстий в съемных решетках 7 под действием центробежных сил проходит через отверстия и попадает в циклон 8. Измельченная воскоперговая масса, опустившаяся на дно, нижним штифтом вала 5 перемещается к периферии, где, пройдя через отверстия решетки 7, попадает в циклон 8. Скатываясь по суживающейся части циклона 8, измельченная воскоперговая масса равномерно распределяется вокруг муфты 15 и дозированно проходит через регулируемый зазор между стенкой циклона 8 и муфтой 15 в зону сепарации. Вращением центробежного вентилятора 10 в зоне сепарации, на входе в трубу 9 аспирационного канала, создается восходящий воздушный поток, который уносит по трубе восковое сырье через решётку 19 и отводной патрубок 11 в фильтр-мешок 12, а более тяжелые гранулы перги опускаются в емкость 18, расположенную под циклоном. Для изменения величины зазора прохождения измельченной воскоперговой массы муфту 15 перемещают по трубе 9 и фиксируют регулировочным винтом 16. Для изменения величины восходящего воздушного потока, регулировку осуществляют поворотом заслонки 17.

С целью предотвращения засасывания гранул перги в фильтр-мешок 12 при неравномерной подаче измельченной воскоперговой массы в зону сепарации нижний торец трубы 9 аспирационного канала закрыт решеткой 19. При недостаточной очистке перговых гранул за первый проход, они

подвергаются загрузке в зону пневосепарации через бункер 13. Для дозирования массы на очистку в бункере 13 изменяется пропускное сечение горловины за счет перемещения дозирующей заслонки 14. Пройдя через горловину бункера 13, гранулы перги и восковые примеси скатываются по суживающейся части циклона 8 и попадает в трубу 9 аспирационного канала, где происходит отделение перги от примесей, которые уносятся в фильтр-мешок 12, а очищенный продукт попадает в емкость 18.

Бункер 13 позволяет загружать плохо очищенные перговые гранулы непосредственно в зону пневосепарации, минуя измельчитель, тем самым повышая качество очистки готового продукта без его переизмельчения.

Особенность конструкции агрегата заключается в том, что в нем объединены измельчитель и пневмосистема, а вентилятор пневмосистемы закреплен на валу штифтового измельчителя и приводится во вращение одним электродвигателем. Это позволяет осуществить процесс разрушения кусков пчелиных сотов без дополнительных перевалочных операций, без конденсации влаги на гранулы перги, что позволяет производить достаточно полно очистку гранул перги от восковой основы пчелиного сота.

3.3.2. Теоретические исследования взаимодействия гранул перги со штифтом и дном измельчителя

Перед измельчителем сотов ставится две задачи: чтобы гранулы были освобождены от восковой основы, и при прохождении через выгрузную решетку не измельчались. Поэтому теоретически нужно решить две задачи:

- определить расстояние между дном камеры измельчителя и нижним штифтом;
- определить размеры отверстий выгрузной решетки измельчителя, чтобы не происходило измельчения гранул перги [98].

Рассмотрим первый случай, когда гранула лежит на дне камеры измельчения, а её поперечное сечение в виде шестигранника параллельно оси

вращения вала измельчителя. Штифт имеет вид цилиндра. Для упрощения расчетов примем форму гранулы перги в виде цилиндра (рис. 3.17).

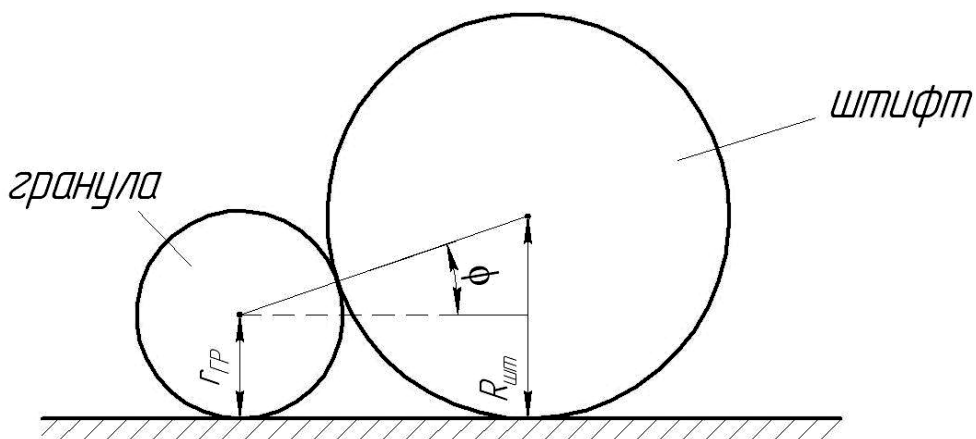


Рисунок 3.17 – Взаимное расположение штифта и гранулы при величине зазора с дном равной нулю

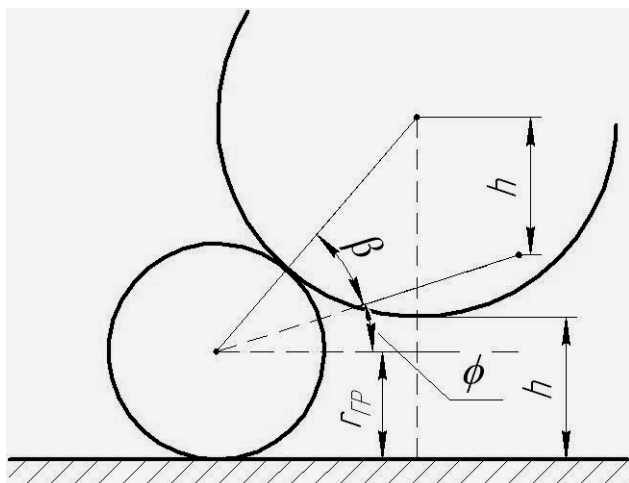


Рисунок 3.18 – Взаимное расположение штифта и гранулы при величине зазора равной h

Радиус штифта $R_{шт}$, а гранулы $r_{гр}$. При зазоре $h=0$ между штифтом и днищем

$$\sin \phi = \frac{R_{шт} - r_{гр}}{r_{гр} + R_{шт}} \quad (3.52)$$

Повернем пруток вокруг гранулы на угол β . При этом центр штифта поднимется на высоту h , что и будет являться зазором между штифтом и днищем.

Из рисунка 3.18 находим

$$\sin(\phi + \beta) = \frac{R_{um} + h - r_{cp}}{R_{um} + r_{cp}}, \quad (3.53)$$

где β - угол, на который нужно повернуть прямую, соединяющую центры штифта и гранулы перги, для того, чтобы штифт поднялся на высоту h относительно дна камеры измельчения.

$$\phi + \beta = \varphi$$

Задавшись величиной зазора h , найдем угол β и наоборот.

Рассмотрим силы, возникающие при взаимодействии штифта, гранулы и днища (рис. 3.19).

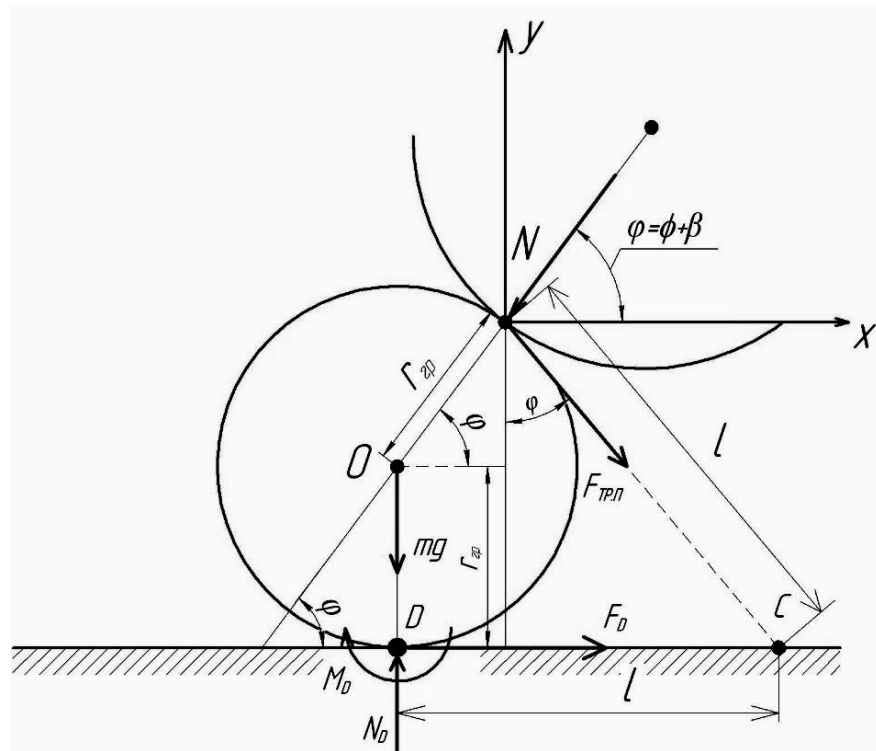


Рисунок 3.19 – Силы, действующие на гранулу перги

Силы трения подчиняются неравенствам

$$\begin{aligned} F_D &\leq N_D \cdot f_D \\ M_D &\leq N_D \cdot k \\ F_{тр.п.} &\leq N \cdot f_{тр.п.}, \end{aligned} \quad (3.54)$$

где N_D – сила нормального давления гранулы на дно камеры измельчения;

f_D – коэффициент трения перги о дно камеры измельчения;

M_D – момент сопротивления качению;

N – сила нормального давления штифта на гранулу;

$F_{тр.п}$ – сила трения между штифтом и гранулой;

F_D – сила трения между гранулой и дном;

mg – сила тяжести гранулы;

k – коэффициент трения качения;

$f_{тр.п}$ – коэффициент трения перги о материал штифта.

Так как сила тяжести гранулы очень мала по сравнению с силой N , то в дальнейших расчетах ею будем пренебрегать.

При взаимодействии штифта, гранулы перги и дна камеры измельчения возможны следующие случаи поведения гранулы:

- 1) Гранула катится по дну камеры измельчения без скольжения;
- 2) Гранула катится со скольжением по дну камеры измельчения;
- 3) Гранула скользит по дну камеры измельчения без качения;
- 4) Гранула не катится и не скользит по дну камеры измельчения.

В четвёртом случае происходит защемление гранулы. Этот случай надо исключить, так как произойдет раздавливание гранулы[98].

Рассмотрим эти случаи по порядку и выявим условия их реализации при равномерном движении гранулы.

В общем случае для гранулы возможными перемещениями являются угол поворота ($\delta\varphi$ – приращение угла поворота гранулы) и поступательное перемещение (δx – приращение поступательного движения гранулы по дну).

Для первого случая, когда гранула катится по дну камеры измельчения без скольжения, угол поворота $\delta\varphi \neq 0$, а поступательное перемещение отсутствует $\delta x = 0$.

Составим сумму работ сил действующих на гранулу на этом перемещении (рис. 3.20).

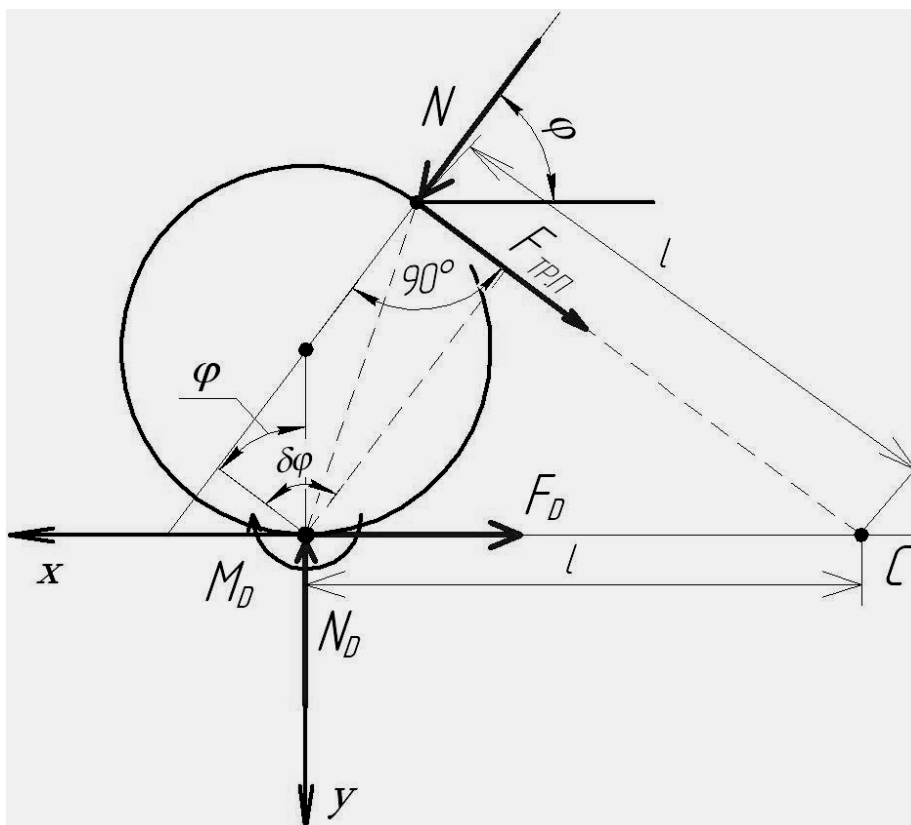


Рисунок 3.20 – Схема для определения работы сил на возможном перемещении

Работа положительна, так как работа активных сил превосходит работу сил сопротивления

$$N \cdot r_{\text{гр}} \cdot \cos \varphi \cdot \delta \varphi - F_{\text{тр.п}}(r_{\text{гр}} + r_{\text{гр}} \cdot \sin \varphi) \delta \varphi - M_D \cdot \delta \varphi > 0 \quad (3.55)$$

Сократим неравенство (3.55) на $\delta \varphi$

$$N \cdot r_{\text{гр}} \cdot \cos \varphi - F_{\text{тр.п}}(r_{\text{гр}} + r_{\text{гр}} \cdot \sin \varphi) - M_D > 0$$

Отсюда следует неравенство

$$N \cdot f_{\text{тр.п}} > F_{\text{тр.п}}(1 + \sin \varphi) + \frac{M_D}{r_{\text{гр}}} \quad (3.56)$$

При качении гранулы по дну камеры измельчения и скольжении по штифту

$$M_D = N_D \cdot k, F_{\text{тр.п}} = f_{\text{тр.п}} \cdot N \quad (3.57)$$

Подставим выражение (3.57) в (3.56)

$$N \cdot \cos\varphi > f_{\text{тр.п}} \cdot N(1 + \sin\varphi) + N_D \cdot \frac{k}{r_{\text{гр}}} \quad (3.58)$$

Кроме этого выполняется условие равновесия сил в проекции на ось Oy

$$N \cdot \sin\varphi + F_{\text{тр.п}} \cdot \cos\varphi + N_D = 0,$$

а учитывая (3.58), получим отношение

$$\frac{N_D}{N} = \sin\varphi + f_{\text{тр.п}} \cdot \cos\varphi \quad (3.59)$$

Подставим уравнение (3.59) в (3.58)

$$\cos\varphi > f_{\text{тр.п}} \cdot (1 + \sin\varphi) + \frac{k}{r_{\text{гр}}} \cdot (\sin\varphi + f_{\text{тр.п}} \cdot \cos\varphi) \quad (3.60)$$

Приведём это уравнение к виду, удобному для графического решения

$$\cos\varphi \left(1 - f_{\text{тр.п}} \cdot \frac{k}{r_{\text{гр}}}\right) - \sin\varphi \left(f_{\text{тр.п}} + \frac{k}{r_{\text{гр}}}\right) > f_{\text{тр.п}} \quad (3.61)$$

В программе MathCad, подставляя численные значения k , $r_{\text{гр}}$ и $f_{\text{тр.п}}$, методом подбора находим угол φ , при котором левая и правая части неравенства (3.61) будут равны.

Для второго случая, когда гранула катится со скольжением по дну камеры измельчения, независимые возможные перемещения $\delta\varphi \neq 0$, $\delta x \neq 0$.

Выражение взаимной работы запишется так

$$N \cdot r \cdot \cos\varphi \cdot \delta\varphi + N \cdot \cos\varphi \cdot \delta x - F_{\text{тр.п}}(1 + \sin\varphi)\delta\varphi - \\ - F_{\text{тр.п}} \cdot \delta x \cdot \sin\varphi - F_D \cdot \delta x - M_D \cdot \delta\varphi > 0 \quad (3.62)$$

Отсюда дополнительно к неравенству (3.56) имеем

$$N \cdot \cos\varphi - F_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi - F_D > 0, \quad (3.63)$$

где $F_{\text{тр.п}} = N \cdot f_{\text{тр.п}}$,

$$F_D = N_D \cdot f_D$$

Подставим их в (3.63)

$$N \cos\varphi - N \cdot f_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi - N_D \cdot f_D > 0 \quad (3.64)$$

Разделив неравенство (3.64) на N и используя выражение (3.59) получим неравенство

$$\begin{aligned}
\cos\varphi - f_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi - f_D \cdot (\sin\varphi + f_{\text{тр.п}} \cdot \cos\varphi) &> 0 \\
\cos(1 - f_D \cdot f_{\text{тр.п}}) &> (f_{\text{тр.п}} + f_D) \sin\varphi \\
\tan\varphi &< \frac{(1 - f_D \cdot f_{\text{тр.п}})}{(f_{\text{тр.п}} + f_D)}
\end{aligned} \tag{3.65}$$

Для того чтобы гранула катилась со скольжением по дну камеры измельчения при взаимодействии со штифтом должны выполняться неравенства (3.61) и (3.65)

$$\begin{cases} \cos\varphi \left(1 - f_{\text{тр.п}} \cdot \frac{k}{r_{\text{гр}}}\right) - \sin\varphi \left(f_{\text{тр.п}} + \frac{k}{r_{\text{гр}}}\right) > f_{\text{тр.п}} \\ \tan\varphi < \frac{(1 - f_D \cdot f_{\text{тр.п}})}{(f_{\text{тр.п}} + f_D)} \end{cases} \tag{3.66}$$

Третий случай, когда гранула скользит по дну камеры измельчения без качения, так как для его реализации требуется больший угол φ . Он реализуется при отсутствии вращательного движения гранулы $\delta\varphi=0$ и при возможном линейном перемещении $\delta x \neq 0$.

Уравнение работы сил на перемещении δx имеет вид

$$A = (N \cdot \cos\varphi - F_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi - F_D) \delta x \tag{3.67}$$

Перемещение гранулы станет возможным, если сумма сил будет больше нуля, то есть

$$N \cdot \cos\varphi - F_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi - F_D > 0,$$

из которого следует, что

$$N \cdot \cos\varphi > F_{\text{тр.п}} \cdot \sin\varphi + F_D \tag{3.68}$$

где $F_D = N_D \cdot f_D$.

Силу трения $F_{\text{тр.п}}$ найдем из уравнения равновесия

$$\sum Y = N_D - N \cdot \sin\varphi - F_{\text{тр.п}} \cdot \cos\varphi = 0$$

$$\text{или} \quad F_{\text{тр.п}} = \frac{N_D - N \cdot \sin\varphi}{\cos\varphi} \tag{3.69}$$

Составим сумму моментов относительно точки С(рис. 3.21)

$$\Sigma m_c = N \cdot BC - N_D \cdot DC = 0, \quad (3.70)$$

отсюда, учитывая что $BC = DC$, найдем $N = N_D$

Учитывая равенства (3.69) и (3.70), неравенство (3.68) после сокращений примет вид

$$\cos^2 \varphi - \sin \varphi + \sin^2 \varphi - f_D \cdot \cos \varphi > 0 \quad (3.71)$$

Неравенство (3.71) эквивалентно неравенству

$$\sin \varphi + f_D \cdot \cos \varphi < 1 \quad (3.72)$$

Введем угол α такой, что

$$\sin \alpha = \frac{f_D}{\sqrt{1+f_D^2}}, \quad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+f_D^2}}. \quad (3.73)$$

Из одного из равенств (3.73) найдем

$$\alpha = \arccos \frac{1}{\sqrt{1+f_D^2}} \quad (3.74)$$

Тогда неравенство (3.74) равносильно неравенству

$$\sin(\varphi + \alpha) < \frac{1}{\sqrt{1+f_D^2}}, \text{ решением которого является}$$

$$\varphi < \arcsin \frac{1}{\sqrt{1+f_D^2}} - \alpha \quad (3.75)$$

Неравенство (3.75) является условием не раздавливания гранулы.

Например, при $f_D = 0,4$ из (3.75) имеем $\varphi = 46,4^\circ$.

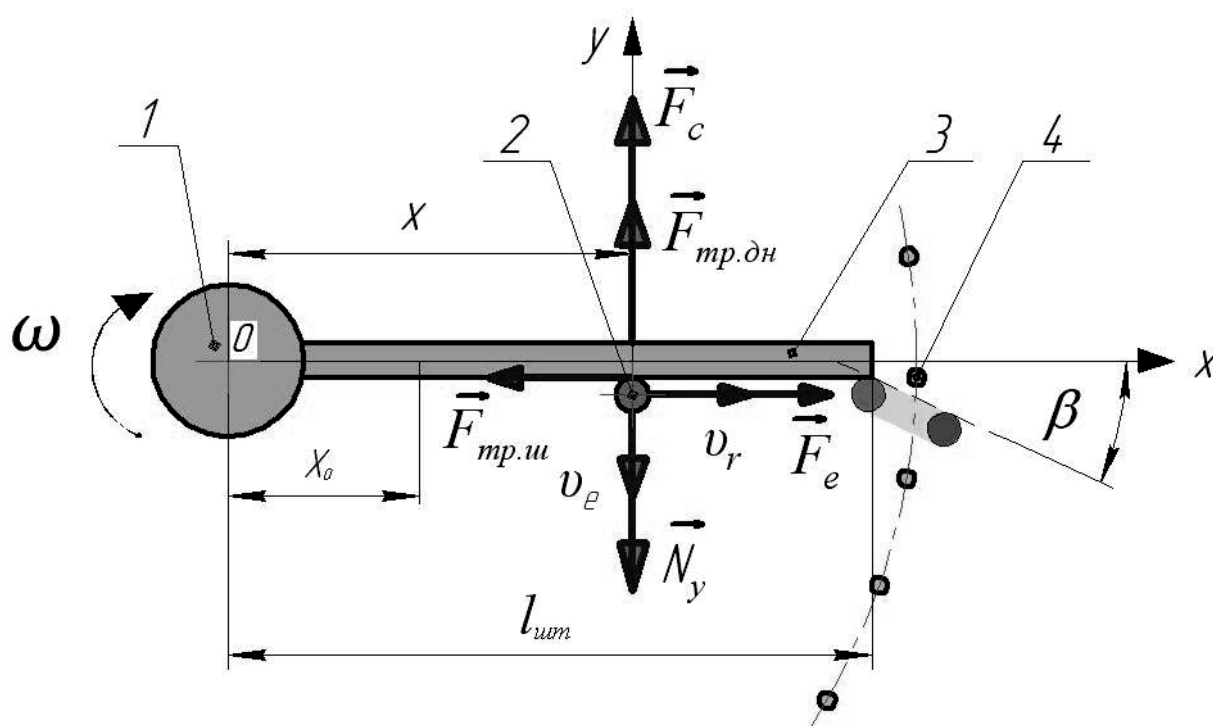
Из выражения (3.53) выразим h

$$h = (R_{шт} + r_{эп}) \sin \varphi + r_{эп} - R_{шт} \quad (3.76)$$

Подставляя $\varphi = 46,4^\circ$ в выражение (3.76) находим, что при диаметре штифта 15 мм и диаметре поперечного сечения гранулы 5 мм, расстояние между штифтом и дном камеры измельчения при $f_D = 0,4$ не должно превышать $h = 2,24 \text{ мм}$ [98].

3.3.3. Теоретические исследования движения гранул перги через отверстия выгрузной решётки измельчителя

Рассмотрим движение гранулы перги по нижнему штифту и горизонтальному дну измельчителя агрегата для извлечения гранул перги из сотов (рис. 3.21), при вращении штифта с угловой скоростью ω . Гранула перги участвует в относительном перемещении по штифту и в переносном по дну камеры измельчения [158].



1 – вал; 2 – гранула перги; 3 – штифт; 4 – прутки выгрузной решетки измельчителя.

Рисунок 3.21 – Схема сил, действующих на гранулу перги при её перемещении по дну штифтом в вертикальном измельчителе

Штифтовый вал вращается с постоянной угловой скоростью ω , поэтому ускорение вдоль оси Oy будет равно нулю. Перемещение гранулы перги штифтом по дну камеры измельчения можно описать системой дифференциальных уравнений [159].

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -F_{mp.u} + F_e \\ 0 = F_{mp.dn} + F_c - N_y \\ N_z = m_{гр}g \\ F_{mp.u} = fN_y \\ F_{mp.dn} = fN_z \end{cases}, \quad (3.77)$$

где $F_{mp.u}$ – сила трения гранулы перги о материал штифта, Н;

$F_{mp.dn}$ – сила трения гранулы перги о дно камеры измельчения, Н;

F_e – центробежная сила инерции, действующая гранулу, Н;

F_c – сила Кориолиса, Н;

N_y – сила нормального давления вдоль оси у, Н;

f – коэффициент трения перги о сталь;

N_z – сила нормального давления гранулы перги на дно измельчителя, Н.

Сила инерции переносного движения при равномерном вращении штифта имеет только нормальную составляющую

$$F_e = m_{гр}a_n = x \cdot m_{гр} \cdot \omega^2, \quad (3.78)$$

x – расстояние от оси вращения штифта до гранулы, м;

ω – угловая скорость штифтового вала, рад/с;

$m_{гр}$ – масса гранулы, кг.

$$\vec{F}_c = 2 \cdot m_{гр} \cdot |\vec{v}_r \times \vec{\omega}| = 2 \cdot \omega \cdot m_{гр} \cdot \dot{x}, \quad (3.79)$$

v_r – относительная скорость гранулы перги, м/с.

Определим силу N_y из второго уравнения системы (3.77)

$$N_y = F_{mp.dn} + F_c, \quad (3.80)$$

$$F_{mp.u} = f_{mp} \cdot N_y \quad (3.81)$$

Учитывая выражения (3.79) и (3.81), первое выражение уравнения (3.77) перепишем в виде

$$\ddot{x} = -f(fm_{гр}g + 2 \cdot \dot{x} \cdot \omega \cdot m_{гр}) + m_{гр}\omega^2x, \quad (3.82)$$

Сократим части уравнения (3.82) на $m_{гр}$

$$\ddot{x} = -f^2g - 2f\omega\dot{x} + \omega^2x, \quad (3.83)$$

И перенесем члены уравнения с x в одну сторону

$$\ddot{x} + 2f\omega\dot{x} - \omega^2x = -f^2g, \quad (3.84)$$

Введем новую переменную \mathcal{A} и приведем уравнение (3.84) к виду

$$\mathcal{A}^2 + 2f\omega\mathcal{A} - \omega^2 = 0, \quad (3.85)$$

Найдем корни квадратного уравнения (3.85)

$$\mathcal{A}_{1,2} = \frac{-2f\omega \pm 2\omega\sqrt{f^2+1}}{2} = -f\omega \pm \omega\sqrt{f^2+1}, \quad (3.86)$$

Тогда общее решение уравнения (3.84) будет иметь вид

$$x = C_1(t)e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + C_2(t)e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.87)$$

Методом вариации найдем частное решение уравнения (3.87)

$$\begin{cases} C_1'(t)x_1 + C_2'(t)x_2 = 0 \\ C_1'(t)x_1' + C_2'(t)x_2' = -f^2g \end{cases}, \quad (3.88)$$

Подставим значение x_1 и x_2 в уравнение (3.88)

$$\begin{cases} C_1'(t)e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t)e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} = 0 \\ C_1'(t) \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t) \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} = -f^2g \end{cases}, \quad (3.89)$$

Применим Вронскиан

$$W = e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} - e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.90)$$

Произведем сокращение уравнения (3.90)

$$W = (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{-2tf\omega} - (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{-2tf\omega}, \quad (3.91)$$

Сократив уравнение (3.91) оно примет вид

$$W = 2 \cdot \omega \cdot e^{-2tf\omega} \cdot \sqrt{f^2+1}, \quad (3.92)$$

$$C_1'(t) = \frac{-gf^2 \cdot e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})}}{2 \cdot \omega \cdot e^{-2tf\omega} \cdot \sqrt{f^2+1}}, \quad (3.93)$$

Преобразовав, получим

$$C_1'(t) = \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.94)$$

Проинтегрируем выражение (3.94)

$$C_1(t) = - \int \frac{gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} dt = \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.95)$$

$$C_2'(t) = \frac{f^2 g e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}}{2 \cdot \omega \cdot e^{-2tf\omega \cdot \sqrt{f^2+1}}}, \quad (3.96)$$

Произведем сокращение

$$C_2'(t) = \frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.97)$$

Проинтегрируем

$$C_2'(t) = \frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \int e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} dt = \frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.98)$$

Тогда общее решение линейного неоднородного уравнения второго порядка примет вид:

$$x = \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + \left[\frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + C, \quad (3.99)$$

Подставим начальные условия $t_0 = 0; x = x_0$.

$$x_0 = \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \right] + \left[\frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \right] + C, \quad (3.100)$$

Из уравнения(3.99) выразим постоянную C

$$C = x_0 - \left[\frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \right] - \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \right], \quad (3.101)$$

Подставим полученное значение постоянной C в уравнение (3.98)

$$x = \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + \left[\frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + x_0 - \left[\frac{f^2 g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \right] - \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \right], \quad (3.102)$$

где t – время движения гранулы перги по штифту, с.

Угол поворота штифта при движении гранулы перги по нижнему штифту будет равен

$$\phi = t \cdot \frac{d\phi}{dt}, \quad (3.103)$$

где ϕ – угол поворота штифта за время движения гранулы пергит, рад.;

$\frac{d\phi}{dt}$ – угловая скорость штифта, рад/с;

t – время движения гранулы перги по штифту, с.

Траектория перемещения гранулы перги по дну измельчителя будет складываться из системы уравнений (3.102) и (3.103). С использованием программы MathCad 14.0. были проанализированы данные уравнения при разной частоте вращения и разном первоначальном положении гранулы перги, с которого начиналось ее движение по штифту.

На основании проведенного анализа была построена теоретическая зависимость максимального угла прохождения гранулы перги через выгрузную решетку от частоты вращения вала измельчителя (рис. 3.22).

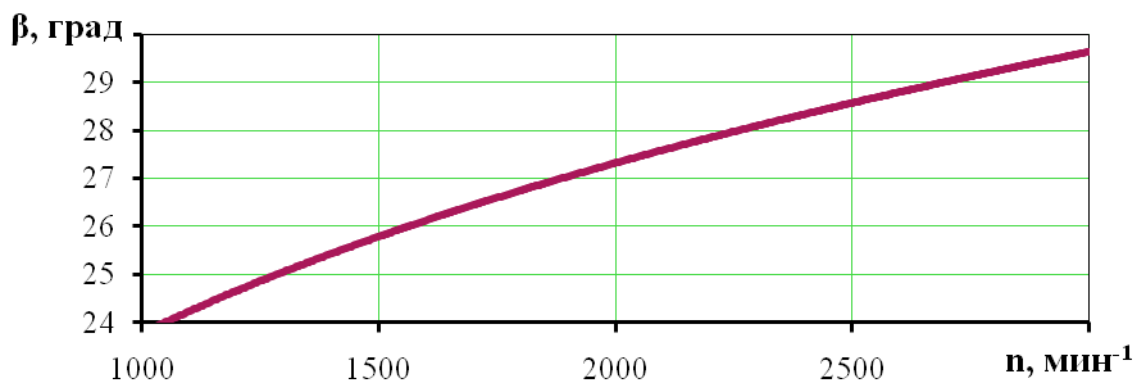


Рисунок 3.22 – Зависимость угла прохождения гранулы перги через выгрузную решетку от частоты вращения вала измельчителя

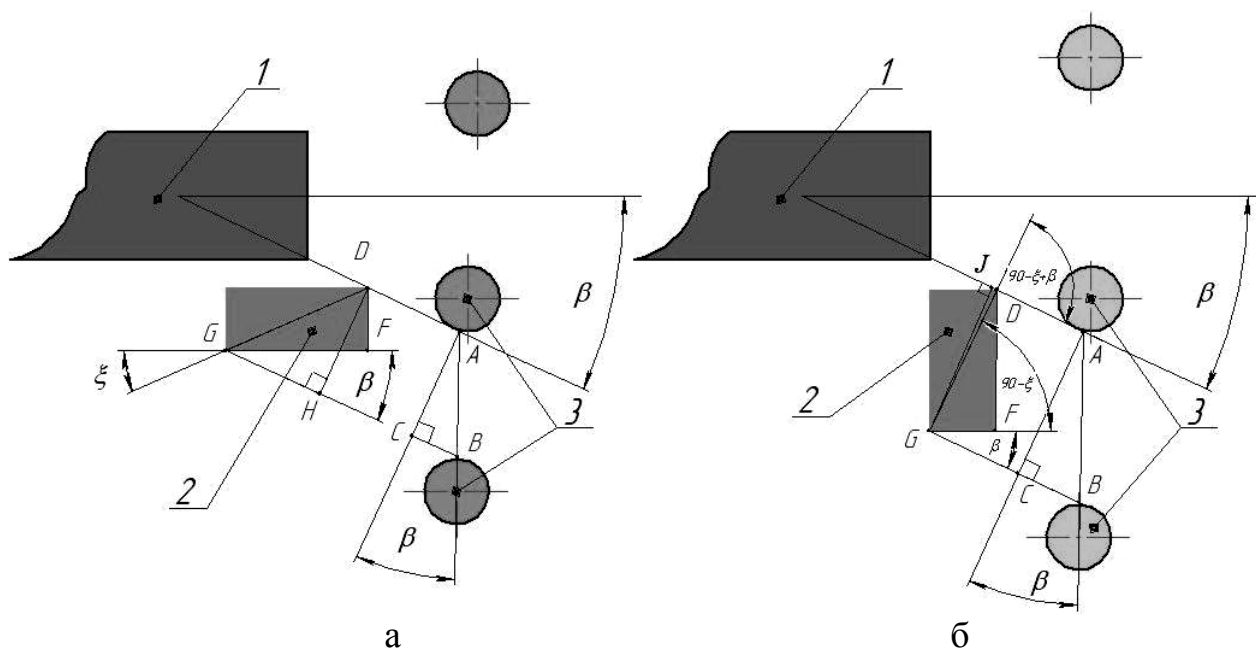
Анализ теоретической зависимости (рис. 3.22) показал, что при изменении частоты вращения вала измельчителя от 1000 до 3000 мин^{-1} угол прохождения гранулы перги меняется незначительно и находится в пределах от 24° до 30° [159].

Прохождение гранул перги между прутками выгрузной решетки измельчителя будет возможно, если размер гранул в направлении схода со штифта будет соответствовать размеру ячейки.

Рассмотрим перемещение гранулы перги в направлении прутков выгрузной решетки измельчителя в момент, когда она сошла со штифта (рис. 3.23).

Для задержки в измельчителе неразбитых кусков воскоперговой массы и своевременной эвакуации из него освобожденных гранул необходимо определить минимальный размер между прутками выгрузной решетки.

В момент схода гранулы перги со штифта она может занимать продольное (рис. 3.23 а) и поперечное (рис. 3.23 б) расположение относительно штифта.



а – продольное расположение гранулы перги; б – поперечное расположение гранулы перги

1 –штифт; 2 – гранула; 3 – прутки выгрузной решетки.

Рисунок 3.23 – Траектория перемещения гранулы перги в направлении прутков выгрузной решетки при сходе со штифта

Найдем из треугольника GDF гипотенузу GD . Она будет равна

$$GD^2 = GF^2 + DF^2, \quad (3.104)$$

где GF – длина гранулы перги, м;

DF – ширина гранулы перги, м.

Задавшись максимальной длиной $GF=11,9$ мм и шириной $DF=5,5$ мм гранулы

$$GD = \sqrt{0,0119^2 + 0,0055^2} = \sqrt{0,00014161 + 0,00003025} = 0,01311 \text{ м},$$

Далее определим угол φ из $\triangle GDF$

$$\sin \xi = \frac{DF}{GD}, \quad (3.105)$$

$$\sin \xi = \frac{0,0055}{0,01311} = 0,42$$

$$\xi = \arcsin 0,42 = 24,8^\circ.$$

Найдем отрезок DH из $\triangle GDH$

$$DH = GD \cdot \sin(\beta + \xi), \quad (3.106)$$

В зависимости от угла прохождения гранулы β отрезок DH будет иметь разную длину. При частоте вращения вала измельчителя 1000 мин^{-1} угол прохождения гранулы $\beta = 24^\circ$, тогда

$$DH = 0,01311 \cdot \sin(24^\circ + 24,8^\circ) = 0,0098 \text{ м},$$

Из треугольника ABC найдем расстояние между прутками решетки AB , которое будет являться минимальным для свободного прохождения гранулы. Отрезок AC будет равен отрезку DH . Таким образом, расстояние между прутками решетки AB будет равно

$$AB = \frac{DH}{\cos \beta}, \quad (3.107)$$

Для частоты вращения вала измельчителя 1000 мин^{-1} расстояние между прутками выгрузной решетки будет равно

$$AB = \frac{0,0098}{\cos 24^\circ} = 0,01077 \text{ м}.$$

Аналогично производится расчет и для других значений частоты вращения вала измельчителя [159].

Для определения минимального расстояния между прутками выгрузной решетки измельчителя при поперечном расположении гранулы перги рассмотрим треугольник GJD (рис 3.24 б). Из него определим отрезок GJ

$$GJ = GD \cdot \sin(90^\circ - \xi + \beta), \quad (3.108)$$

Отрезок GJ будет иметь различную длину в зависимости от угла β .

Определим его длину при частоте вращения вала измельчителя 1000 мин^{-1} и угле схода гранулы $\beta = 24^\circ$

$$GJ = 0,01311 \cdot \sin(90^\circ - 24,8^\circ + 24^\circ) = 0,01311 \text{ м},$$

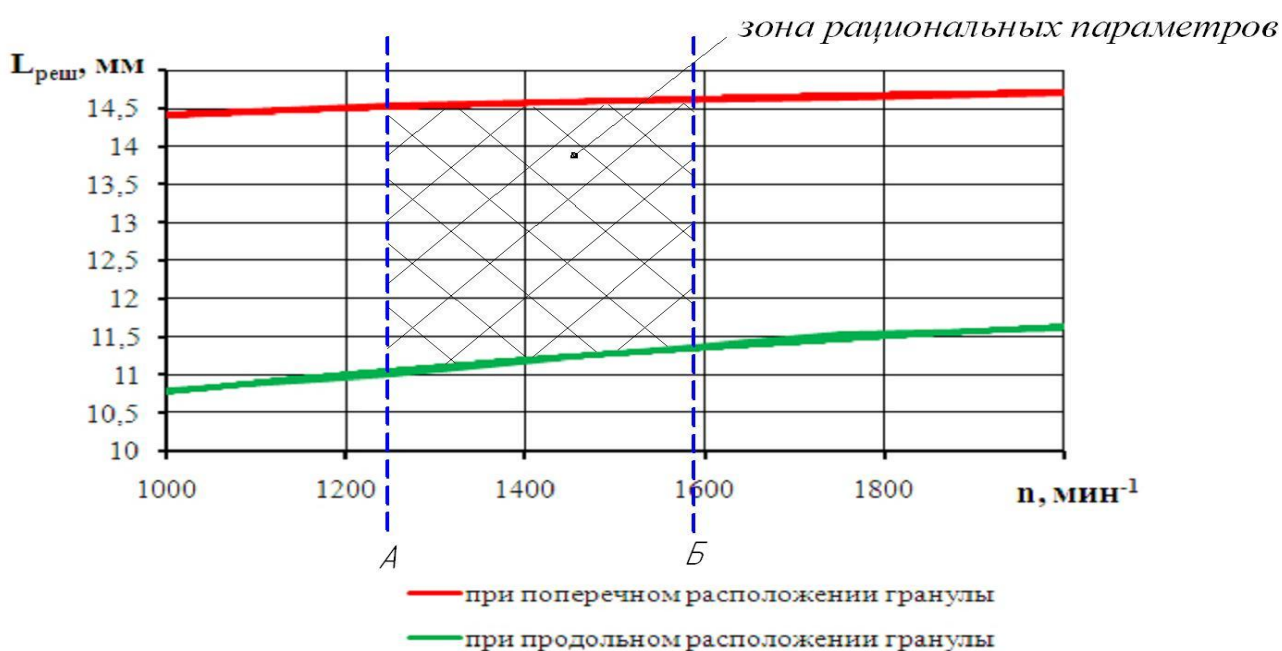
Далее рассмотрим треугольник ABC . Отрезок AC будет равен GJ , тогда расстояние между прутками решетки AB будет равно

$$AB = \frac{GJ}{\cos \beta}, \quad (3.109)$$

$$AB = \frac{0,01311}{\cos 24^\circ} = 0,01441 \text{ м},$$

Аналогично будет производиться расчет и для других значений.

В результате измерительного эксперимента по изучению траектории перемещения гранул по дну измельчителя, задавшись максимальной длиной 11,9 мм и толщиной 5,5 мм гранулы, были построены зависимости изменения расстояний между прутками выгрузной решетки от частоты вращения вала измельчителя при поперечном и продольном расположении гранулы перги на штифте (рис. 3.24).



А — удовлетворительное измельчение воскоперговой массы сотов, Б — выход менее 80% целых гранул перги.

Рисунок 3.24 — Зависимость изменения расстояния между прутками выгрузной решетки от частоты вращения вала измельчителя

Теоретические исследования показали, что размер отверстий прутковой решетки выгрузного окна измельчителя воскоперговой массы сотов должен быть в пределах от 11,0 до 14,6 мм [159].

3.4. Теоретические исследования движения гранул перги в сушке

3.4.1. Конструктивно-технологическая схема сушиллки гранул перги

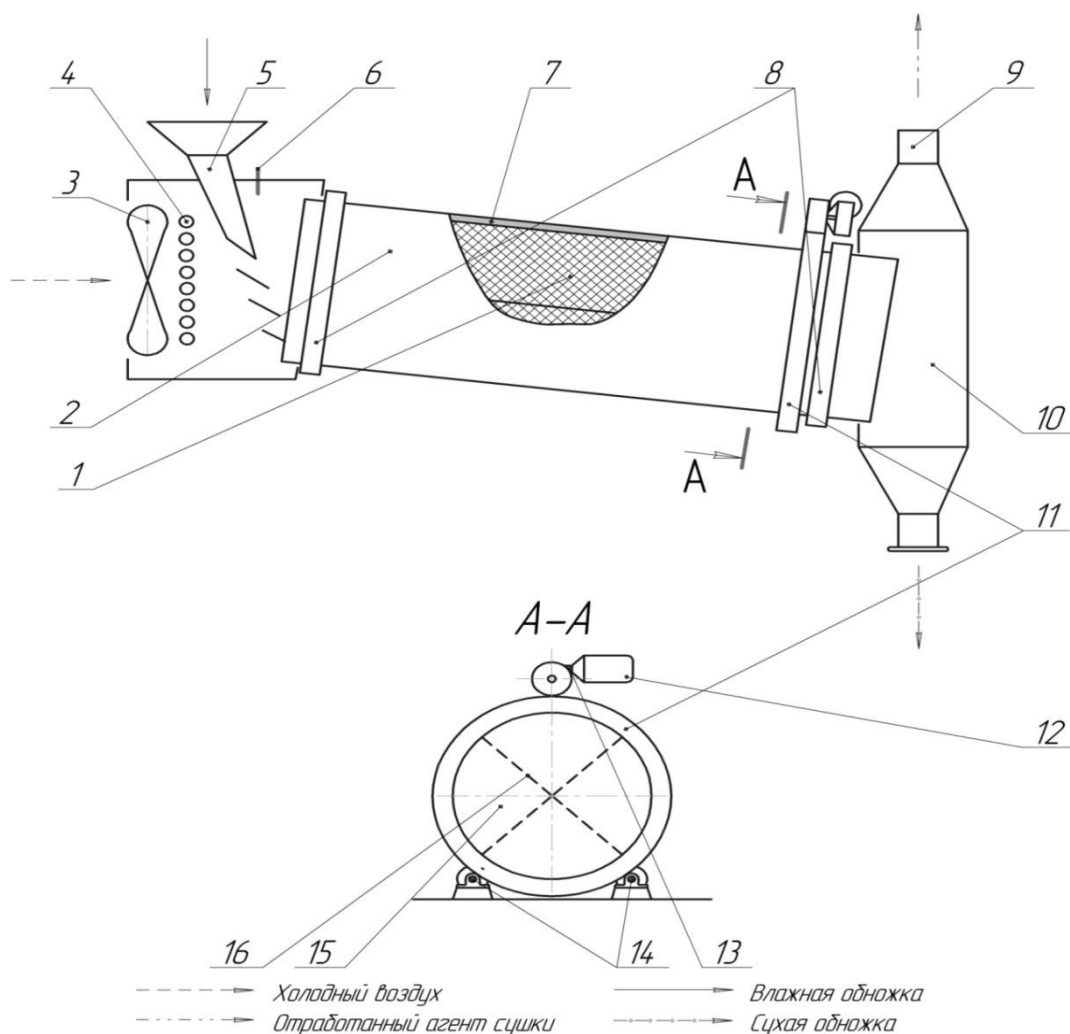
Для повышения эффективности процесса сушки гранул перги была разработана сушильная установка барабанного типа. Схема установки (патент №50644, приложение Ж) представлена на рисунке 3.25 [106, 127, 202].

Установка для сушки гранул перги состоит из вращающегося корпуса 2, на внутренней поверхности которого закреплена вставка 1, выполненная в виде четырех сетчатых радиальных перегородок 16, расположенных под углом 90° друг к другу и образующих сектора 15. На одном торцевом конце корпуса 2 установлено загрузочное устройство 5, калорифер 4 и вентилятор 3, а со стороны другого торца расположен разгрузочный бункер 10. Вращающийся корпус 2 установлен на бандажи 8, опирающиеся на четыре опорных ролика 14. Для исключения осевого перемещения корпуса 2 имеются направляющие ролики (не показаны).

Вращение корпуса 2 осуществляется через цилиндрическую зубчатую передачу 11 и червячный редуктор 13 от электродвигателя 12. Пультom управления (не показан) осуществляется регулирование температуры теплоагента с помощью датчика 6, частоты вращения корпуса 2 и вентилятора 3. Разгрузочный бункер 10 соединен с патрубком 9 вывода отработанного теплоносителя. Корпус 2 барабана установлен с наклоном в сторону разгрузочного торца [106].

Барабанная сушиллка работает следующим образом. Вентилятор 3 засасывает из окружающей среды воздух и подает его в калорифер 4. После чего нагретый воздух (теплоноситель) подается в сушильное пространство корпуса 2. Одновременно с вентилятором и калорифером в работу включается электродвигатель 12, который через червячный редуктор 13 и цилиндрическую передачу 11 начинает вращать корпус 2 вместе с вставкой 1, закрепленной на его внутренней поверхности. После прогрева

конструкции барабанной сушилки загрузочное устройство 5 равномерным потоком подает гранулы перги на внутреннюю поверхность вращающегося корпуса.



1 – вставка; 2 – корпус; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – загрузочное устройство; 6 – датчик температуры; 7 – теплоизолирующий материал; 8 – направляющие бандажи; 9 – патрубок вывода отработанного теплоносителя; 10 – разгрузочный бункер; 11 – цилиндрическая зубчатая передача; 12 – электродвигатель; 13 – червячный редуктор; 14 – опорные ролики; 15 – сектор; 16 – сетчатая перегородка.

Рисунок 3.25 – Конструктивно-технологическая схема установки для сушки гранул перги

Поступившая в сушильное пространство перга омывается теплым воздухом, в результате чего происходит ее нагрев, а имеющаяся в ней влага

начинает испаряться. В процессе вращения корпуса сушилки гранулы пересыпаются внутри секторов 15. Схема расположения материала представлена на рисунке 3.26 [106].

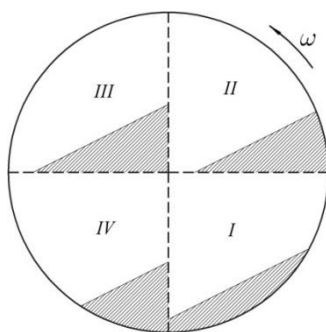


Рисунок 3.26 – Схема расположения гранул перги в барабане

Перга сначала попадает в I-ый сектор, где соприкасается с нагретой поверхностью цилиндрического корпуса 2 (рис. 3.25). При вращении корпуса гранулы перги начинают пересыпаться с его поверхности на поверхность сетчатой радиальной перегородки. Во II-ом секторе уже весь материал находится на сетчатой перегородке. При переходе материала из II-ого в III-ий сектор, он пересыпается по сетчатым перегородкам от поверхности корпуса к центру и от центра опять к поверхности корпуса. В III-ем секторе перга находится между радиальной перегородкой и поверхностью корпуса. При дальнейшем вращении корпуса перга перемещается на цилиндрическую поверхность корпуса и в VI-ом секторе полностью находится на ней. После этого процесс повторяется вновь.

Вставка с радиальными перегородками равномерно распределяет материал по всему объему барабана, а сетчатая поверхность перегородок предотвращает проскальзывание материала по их поверхности и способствует его равномерному пересыпанию.

Корпус барабанной сушилки установлен с наклоном в сторону разгрузочного бункера, поэтому перемещение гранул перги происходит не только по секторам, но и вдоль оси вращения барабана. Материал в процессе сушки равномерно пересыпается, одновременно происходит тщательное его перемешивание и прогрев по всей толщине слоя. Пергу сушат в прямотоке с

теплоносителем. Радиальные перегородки, выполненные из металлической сетки, увеличивают площадь поверхности испарения влаги с материала. Влага, испарившаяся из материала, подхватывается и поглощается нагретым воздухом, после чего выносится из сушильного пространства через разгрузочный бункер и патрубок 9 в атмосферу.

Гранулы перги, пройдя через весь барабан, высыхают до требуемой влажности и ссыпаются в разгрузочный бункер 10, где накапливаются. С помощью датчика 6 осуществляется контроль за температурой теплоносителя поступающего в сушильное пространство. Применение сетчатых перегородок позволяет увеличить прямой контакт теплоносителя с высушиваемым материалом и создает щадящие условия нагревания перемещаемого материала, что увеличивает объём испаряемой влаги и интенсифицирует процесс сушки перги.

Параметрическая модель установки представлена на рисунке 3.27 [74, 76, 77, 86, 87, 106].

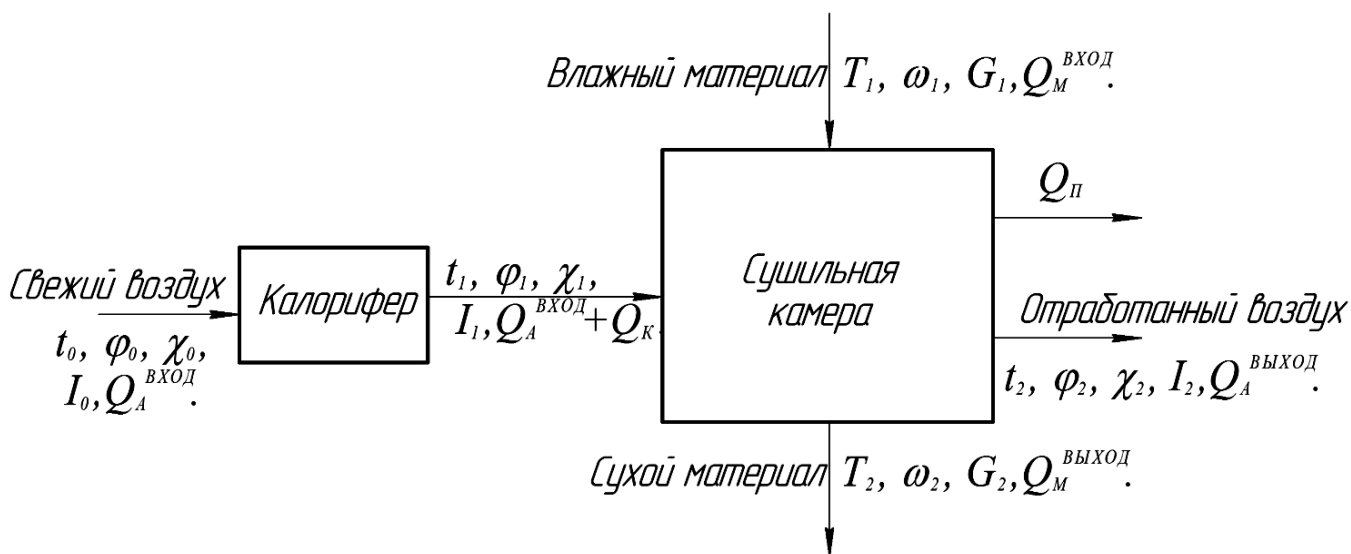


Рисунок 3.27 – Параметрическая модель установки для сушки гранул перги

Начальными параметрами атмосферного воздуха поступающего в установку являются температура t_0 , влажность ϕ_0 , влагосодержание χ_0 , удельная энтальпия I_0 и количество теплоты $Q_A^{ВХОД}$. В калорифере к воздуху подводится теплота Q_K , в результате чего воздух нагревается и выходит из

него с параметрами $t_1, \varphi_1, \chi_1, I_1, Q_A^{BXOD} + Q_K$. Далее нагретый воздух поступает в сушильное пространство барабанной сушилки, где в процессе сушки параметры воздуха изменяются и достигают значений $t_2, \varphi_2, \chi_2, I_2, Q_A^{BЫXOD}$. С этими параметрами воздух уходит из сушильной камеры.

Материал, идущий на сушку, характеризуется следующими параметрами: начальной температурой T_1 , начальной влажностью в процентах к общей массе ω_1 , массой влажного материала, поступающего в сушилку в единицу времени, G_1 и количеством теплоты Q_M^{BXOD} ; на выходе из сушилки параметры материала становятся T_2, ω_2, G_2 и $Q_M^{BЫXOD}$.

В результате теплопередачи через стенки сушильной установки теряется некоторое количество теплоты Q_{Π} .

Представленная конструкция сушильной установки позволяет одновременно сушить большое количество гранул перги в непрерывном процессе сушки и гарантирует получение перги с качеством, соответствующим требованиям ГОСТ 31776-2012.

3.4.2. Теоретические исследования движения гранул перги в барабане сушилки

Для рассмотрения движения материала в сушильной установке примем гранулу перги за материальную точку [157].

Рассмотрим движение точки M по наклонной цилиндрической поверхности (рис. 3.28) при вращении этой поверхности вокруг своей оси z с постоянной угловой скоростью ω_0 . Свяжем с цилиндрической поверхностью подвижную систему координат $oxyz$. В начальный момент времени ось $oy=oy_0$ горизонтальна; ось $ox=ox_0$ лежит в вертикальной плоскости; ось oz остается неподвижной во все время движения. Кроме этой системы введем неподвижную систему координат $ox'y'z'$: ось ox' вертикальна, оси oy' и oz' горизонтальны [80].

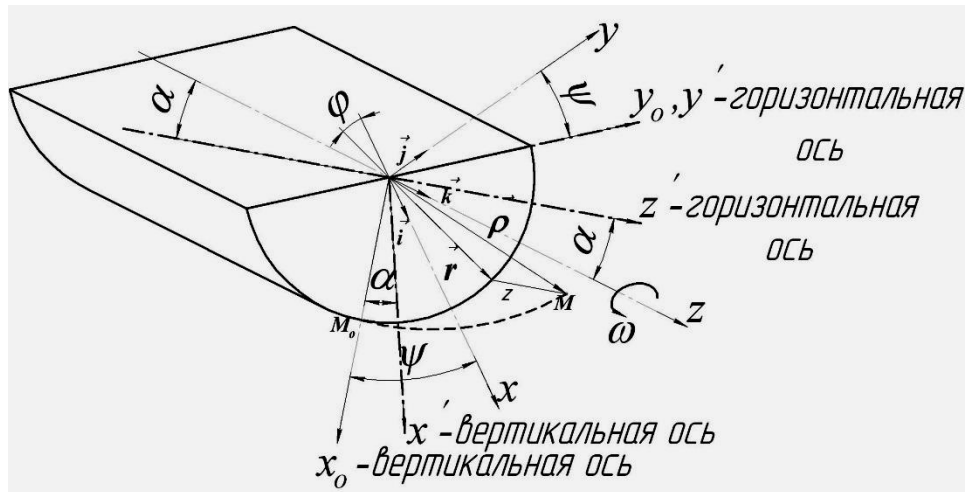


Рисунок 3.28 – Схема цилиндрической и декартовой систем координат для вывода кинематических соотношений

Угол наклона оси oz к горизонту (оси oz') равен α .

Задачей является определение закона движения частицы относительно подвижной системы координат $ox'uz'$, а затем относительно осей $ox_0y_0z_0$.

Найдем направляющие косинусы подвижной системы координат $ox'uz'$ относительно неподвижной $ox'y'z'$. Пусть $\psi = \omega t$ – угол, на который повернулась неподвижная система координат $ox'uz'$ вокруг оси z относительно своего начального положения. Тогда проекции начальных векторов $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$, связанных с осями x, y, z соответственно, на оси x', y', z' , будут равны

$$\begin{aligned}\vec{i} &= (\cos\psi \cos\alpha; \sin\psi; -\cos\psi \sin\alpha) \\ \vec{j} &= (-\sin\psi \cos\alpha; \cos\psi; \sin\psi \sin\alpha), \\ \vec{k} &= (\sin\alpha; 0; \cos\alpha)\end{aligned}\quad (3.110)$$

где ψ - угол, на который повернулась ось $0x$;

α - угол наклона барабана.

Теперь рассмотрим движение материальной частицы M . Пусть M_0 её начальное положение. При этом $x_0=r, y_0=0, z_0=0$.

Примем её начальную относительную скорость равной нулю, т. е.

$$\dot{x}_0 = \dot{y}_0 = \dot{z}_0 = 0.$$

В момент времени t частица находится в положении M с координатами (x, y, z) относительно подвижной системы координат. Частица M находится в

сложном движении: относительном – по цилиндрической поверхности и в переносном – во вращательном движении вместе с цилиндрической поверхностью. Обозначим

$$\begin{aligned}\vec{\mathcal{G}}_r &= (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \\ \vec{a}_r &= (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}) \\ \vec{a}_e &= \vec{\omega} \cdot (\vec{\omega} \cdot \vec{\rho}) - \vec{\rho} \cdot \omega^2\end{aligned}, \quad (3.111)$$

где $\vec{\mathcal{G}}_r$, \vec{a}_r – относительная скорость и ускорение частицы;

\vec{a}_e – переносное ускорение частицы;

$\vec{\rho} = (x; y; z)$ – радиус-вектор относительного движения частицы;

$\vec{\omega} = (0; 0; \omega)$ – угловая скорость переносного движения частицы.

Выразим \vec{a}_e через координаты частицы в подвижной системе координат

$$\vec{a}_e = \vec{\omega} \cdot \vec{k} \cdot \omega \cdot z - (x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}) \cdot \omega^2 = -\omega^2(x; y; 0). \quad (3.112)$$

Кориолисово ускорение

$$\vec{a}_c = 2 \cdot \vec{\omega} \times \vec{\mathcal{G}}_r = 2 \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & \omega \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{pmatrix} = 2 \cdot \omega(-\dot{y}; \dot{x}; 0). \quad (3.113)$$

Силами действующими на частицу будут: $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$ – сила тяжести частицы; \vec{N} – сила нормального давления; m – масса материальной частицы; \vec{F} – сила трения частицы о поверхность цилиндра. В соответствии с этим, уравнение относительного движения в векторной форме запишется в виде

$$m \cdot \vec{a}_r = \vec{G} + \vec{N} + \vec{F} - m \cdot \vec{a}_e - m \cdot \vec{a}_c. \quad (3.114)$$

Найдем проекции сил на оси подвижной системы координат. Сила тяжести во все время движения параллельна оси ox' , поэтому, с учетом (3.110)

$$\begin{aligned}
G_x &= \vec{G} \cdot \vec{i} = m \cdot g \cdot \cos \psi \cos \alpha \\
G_y &= \vec{G} \cdot \vec{j} = -m \cdot g \cdot \sin \psi \cos \alpha, \\
G_z &= \vec{G} \cdot \vec{k} = m \cdot g \cdot \sin \alpha
\end{aligned}
\tag{3.115}$$

Сила нормального давления \vec{N} перпендикулярна поверхности цилиндра и направлена к оси вращения. Поэтому

$$\vec{N} = \frac{-N}{|\text{grad}\phi|} \cdot \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}; \frac{\partial \phi}{\partial y}; \frac{\partial \phi}{\partial z} \right), \tag{3.116}$$

где $\phi = x^2 + y^2 - r^2 = 0$ – уравнение цилиндрической поверхности в подвижной системе координат, $\frac{\partial \phi}{\partial x} = 2x$, $\frac{\partial \phi}{\partial y} = 2y$, $\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$,

$$|\text{grad}\phi| = \sqrt{2x^2 + 2y^2} = 2r.$$

В итоге имеем

$$\vec{N}_x = \frac{N}{r}x; \vec{N}_y = -\frac{N}{r}y; \vec{N}_z = 0. \tag{3.117}$$

Сила трения направлена в противоположную сторону относительного движения, а ее модуль, согласно закона сухого трения Кулона равен

$$F = f \cdot N, \tag{3.118}$$

где f - коэффициент трения скольжения частицы по поверхности цилиндра.

Её проекции на оси подвижной системы координат

$$F_x = -f \cdot N \frac{\dot{x}}{\mathcal{G}_r}; F_y = -f \cdot N \frac{\dot{y}}{\mathcal{G}_r}; F_z = -f \cdot N \frac{\dot{z}}{\mathcal{G}_r}, \tag{3.119}$$

где $\mathcal{G}_r = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$ - модуль вектора относительной скорости.

Учитывая равенства (3.111) – (3.113), (3.115) – (3.119), векторное уравнение (3.114) можно представить в виде

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \cos \psi \cos \alpha - \frac{N}{r} x - fN \frac{\dot{x}}{\mathcal{G}_r} + m\omega^2 x + 2m\omega \dot{y} \\ m\ddot{y} = -mg \sin \psi \cos \alpha - \frac{N}{r} y - fN \frac{\dot{y}}{\mathcal{G}_r} + m\omega^2 y - 2m\omega \dot{x} . \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - fN \frac{\dot{z}}{\mathcal{G}_r} \end{cases} \quad (3.120)$$

Представляется удобным исследование движения частицы относительно подвижной цилиндрической системы координат (рис. 3.29).

Декартовы и цилиндрические координаты связаны равенствами

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi , \\ z = z \end{cases} \quad (3.121)$$

где r - радиус цилиндрической поверхности (величина постоянная);

φ - угол между r и осью x , является функцией времени.

Дифференцируя (3.121) по времени, получим выражения проекций скорости и ускорения в цилиндрических координатах (3.122) и (3.123) соответственно[71]

$$\begin{cases} \dot{x} = -r \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \\ \dot{y} = r \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \varphi . \\ \dot{z} = \dot{z} \end{cases} \quad (3.122)$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = -r \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \cos \varphi - r \cdot \ddot{\varphi} \cdot \sin \varphi \\ \ddot{y} = -r \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \varphi + r \cdot \ddot{\varphi} \cdot \cos \varphi . \\ \ddot{z} = \ddot{z} \end{cases} \quad (3.123)$$

Модуль скорости

$$\mathcal{G}_r = \sqrt{r^2 \cdot \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2} . \quad (3.124)$$

Подставим выражения (3.121) – (3.124) в уравнение (3.120)

$$\left\{ \begin{array}{l} -mr \ddot{\varphi}^2 \cos \varphi + \ddot{\varphi} \sin \varphi = mg \cos \psi \cos \alpha - N \cos \varphi - fN \dot{\varphi} \frac{r \sin \varphi}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} + \\ \quad + m\omega^2 r \cos \varphi + 2m\omega r \dot{\varphi} \cos \varphi \\ -mr \ddot{\varphi}^2 \sin \varphi - \ddot{\varphi} \cos \varphi = -mg \sin \psi \cos \alpha - N \sin \varphi - fN \dot{\varphi} \frac{r \cos \varphi}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} + \\ \quad + m\omega^2 r \sin \varphi + 2m\omega r \dot{\varphi} \sin \varphi \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \end{array} \right. \quad (3.125)$$

Умножив первое выражение уравнения (3.125) на $-\sin \varphi$, а второе на $\cos \varphi$ и сложив, получим

$$\left\{ \begin{array}{l} mr\ddot{\varphi} = -mg \cos \alpha \sin \psi + \varphi - fN \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \\ -mr\dot{\varphi}^2 = mg \cos \alpha \cos \psi + \varphi - N + m\omega^2 r + 2\omega r\dot{\varphi} . \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \end{array} \right. \quad (3.126)$$

Выразим из второго выражения уравнения (3.126) реакцию нормального давления N и подставим в первое, сократив при этом на m

$$r\ddot{\varphi} = -g \cos \alpha \sin \psi + \varphi - f \left[r \dot{\varphi} + \omega^2 r + g \cos \alpha \cos \psi + \varphi \right] \cdot \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \quad (3.127)$$

Выразим из второго выражения уравнения (3.126) реакцию нормального давления N и подставим в третье, сократив при этом на m

$$\ddot{z} = g \sin \alpha - f \left[r \dot{\varphi} + \omega^2 r + g \cos \alpha \cos \psi + \varphi \right] \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \quad (3.128)$$

Таким образом, получим систему двух нелинейных дифференциальных уравнений относительно двух неизвестных функций $\varphi(t)$ и $z(t)$. Начальными условиями для них будут

$$\text{при } t=0 \quad \begin{cases} \varphi_0 = 0, \dot{\varphi}_0 = 0 \\ z_0 = 0, \dot{z}_0 = 0 \end{cases}, \quad (3.129)$$

т. е. относительное движение начинается из состояния относительного покоя.

Точное аналитическое решение системы уравнений (3.127) и (3.128) не представляется возможным. Технические условия задачи, а именно, небольшие значения угла $\alpha = 1^\circ \dots 5^\circ$, угловой скорости $\omega = 0,15 \dots 0,52 \text{ с}^{-1}$, позволит принять допущения, упрощающие полученную систему уравнений.

$$\text{Так, отношение } \frac{r\omega^2}{g} \ll 1$$

Ввиду малости угла α и $|r\dot{\varphi}| > \dot{z}$, величиной $\left(\frac{\dot{z}}{r\dot{\varphi}}\right)^2 \ll 1$ можно пренебречь.

Упростим уравнение (3.127)

$$r\ddot{\varphi} = -g \cdot \cos \alpha \sin \psi + \varphi + f \cdot \cos \psi + \varphi \operatorname{sign} \dot{\varphi} \quad (3.130)$$

Так как $\dot{\varphi} < 0$, а $\psi = \psi_0 + \omega t$, то окончательно имеем

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} &= -\frac{g}{r} \cos \alpha \left(\sin \psi + \varphi - \frac{\sin f_0}{\cos f_0} \cos \psi + \varphi \right) = \\ &= -\frac{g \cos \alpha}{r \cos f_0} \sin \psi + \varphi + f_0 = -\frac{g \cos \alpha}{r \cos f_0} \sin \psi_0 + \varphi - f_0 + \omega t \end{aligned} \quad (3.131)$$

где f_0 – угол трения частицы о цилиндрическую поверхность.

Аналогично упрощается уравнение (3.128)[157]

$$\ddot{z} = g \left(\sin \alpha - f_0 \cos \alpha \cos \psi_0 + \varphi + \omega t - \frac{\dot{z}}{r|\dot{\varphi}|} \right). \quad (3.132)$$

Уравнение относительного покоя частицы получим из уравнений относительного движения (3.120), приравняв в них скорости и ускорения к нулю, $x = r$, $y = z = 0$, $\dot{x} = \dot{y} = \dot{z} = 0$

$$\begin{cases} 0 = mg \cos \psi \cos \alpha - N + F_{mp_x} + \omega^2 r m \\ 0 = -mg \sin \psi \cos \alpha + F_{mp_y} \\ 0 = mg \sin \alpha + F_{mp_z} \end{cases} \quad (3.133)$$

Проекция силы трения на ось x $F_{mp_x} = 0$. Из второго и третьего выражения уравнения (3.133) находим силу трения в зависимости от угла ψ

$$F_{mp} = \sqrt{F_{mp_y}^2 + F_{mp_z}^2} = mg \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \psi \cdot \cos^2 \alpha} . \quad (3.134)$$

Из первого выражения уравнения (3.133) находим силу нормального давления

$$N = mg \cos \psi \cos \alpha + m \omega^2 r . \quad (3.135)$$

В состоянии предельного равновесия, согласно закону сухого трения Кулона

$$F_{mp} = fN \quad (3.136)$$

Подставив в (3.136) выражения (3.134), (3.135) найдем угол ψ_0

$$g^2 \sin^2 \alpha + \sin^2 \psi \cos^2 \alpha = f^2 g^2 \cos^2 \psi \cos^2 \alpha + 2g\omega^2 r \cos \psi \cos \alpha + \omega^4 r^2 \quad (3.137)$$

Обозначим $\cos \psi = P$, $\cos \alpha = D$. Тогда

$$\begin{aligned} g^2 (1 - P^2 D^2) &= f^2 g^2 P^2 D^2 + 2g\omega^2 r P D + \omega^4 r^2 \\ (f^2 D^2 g^2 + g^2 D^2) \cdot P^2 &+ 2(f^2 g \omega^2 r D) \cdot P - (g^2 - f^2 \omega^4 r^2) \end{aligned} \quad (3.138)$$

Произведя замену $a = f^2 D^2 g^2 + g^2 D^2$, $b = f^2 g \omega^2 r D$,

$c = g^2 - f^2 \omega^4 r^2$ получим квадратное уравнение

$$a \cdot P^2 + 2 \cdot b \cdot P - c = 0, \quad (3.139)$$

Корни квадратного уравнения равны

$$P_{1,2} = -\frac{b}{a} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)^2 + \frac{c}{a}} . \quad (3.140)$$

Так как угол ψ_0 не может быть больше 90° ($\cos \psi_0 > 0$), то надо взять корень

$$P = -\frac{b}{a} + \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)^2 + \frac{c}{a}} . \quad (3.141)$$

Угол, при котором начинается скольжение частицы по цилиндрической поверхности, равен $\psi_0 = \arccos P$. (3.142)

Движение материальной точки по радиальной перегородке от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана

В некоторый момент времени следующая за частицей перегородка подхватит её и начнет поднимать до некоторого уровня. При этом частица будет неподвижной относительно перегородки [157].

Найдем угол ψ_1 поворота цилиндра, начиная с которого частица будет двигаться по наклонной плоскости (лопасти). Силы, которые будут действовать на частицу, показаны на рисунке 3.29. Составим три уравнения равновесия частицы, аналогичных уравнениям (3.133)

$$\begin{cases} 0 = F_{mp_x} - mg \cos \alpha \cos \psi_1 + \omega^2 r m \\ 0 = N - mg \cos \alpha \cos \psi_1 \\ 0 = mg \sin \alpha - F_{mp_z} \end{cases} \quad (3.143)$$

Из них выражаем

$$\begin{cases} F_{mp_x} = mg \cos \alpha \cos \psi_1 - \omega^2 r m \\ N = mg \cos \alpha \cos \psi_1 \\ F_{mp_z} = mg \sin \alpha \end{cases} \quad (3.144)$$

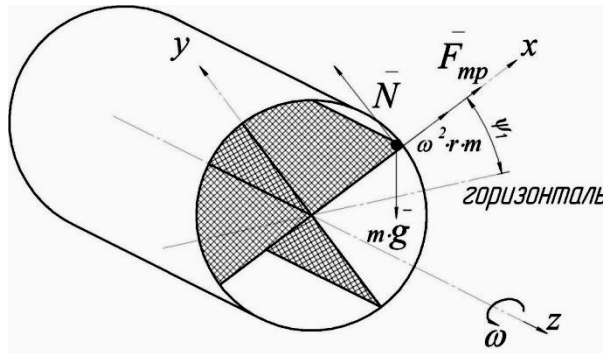


Рисунок 3.29 – Силы, приложенные к материальной точке, находящейся на наклонной плоскости

Сила трения равна

$$\begin{aligned} F_{mp} &= \sqrt{F_{mp_x}^2 + F_{mp_z}^2} = \\ &= m \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \psi_1 - 2g \cos \alpha \sin \psi_1 + \omega^4 r^2 + g^2 \sin^2 \alpha} \end{aligned} \quad (3.145)$$

По закону сухого трения Кулона и с учетом (3.144) и (3.15)

$$\begin{aligned}
f_c g \cos \alpha \cos \psi_1^2 &= g^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \psi_1 - 2g \cos \alpha \cos \psi_1 \omega^2 r + \\
&+ \omega^4 r^2 + g^2 \sin^2 \alpha \\
f_c g \cos \alpha^2 (1 - \sin^2 \psi_1) &= g^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \psi_1 - 2g \cos \alpha \cos \psi_1 \omega^2 r + \\
&+ \omega^4 r^2 + g^2 \sin^2 \alpha
\end{aligned}
, \quad (3.146)$$

где f_c – коэффициент трения материала по сетчатой поверхности лопасти.

Обозначим $\sin \psi_1 = P_1 > 0$, $\cos \alpha = D$

$$\begin{aligned}
g^2 D^2 + f_c^2 g^2 D^2 P_1^2 - 2g D \omega^2 r P_1 + g^2 (1 - D^2) - f_c^2 g^2 D^2 + \omega^4 r^2 &= 0 \\
D^2 (1 + f_c^2 P_1^2) - 2D \frac{\omega^2 r}{g} P_1 + \left(1 - D^2 (1 + f_c^2) + \frac{\omega^4 r^2}{g^2} \right) &= 0
\end{aligned}
\quad (3.147)$$

Пренебрегая величиной $\frac{\omega^4 r^2}{g^2} \ll 1$

$$\text{Произведя замену } a = D^2 (1 + f_c^2), \quad b = -D \frac{\omega^2 r}{g},$$

$c = 1 - D^2 (1 + f_c^2)$ получим квадратное уравнение

$$a \cdot P_1^2 + 2 \cdot b \cdot P_1 + c = 0, \quad (3.148)$$

Т.к. $P_1 > 0$, то надо взять корень

$$P_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.149)$$

Угол, при котором начинается скольжение (отсчитывается от горизонтали), равен

$$\psi_1 = \arcsin P_1 \quad (3.150)$$

Векторное уравнение относительного движения частицы имеет вид (3.114). Проекция ускорений на оси $Oxuz$ можно получить из формулы (3.112) и (3.113), учитывая, что частица движется в плоскости лопасти.

$$\vec{a}_e = -\omega^2 (x; 0; 0), \quad \vec{a}_c = 2 \cdot \omega (0; \dot{x}; 0) \quad (3.151)$$

Если угол ψ_1 отсчитывать от горизонтали, то, как следует из (3.115), проекции сил тяжести будут равны

$$\begin{aligned}
G_x &= -m \cdot g \cdot \sin \psi \cos \alpha \\
G_y &= -m \cdot g \cdot \cos \psi \cos \alpha \\
G_z &= m \cdot g \cdot \sin \alpha
\end{aligned}
\tag{3.152}$$

Реакция силы нормального давления имеет проекции

$$\vec{N} = 0; N; 0 \tag{3.153}$$

Проекция силы трения на оси подвижной системы координат

$$F_x = -f_c \cdot N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}; F_y = 0; F_z = -f_c \cdot N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}. \tag{3.154}$$

Учитывая (3.151...3.154), векторное уравнение (3.114) эквивалентно следующим трем скалярным уравнениям

$$\begin{cases}
m\ddot{x} = -mg \sin \psi \cos \alpha - f_c N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 x \\
0 = -mg \cos \psi \cos \alpha + N - 2m\omega \dot{x} \\
m\ddot{z} = mg \sin \alpha - f_c N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}
\end{cases}
\tag{3.155}$$

Из второго выражения уравнения (3.155) выразим N и подставим его в первое и третье выражение того же уравнения

$$\begin{cases}
\ddot{x} = -g \sin \psi \cos \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x} \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} + \omega^2 x \\
N = mg \cos \psi \cos \alpha + 2m\omega \dot{x} \\
\ddot{z} = g \sin \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x} \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}
\end{cases}
\tag{3.156}$$

Таким образом, получили дифференциальное уравнение относительного движения частицы в плоскости перегородки.

Если учесть, что, в силу малости угла α , $|\dot{x}| > |\dot{z}|$, то величиной $\frac{\dot{z}^2}{\dot{x}^2} \ll 1$ можно пренебречь и уравнение (3.156) примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x} = -g \sin \psi \cos \alpha + f_c g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x} + \omega^2 x \\ N = mg \cos \psi \cos \alpha + 2m\omega \dot{x} \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x} \frac{\dot{z}}{|\dot{x}|} \end{cases} \quad (3.157)$$

В первое уравнение входит только координата x и его можно решить аналитически, перепишем его в виде

$$\ddot{x} - 2\omega f_c \dot{x} - \omega^2 x = -g \cos \alpha \sin \psi - f_c \cos \psi, \quad (3.158)$$

где $\psi = \psi_1 + \omega t$.

Начальные условия для x будут: $t=0$, $x(0) = r$, $\dot{x}(0) = 0$.

Частное решение ищем в виде

$$\begin{aligned} x_q &= a \cdot \sin \psi + b \cdot \cos \psi \\ \dot{x}_q &= a \cdot \omega \cdot \cos \psi - b \cdot \omega \cdot \sin \psi \\ \ddot{x}_q &= -a \cdot \omega^2 \cdot \sin \psi - b \cdot \omega^2 \cdot \cos \psi \end{aligned} \quad (3.159)$$

Подставим (3.159) в (3.158) и приравняем коэффициенты при $\sin \psi$ и $\cos \psi$

$$\begin{aligned} -a \cdot \omega^2 \cdot \sin \psi - b \cdot \omega^2 \cos \psi - 2\omega f_c a \cdot \omega \cdot \cos \psi - b \cdot \omega \cdot \sin \psi - \omega^2 a \cdot \sin \psi + b \cdot \cos \psi = \\ = -g \cdot \cos \alpha \sin \psi - f_c \cdot \cos \psi \end{aligned}$$

$$\begin{cases} -a\omega^2 + 2\omega^2 f_c b - \omega^2 a = -g \cos \alpha \\ -b\omega^2 - 2\omega^2 f_c a - \omega^2 b = g f_c \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} a - f_c b = \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \\ a f_c + b = -\frac{g f_c \cos \alpha}{2\omega^2} \end{cases} \quad (3.160)$$

Из уравнения (3.160) находим

$$b = -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \cdot \frac{2f_c}{1+f_c^2}, \quad a = \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \quad (3.161)$$

Тогда частное решение примет вид

$$x_q = \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[1 - f_c^2 \sin \psi - 2f_c \cos \psi \right] \quad (3.162)$$

Характеристическое уравнение однородного дифференциального уравнения имеет действительные корни

$$\lambda_{1,2} = \omega f_c \pm \sqrt{\omega^2 f_c^2 + \omega^2} = \omega f_c \pm \sqrt{1 + f_c^2} \quad (3.163)$$

Таким образом общее решение имеет вид

$$\begin{aligned} x &= C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[1 - f_c^2 \sin \psi - 2f_c \cos \psi \right] \\ \dot{x} &= \lambda_1 C_1 e^{\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[\omega 1 - f_c^2 \cos \psi + 2f_c \omega \sin \psi \right] \end{aligned} \quad (3.164)$$

Удовлетворяя начальным условиям при $t = 0$ имеем два уравнения

$$\begin{cases} r = C_1 + C_2 + \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[1 - f_c^2 \sin \psi_1 - 2f_c \cos \psi_1 \right] \\ 0 = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[\omega 1 - f_c^2 \cos \psi_1 + 2f_c \omega \sin \psi_1 \right] \end{cases} \quad (3.165)$$

Решая которые находим

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[2f_c \omega - \lambda_2 1 - f_c^2 \sin \psi_1 + \right. \\ &\quad \left. + 1 - f_c^2 \omega + 2\lambda_2 f_c \cos \psi_1 \right] \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2 r}{\lambda_1 - \lambda_2} \\ C_2 &= \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[2f_c \omega - \lambda_1 1 - f_c^2 \sin \psi_1 + \right. \\ &\quad \left. + 1 - f_c^2 \omega + 2\lambda_1 f_c \cos \psi_1 \right] \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} + \frac{\lambda_1 r}{\lambda_1 - \lambda_2} \end{aligned} \quad (3.166)$$

Время движения t_κ по лопасти найдем из условия, что $x = 0$

$$0 = C_1 e^{\lambda_1 t_\kappa} + C_2 e^{\lambda_2 t_\kappa} + \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 1 + f_c^2} \left[\sin \psi_\kappa 1 - f_c^2 - 2f_c \cos \psi_\kappa \right], \quad (3.167)$$

где $\psi_\kappa = \psi_1 + \omega t_\kappa$.

Это уравнение можно решить приближенно одним из методов последовательных приближений (например, способом деления отрезка пополам). Уравнение (3.157) по оси z можно решить численно в системе Mathcad [157].

Движение материальной точки по радиальной перегородке от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности

Найдем угол ψ_2 поворота цилиндра, начиная с которого частица будет двигаться по наклонной плоскости (перегородке)[157]. Силы, которые будут действовать на частицу, показаны на рисунке 3.30.

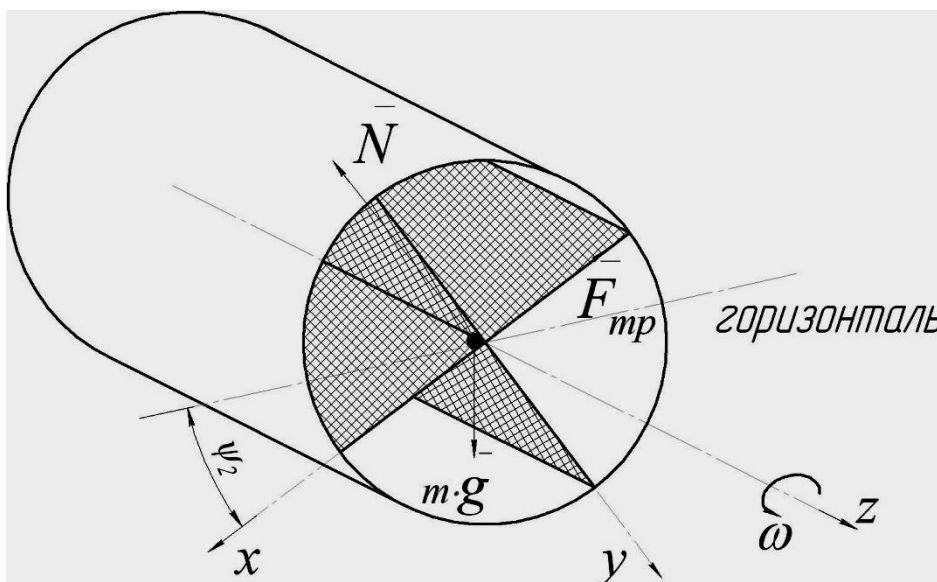


Рисунок 3.30 – Силы, приложенные к материальной точке, находящейся на наклонной плоскости

Составим три уравнения равновесия частицы, аналогичных уравнениям (3.133)

$$\begin{cases} 0 = mg \sin \psi_2 \cos \alpha - F_{mp_x} \\ 0 = mg \cos \psi_2 \cos \alpha - N \\ 0 = mg \sin \alpha - F_{mp_z} \end{cases} \quad (3.168)$$

Выражаем из уравнения (3.168) проекции силы трения и подставляем в уравнение (3.145)

$$F_{mp} = mg \sqrt{\sin^2 \psi_2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (3.169)$$

По закону сухого трения Кулона и с учетом (3.168) и (3.169)

$$\begin{aligned} \sin^2 \psi_2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha &= f_c^2 \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha \\ 1 - \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha &= f_c^2 \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha \\ 1 - \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha - f_c^2 \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha &= 0 \\ \cos^2 \psi_2 \cos^2 \alpha (1 + f_c^2) &= 1 \\ \cos \psi_2 &= \frac{1}{\cos \alpha \sqrt{1 + f_c^2}} \end{aligned}$$

Угол, при котором начинается скольжение (отсчитывается от горизонтали), равен

$$\psi_2 = \arccos \left(\frac{1}{\cos \alpha \sqrt{1 + f_c^2}} \right) \quad (3.170)$$

Проекция ускорений на оси 0xyz имеют тот же вид что и (3.151).

Если угол ψ_2 отсчитывать от горизонтали, то, как следует из (3.115), проекции сил тяжести будут равны

$$\begin{aligned} G_x &= m \cdot g \cdot \sin \psi \cos \alpha \\ G_y &= m \cdot g \cdot \cos \psi \cos \alpha \\ G_z &= m \cdot g \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (3.171)$$

Реакция силы нормального давления имеет проекции

$$\vec{N} = 0; -N; 0 \quad (3.172)$$

Проекция силы трения на оси подвижной системы координат имеют вид, с учетом (3.151), (3.171), (3.172) векторное уравнение (3.114) эквивалентно следующим трем скалярным уравнениям в координатной форме

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \psi \cos \alpha - f_c N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 x \\ 0 = mg \cos \psi \cos \alpha - N - 2m\omega \dot{x} \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - f_c N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} \end{cases} \quad (3.173)$$

Из второго выражения уравнения (3.173) выразим N и подставим его в первое и третье выражение того же уравнения

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \sin \psi \cos \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha - 2\omega \dot{x} \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} + \omega^2 x \\ N = mg \cos \psi \cos \alpha - 2m\omega \dot{x} \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha - 2\omega \dot{x} \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} \end{cases} \quad (3.174)$$

Начальными условиями для этих уравнений будут

$$\text{при } t=0 \quad \begin{cases} x_0 = 0, \dot{x}_0 = 0 \\ z_0 = 0, \dot{z}_0 = 0 \end{cases}, \quad (3.175)$$

Если учесть, что, в силу малости угла α , $|\dot{x}| > |\dot{z}|$, то величиной $\frac{\dot{z}^2}{\dot{x}^2} \ll 1$

можно пренебречь и уравнение (3.174) примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\omega f_c \dot{x} - \omega^2 x = g \cos \alpha \sin \psi - f_c \cos \psi \\ N = mg \cos \psi \cos \alpha + 2m\omega \dot{x} \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f_c g \cos \psi \cos \alpha - 2\omega \dot{x} \frac{\dot{z}}{|\dot{x}|} \end{cases} \quad (3.176)$$

Частное решение ищем в виде (3.159). Подставим (3.159) в (3.176) и приравняем коэффициенты при $\sin \psi$ и $\cos \psi$

$$\begin{aligned} -a \cdot \omega^2 \cdot \sin \psi - b \cdot \omega^2 \cos \psi - 2\omega f_c a \cdot \omega \cdot \cos \psi - b \cdot \omega \cdot \sin \psi - \omega^2 a \cdot \sin \psi + b \cdot \cos \psi &= \\ = g \cdot \cos \alpha \sin \psi - f_c \cdot \cos \psi & \\ \begin{cases} -a\omega^2 + 2\omega^2 f_c b - \omega^2 a = g \cos \alpha \\ -b\omega^2 - 2\omega^2 f_c a - \omega^2 b = -g f_c \cos \alpha \end{cases} & \end{aligned}$$

$$\begin{cases} a - f_c b = -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \\ af_c + b = \frac{gf_c \cos \alpha}{2\omega^2} \end{cases} \quad (3.177)$$

Из уравнения (3.177) находим

$$b = \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \cdot \frac{2f_c}{1+f_c^2}, \quad a = -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \quad (3.178)$$

Тогда частное решение примет вид

$$x_q = -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \left[1-f_c^2 \sin \psi - 2f_c \cos \psi \right] \quad (3.179)$$

Характеристическое уравнение однородного дифференциального уравнения (3.176) имеет действительные корни

$$\lambda_{1,2} = \omega f_c \pm \sqrt{\omega^2 f_c^2 + \omega^2} = \omega f_c \pm \omega \sqrt{1+f_c^2} \quad (3.180)$$

Таким образом, общее решение имеет вид

$$\begin{aligned} x &= C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \sin \psi - 2f_c \cos \psi \\ \dot{x} &= \lambda_1 C_1 e^{\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \omega \cos \psi + 2f_c \omega \sin \psi \end{aligned} \quad (3.181)$$

Удовлетворяя начальным условиям при $t = 0$ имеем два уравнения

$$\begin{cases} 0 = C_1 + C_2 - \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \sin \psi_2 - 2f_c \cos \psi_2 \\ 0 = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 - \frac{g \cdot \cos \alpha}{2\omega^2} \frac{1-f_c^2}{1+f_c^2} \omega \cos \psi_2 + 2f_c \omega \sin \psi_2 \end{cases} \quad (3.182)$$

Решая уравнения (3.182) находим

$$\begin{aligned}
C_1 &= \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 (1 + f_c^2)} \left[2f_c \omega - \lambda_2 (1 - f_c^2) \sin \psi_2 + \right. \\
&\quad \left. + (1 - f_c^2) \omega + 2\lambda_2 f_c \cos \psi_2 \right] \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \\
C_2 &= -\frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 (1 + f_c^2)} \left[2f_c \omega - \lambda_1 (1 - f_c^2) \sin \psi_2 + \right. \\
&\quad \left. + (1 - f_c^2) \omega + 2\lambda_1 f_c \cos \psi_2 \right] \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}
\end{aligned} \tag{3.183}$$

Время движения t_κ по лопасти найдем из условия, что $x = r$

$$r = C_1 e^{\lambda_1 t_\kappa} + C_2 e^{\lambda_2 t_\kappa} - \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 (1 + f_c^2)} \left[\sin \psi_\kappa (1 - f_c^2) - 2f_c \cos \psi_\kappa \right], \tag{3.184}$$

где $\psi_\kappa = \psi_2 + \omega t_\kappa$.

Это уравнение можно решить приближенно одним из методов последовательных приближений (например, способом деления отрезка пополам).

Уравнение (3.176) по оси z можно решить численно в системе Mathcad.

Полное перемещение частицы по оси z будет равно[157]

$$z = z_1 + z_2 + z_3, \tag{3.185}$$

где z_1 - перемещение частицы перги вдоль оси z по цилиндрической поверхности, м;

z_2 - перемещение частицы по радиальной перегородке при движении от цилиндрической поверхности к оси вращения, м;

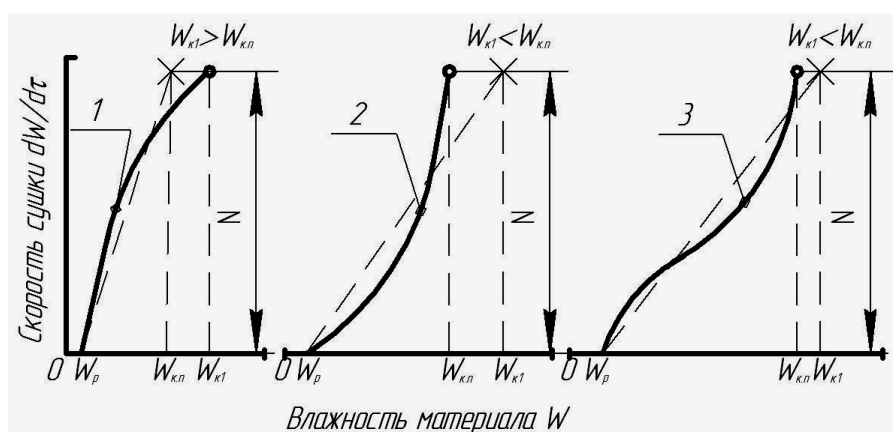
z_3 - перемещение частицы по радиальной перегородке при движении от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности, м.

3.4.3. Обоснование параметров сушильной установки

Для определения общей продолжительности сушки τ имеется несколько эмпирических методов.

Наиболее распространенным является определение τ с помощью коэффициента скорости сушки K , который определяется графически, когда действительная кривая сушки заменяется прямой (рис. 3.31)[15, 35, 41, 85, 87].

Расчет базируется на кривых сушки, полученных экспериментально при сушке определенного материала в условиях соответствующего режима сушки с учетом влагокоэффициентов по зонам. При этом полнее учитываются специфические свойства материала, так как при одной и той же влажности разные материалы могут обладать разными свойствами.



1 - колоидные тела, 2 - капиллярно-пористые тела, 3-колоидные капиллярно-пористые тела.

Рисунок 3.31 – Графический метод определения приведенной критической влажности $W_{к.п}$.

Если в материале есть механически связанная влага, то скорость сушки будет величиной постоянной до точки соответствующей влажности $W_{к.п}$. В этот период температура материала, покрытого влагой, равна температуре мокрого термометра.

Так как в первый период $-\frac{d\omega_m}{d\tau} = const$, то уравнение кривой скорости

сушки имеет вид

$$-\frac{d\omega_m}{d\tau} = N_c, \quad (3.186)$$

где $\frac{d\omega_m}{d\tau}$ – скорость сушки;

N_c – скорость сушки в начале сушки.

Интегрирование выражение (3.186) от первоначальной влажности материала ω_1 до приведенной критической влажности $\omega_{\kappa.n}$ дает уравнение времени сушки в первый период

$$\tau_1 = \frac{1}{N_c} (\omega_1 - \omega_{\kappa.n}) . \quad (3.187)$$

Затем скорость сушки материала будет падать, так как процесс выведения влаги, тесно связанной с ним, протекает с замедлением.

Уравнение кривой скорости сушки во второй период имеет вид

$$-\frac{d\omega_m}{d\tau} = K (\omega_m - \omega_p) , \quad (3.188)$$

где K – коэффициент скорости сушки;

ω_m – влажность материала в любой момент сушки;

ω_p – равновесная влажность материала для заданного режима сушки.

$$K = \frac{N_c}{\omega_{\kappa.n} - \omega_p} . \quad (3.189)$$

Интегрируя в пределах от $\omega_{\kappa.n}$ до ω_2 уравнение (3.189) получим

$$\ln \left(\frac{\omega_{\kappa.n} - \omega_p}{\omega_2 - \omega_p} \right) = K \cdot \tau_2 , \quad (3.190)$$

Откуда время сушки τ_2 во второй период будет равно

$$\tau_2 = \frac{1}{K} \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{\omega_{\kappa.n} - \omega_p}{\omega_2 - \omega_p} = \frac{1}{N_c} \cdot 2,3 \cdot (\omega_{\kappa.n} - \omega_p) \cdot \lg \frac{\omega_{\kappa.n} - \omega_p}{\omega_2 - \omega_p} . \quad (3.191)$$

Общая продолжительность сушки

$$\tau = \frac{1}{N_c} \left[\omega_1 - \omega_{\kappa.n} + 2,3 \cdot (\omega_{\kappa.n} - \omega_p) \cdot \lg \frac{\omega_{\kappa.n} - \omega_p}{\omega_2 - \omega_p} \right] . \quad (3.192)$$

Производительность барабанной сушилки по абсолютно сухому материалу можно определить по формуле А. П. Ворошилова [86].

$$P_c = \frac{V'_o \cdot 100 - \omega_1 \cdot 100 - \omega_2 \cdot m_o}{\omega_1 - \omega_2}, \quad (3.193)$$

где, P_c – производительность барабанной сушилки по абсолютно сухому материалу, кг/ч;

V'_o – объем барабанной сушилки (без учета объема занятого перегородками), м³;

ω_1, ω_2 – начальная и конечная относительные влажности материала, %;

m_o – напряженность барабана по влаге, кг/(м³ч).

Объем барабанной сушилки определим из уравнения теплообмена [86, 87]

$$Q = \alpha_v \cdot \Delta t_{cp} \cdot V'_o, \quad (3.194)$$

Тогда

$$V'_o = \frac{Q}{\alpha_v \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (3.195)$$

где Q – количество теплоты, передаваемого в сушилке, Вт/ч;

α_v – объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·град);

Δt_{cp} – средняя разность температур между сушильным агентом и материалом, °С

$$\Delta t = \frac{t_1 - \vartheta_1 - t_2 - \vartheta_2}{2,3 \cdot \lg \frac{t_1 - \vartheta_1}{t_2 - \vartheta_2}}, \quad (3.196)$$

где t_1, t_2, ϑ_1 и ϑ_2 – начальные и конечные температуры сушильного агента и материала, °С.

Так как барабанная сушилка разделена радиальными перегородками на отдельные секции, то каждую секцию надо рассматривать как самостоятельную сушилку. Поэтому для расчета объемного коэффициента

теплообмена вместо диаметра барабана D_{σ} принимают эквивалентный диаметр D_{ϑ}

$$D_{\vartheta} = \sqrt{\frac{D_{\sigma}}{z_c}}, \quad (3.197)$$

где z_c - число секций, на которые разделен барабан.

Объемный коэффициент теплообмена согласно схеме, приведенной на рисунке 3.32, определяется как сумма двух коэффициентов [85, 87]

$$\alpha_v = \alpha_v^I + \alpha_v^{II}, \quad (3.198)$$

где α_v^I - коэффициент, учитывающий передачу теплоты через наружную поверхность материала, находящегося на радиальных перегородках и в завале, Вт/(м³·К);

α_v^{II} - коэффициент, учитывающий передачу теплоты теплопроводностью от более нагретых деталей внутреннего устройства барабана к материалу, Вт/(м³·К).

Объемный коэффициент α_v^I , учитывающий передачу теплоты через наружную поверхность материала, находящегося на радиальных перегородках и в завале определяется по формуле

$$\alpha_v^I = \alpha'' \cdot F_m'' = \alpha'' \cdot 1,27 \frac{S}{D_{\vartheta}} \cdot D_{\vartheta}^{-1}, \quad (3.199)$$

где α'' - коэффициент теплообмена от агента сушки к поверхности материала, находящегося на радиальных перегородках, Вт/(м²·К);

S - сумма отрезков в поперечном сечении сушилки, соответствующих наружной поверхности материала, м;

D_{ϑ} - эквивалентный диаметр барабана, м.

Коэффициент теплообмена α'' находится по формуле

$$\alpha'' = 0,347 \frac{\lambda}{l_{оп}^{0,33}} \left(\frac{g_{cp}}{v} \right)^{0,67}, \quad (3.200)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);

$l_{опр}$ - определяющая величина, м;

$g_{ср}$ - средняя скорость агента сушки, м/с;

ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

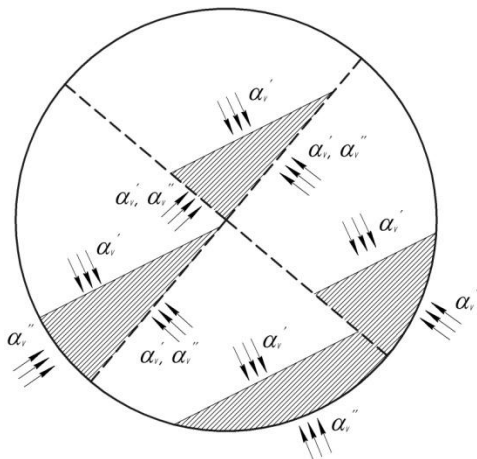


Рисунок 3.32 – Схема теплопередачи в сушильном барабане

Определяющая величина $l_{опр}$ находится из соотношения

$$l_{опр} = \frac{2 \cdot S}{z_l}, \quad (3.201)$$

где z_l - число лопастей в секции;

S - сумма отрезков в поперечном сечении сушилки.

Коэффициент теплообмена α_v^{Π} , учитывающий передачу теплоты к материалу, от нагретых поверхностей сушильного барабана, подсчитывается по формуле

$$\alpha_v^{\Pi} = \frac{F_z \cdot \alpha_{\phi} \cdot t_l - t_m}{\Delta t} = \frac{1,27 \cdot \frac{S_z}{D_{\phi}} \cdot D_{\phi}^{-1} \cdot \alpha_{\phi} \cdot t_l - t_m}{\Delta t}, \quad (3.202)$$

где S_z - сумма отрезков в поперечном сечении сушилки,

соответствующих оголенной поверхности барабана, м;

t_l - температура барабана и его деталей, К;

t_m - температура высушиваемого материала, К;

α_ϕ - коэффициент теплоотдачи от барабана и деталей внутреннего устройства к материалу, Вт/(м²·К);

Δt - средняя разность температур между сушильным агентом и материалом, определяется по уравнению (3.196).

Вследствие быстрой смены циклов охлаждения и нагрева материала, материал лежащий на радиальных перегородках можно рассматривать как бесконечно толстую пластину. В таких условиях коэффициент теплоотдачи α_ϕ зависит только от физических констант и от времени прогрева

$$\alpha_\phi = 1,13 \sqrt{\frac{\lambda \cdot c \cdot \gamma}{\Delta \tau_u}}, \quad (3.203)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);

c - теплоемкость материала Дж/(кг·К);

γ - объемная масса материала, кг/м³;

$\Delta \tau_u$ - время вращения половины одного оборота барабана, ч.

Минимально допустимый диаметр барабана можно определить по допустимой скорости движения агента сушки в конце барабана

$$v_a = \frac{4 \cdot V_a}{3600 \cdot \pi \cdot D_o^2 (1 - \beta)}, \quad (3.204)$$

Тогда

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot V_a}{3600 \cdot \pi \cdot v_a (1 - \beta)}}, \quad (3.205)$$

где V_a - объем газов проходящих через барабан сушилки, м³/ч;

v_a - скорости движения агента сушки в конце барабана, м/с;

β - коэффициент заполнения барабана в долях единицы.

Длину барабана находим из выражения потребного внутреннего объема барабана

$$L_o = \frac{4 \cdot V_o}{\pi \cdot D_o^2}, \quad (3.206)$$

где V_{ϕ} - полный объем барабана, м^3 .

$$V_{\phi} = k_{\phi} \cdot V'_{\phi}, \quad (3.207)$$

где k_{ϕ} - коэффициент, учитывающий долю объема барабана, занятого радиальными перегородками.

Пропускная способность сушилки по влажному материалу определяется по формуле [157]

$$\Pi_c = \frac{60 \cdot z \cdot n_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot \beta \cdot \gamma}{L_{\phi}}, \quad \text{кг/ч}, \quad (3.208)$$

где z - перемещение частицы перги вдоль оси вращения барабана за один оборот, м;

n_{ϕ} - частота вращения барабана, мин^{-1} .

Совместно решив уравнения (3.132), (3.157), (3.176) и (3.208) в системе Mathcad была построена теоретическая зависимость пропускной способности сушилки от частоты вращения барабана и коэффициента его заполнения (рис. 3.33).

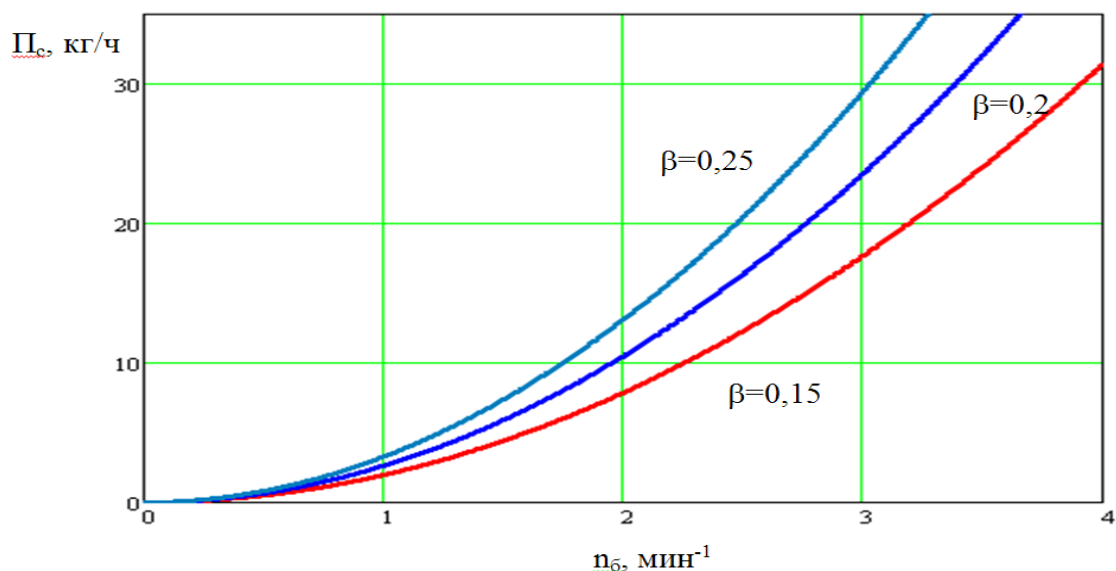


Рисунок 3.33 – Зависимость пропускной способности сушилки от частоты вращения барабана

Анализ рисунка показал, что пропускная способности сушилки прогрессивно возрастает с увеличением частоты вращения барабана. Исходя

из скорости движения частиц перги вдоль барабана и необходимого времени сушки установлено, что рациональной скоростью вращения барабана $1,7...2,0 \text{ мин}^{-1}$, что соответствует пропускной способности сушилki $7...9 \text{ кг/ч}$.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа применяемых способов и технических средств установлено, что машины для получения перги из пчелиных сотов должны включать технические средства для центробежной скарификации сотов, сушки перги в сотах, центробежного выделения воскоперговой массы из сотов и её охлаждения, измельчения воскоперговой массы с разделением пневмосепарацией на восковое сырьё и пергу и её досушивания, обеспечивающие качество продукции соответствующее требованиям ГОСТ 31776-2012.

2. Центробежный скарификатор пчелиных сотов должен содержать емкость с вертикально установленным ротором и кассеты с закрепленной удерживающей пластиной. При вращении ротора происходит прогиб удерживающих пластин, проволоки, армирующей пчелиный сот с разрывом стенок восковых ячеек последнего. Теоретически установлено, что прогиб пчелиного сота зависит от жесткости удерживающей пластины, прочности армирующей проволоки и самого сота. Расчеты показывают, что при прогибе 40 мм, зазор между гранулами перги и стенками восковых ячеек составляет от 0,078 до 0,094 мм.

3. Выделение воскоперговой массы из пчелиного сота следует проводить на том же агрегате, что и центробежную скарификацию. При этом в агрегат нужно установить кассеты без удерживающей решетки и резиновой пластины, а сам сот с высушенной до влажности 14...15% пергой должен быть прогрет до температуры 40...42 °С. Установлено, что с увеличением массы перги в пчелином соте угловая скорость ротора уменьшается. При среднем значении перги в соте 300...350 грамм угловая скорость ротора

должна быть от 36 до 43 с⁻¹. Также на частоту вращения влияет усилие разрыва восковой основы сота.

Установлено, что мощность на привод установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы зависит от времени разгона $t_{\text{раз}}$ и массы пчелиных сотов с пергой. При выделении воскоперговой массы максимальная мощность составляет $N=430\dots500$ Вт.

4. Для извлечения перги из охлажденной воскоперговой массы предложен агрегат, включающий штифтовый измельчитель и пневматический сепаратор, размещенные последовательно на одном валу и обеспечивающие измельчение пчелиных сотов и разделение на гранулы перги и восковое сырье. Теоретически установлено, что расстояние между дном измельчителя и нижним штифтом должно быть не больше 2,24 мм, а для свободного прохождения гранул перги через выгрузную решетку расстояние между её прутками от 11,0 до 14,6 мм.

5. Установка для сушки гранул перги должна содержать калорифер, сушильный барабан с установленными внутри него сетчатыми радиальными перегородками, дозатор влажных гранул и устройство для наклона барабана. При работе установки происходит равномерное пересыпание и перемешивание высушиваемого продукта с совместным его нагревом за счет кондукции при соприкосновении со стенками барабана и сетчатыми перегородками, и конвекции за счет продувки горячим воздухом.

Теоретически установлено, что скорость перемещения гранул перги в барабане сушилki складывается из осевых скоростей перемещения материала по цилиндрической поверхности барабана и радиальным сетчатым перегородкам, и зависит от диаметра барабана, частоты вращения и угла его наклона. Пропускная способности сушилki зависит от заполнения барабана, скорости перемещения и объемной массы гранул перги. Исходя из скорости движения частиц перги вдоль барабана и необходимого времени сушки установлено, что рациональной частотой вращения барабана 1,7...2,0 мин⁻¹, что соответствует пропускной способности сушилki 7...9 кг/ч.

4. Экспериментальные исследования машин в лабораторных условиях

4.1. Экспериментальные исследования центробежного скарификатора пчелиных сотов

4.1.1. Программа и методика исследований

Исследования Некрашевича В.Ф., Бронникова В.И., Винокурова С.В., Ларина А.В. [3, 34, 81, 136] показали, что процесс скарификации пчелиных сотов приводит к сокращению времени процесса сушки перги в сотах более чем на 30%. Поэтому для подтверждения теоретических предпосылок и выявления рациональных конструктивно-режимных параметров установки для центробежной скарификации воскоперговой массы сотов были проведены лабораторные исследования. При этом эффективность скарификации воскоперговой массы сотов оценивалась скоростью сушки перги в них.

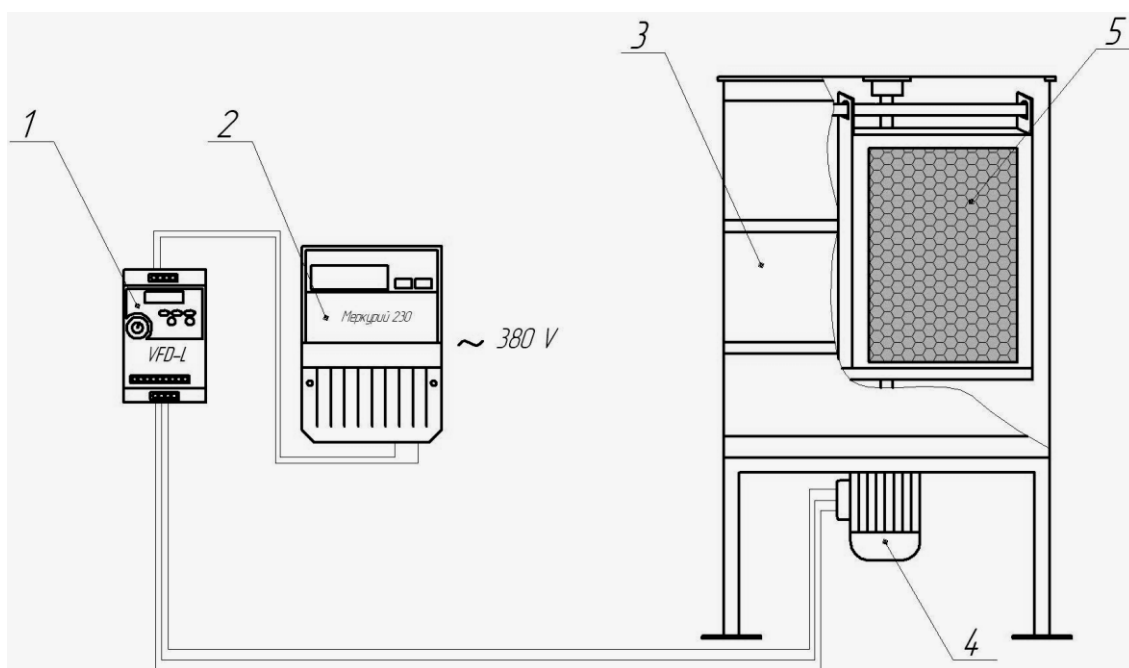
Программа лабораторных исследований процесса центробежной скарификации воскоперговой массы пчелиных сотов включает:

- определение влияния времени действия центробежных сил на прогиб воскоперговой массы сота;
- определение влияния частоты вращения сотов в роторе и параметров удерживающей пластины кассеты для скарификации на скорость сушки перги в сотах;
- определение влияния массы сота и конструктивных параметров удерживающей пластины на энергоёмкость процесса центробежной скарификации;
- определение влияния частоты вращения сотов в роторе на прогиб воскоперговой массы;
- определение влияния центробежной скарификации воскоперговой массы сотов на процесс сушки перги.

В проведении лабораторных исследований автору оказывал помощь Коваленко М.В.

Для выполнения программы исследований была разработана лабораторная установка, функциональная схема которой представлена на рисунке 4.1. Лабораторная установка состоит из частотного преобразователя 1 марки DELTA VFD 007L 21B 1, счетчика электроэнергии 2 Меркурий 230 AR-02 С и центробежного скарификатора 3 [97].

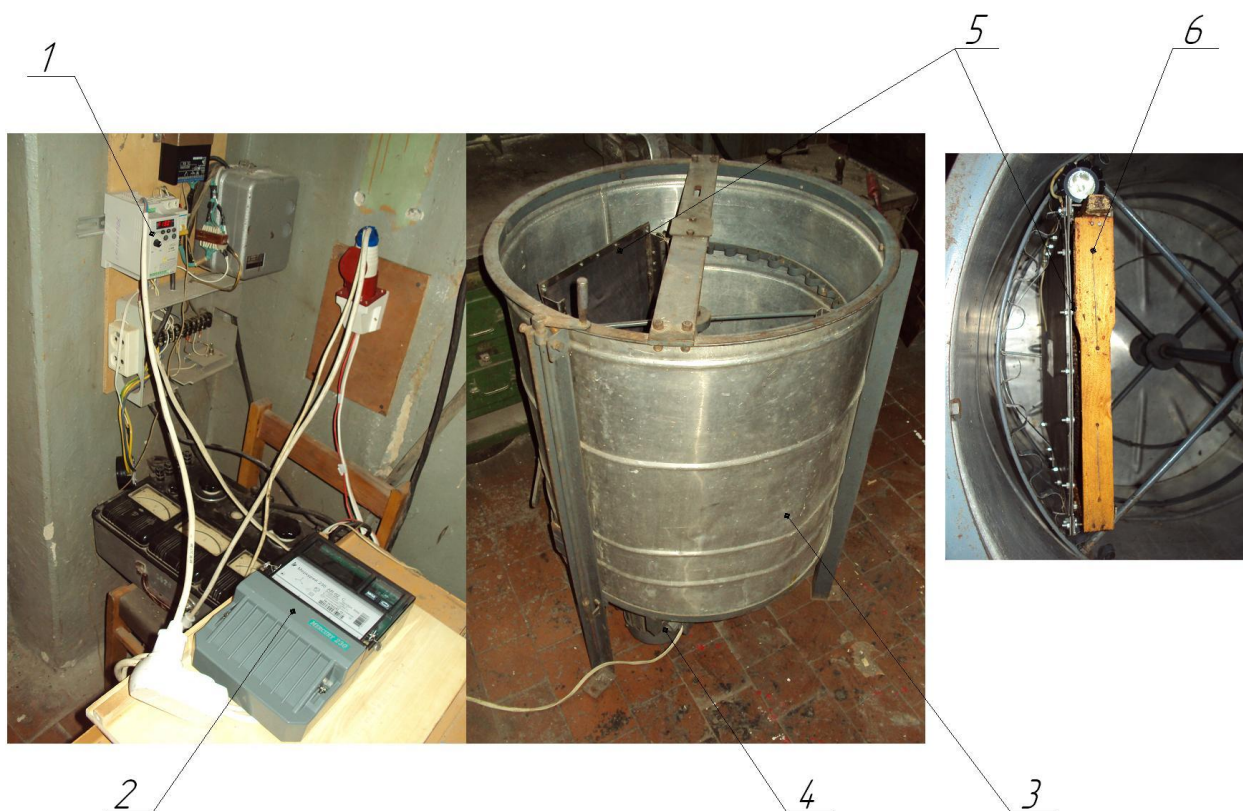
Лабораторная установка состоит из центрифуги 3, внутри которой установлен ротор для одновременной установки четырёх кассет 5 с пчелиными сотами. Электропривод 4 осуществляет вращение ротора с кассетами 5. Установка необходимой скорости вращения ротора осуществлялась при помощи асинхронный преобразователь частоты 1.



1 – асинхронный преобразователь частоты; 2 – счетчик электроэнергии Меркурий; 3 – центрифуга для скарификации пчелиных сотов; 4 – электропривод; 5 – кассета для центробежной скарификации.

Рисунок 4.1 – Функциональная схема лабораторной установки для центробежной скарификации пчелиных сотов

Общий вид установки для центробежной скарификации пчелиных сотов представлен на рисунке 4.2 [97].



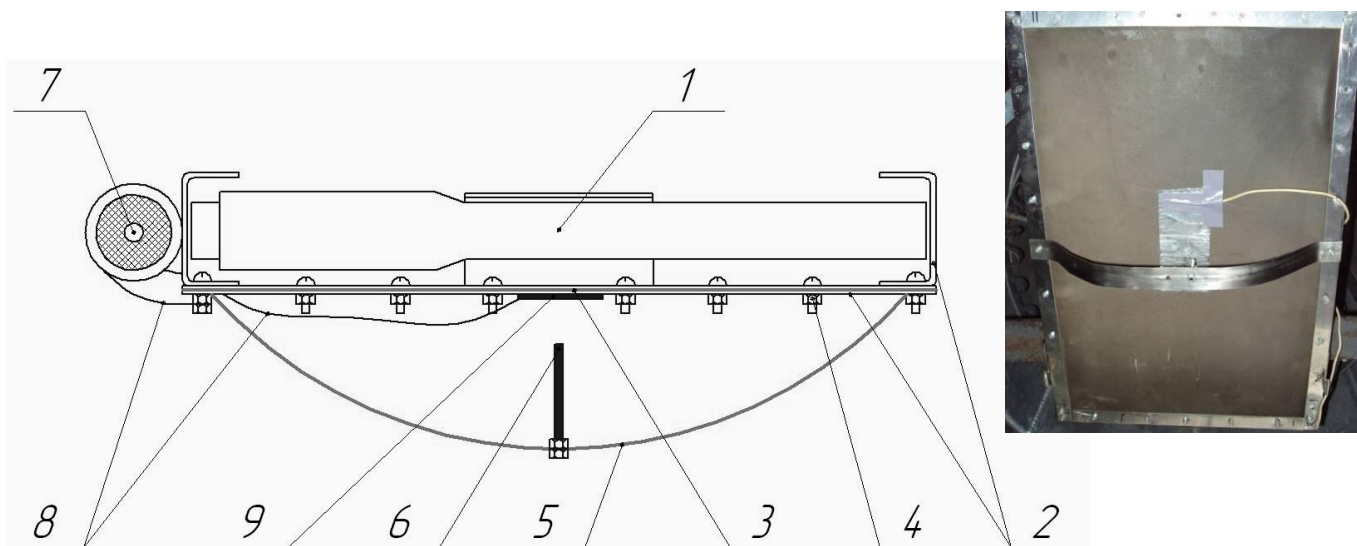
1 – асинхронный преобразователь частоты DELTA VFD 007L 21B; 2 – счетчик электроэнергии Меркурий 230; 3 – центрифуга для скарификации пчелиных сотов; 4 – электродвигатель, 5 – кассета для центробежной скарификации; 6 – пчелиный сот.

Рисунок 4.2 – Общий вид лабораторной установки для центробежной скарификации пчелиных сотов

Диаметр рабочей камеры центробежного скарификатора составлял 560 мм. Расстояние от центра вращения ротора до кассеты 180 мм.

С помощью тахометра АКТАКОМ АТЕ-6008, перед началом исследований, была получена зависимость (тарировочный график) частоты вращения ротора установки от показаний асинхронного преобразователя частоты DELTA VFD 007L 21B.

Чтобы определить прогиб воскоперговой массы пчелиного сота, в процессе его вращения в роторе установки было разработано специальное устройство (рис. 4.3) [97].



1 – пчелиный сот; 2 – каркас кассеты; 3 – удерживающая пластина; 4 – болтовые соединения; 5 – кронштейн; 6 – контакт каркаса; 7 – световой индикатор; 8 – соединительные провода; 9 – контакт удерживающей пластины.

Рисунок 4.3 – Устройство для определения прогиба пчелиного сота

Устройство состоит из каркаса кассеты 2, удерживающей пластины 3, болтовых соединений 4, прикрепляющих края удерживающей пластины 3 к каркасу 2, кронштейна 5, контакта каркаса 6, светового индикатора 7, соединительных проводов 8 и контакта 9 удерживающей пластины 3.

Пчелиный сот 1 устанавливается в каркас кассеты 2. В центральной части на внешней стороне удерживающей пластины 3 закреплен контакт 9. Напротив контакта 9 располагается кронштейн 5 с контактом 6. Контакты 6 и 9 соединены проводами 8 со световым индикатором 7, который прикреплен к каркасу кассеты 2. Контакт 6 выполнен в виде резьбовой шпильки. Для определения частоты вращения ротора, при которой будет обеспечиваться требуемый прогиб удерживающей пластины 3, контакт 6 вкручивали в кронштейн 5 до тех пор, пока между концом контакта 6 и контактом 9 не образуется зазор равный по величине требуемому прогибу. Затем устройство с сотом крепили к ротору установки и начинали вращать. При помощи кнопок управления асинхронным преобразователем частоты DELTA VFD

007L 21В изменялась угловая скорость вращения сота в установке. Удерживающая пластина 3 и контакт 9, прогибаясь вместе с воскоперговой массой сота, при достижении требуемого прогиба касается конца контакта 6. В этот момент загорается лампочка светового индикатора 7 и фиксируются показания асинхронного преобразователя частоты.

Чтобы определить необходимое время скарификации при прогибе воскоперговой массы сота на требуемую величину засекали время от момента начала вращения ротора до загорания лампочки светового индикатора 7.

После скарификации с одной стороны ротор останавливали, пчелиные соты извлекали из установки, переворачивали и устанавливали обратно другой стороной. Перга в пчелиных сотах имела одинаковую начальную влажность и массу.

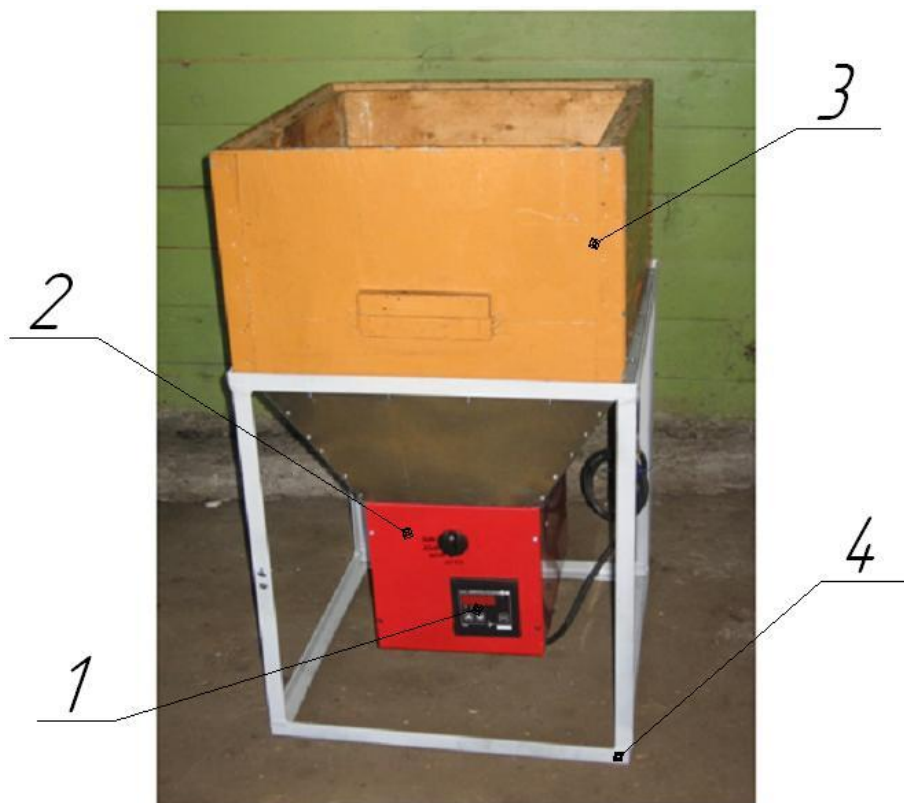
Опыты проводились с трехкратной повторностью.

В качестве материала удерживающей пластины кассеты для скарификации была взята резина марки 1Н-І-ТМКЩ-С-1 ГОСТ 7338-90.

Сушку перги в сотах проводили на установке СП-40 (рис. 4.4) конвективным способом при температуре 40-42 °С[133].

Сушилка содержит электрокалорифер 2, установленный на раму 4. На верхнюю часть рамы 4 устанавливаются ульевые 12-рамочные корпуса 3 под рамку Дадана. Требуемая температура сушки перги в сотах устанавливалась при помощи микропроцессорного одноканального регулятора температуры 1 (ОВЕН ТРМ-1), управляющий работой электрокалорифера 2 по показаниям преобразователя измерения температуры 50Р.

После скарификации воскоперговой массы сотов из них извлекалась часть перги, для определения влажности перги в каждом соте. Затем соты помещались в ульевые корпуса и устанавливались на сушилку СП-40. Через каждые пять часов сушки из сотов извлекалась часть перги и определяли влажность по методике, описанной в п. 2.1.



1 – регулятор температуры; 2 – электрокалорифер; 3 – ульевый корпус;
4 –рама.

Рисунок 4.4 – Сушилка перги в ульевых корпусах СП-40

Скорость сушки перги в сотах определялась по формуле [94]

$$C_{\text{ср}} = \frac{W_1 - W_2}{t}, \quad (4.1)$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя скорость сушки перги на участке влажности от W_1 до W_2 ,
%/ч;

W_1 –влажность до сушки перги, %;

W_2 –влажность после сушки перги, %;

t – время сушки от W_1 до W_2 , ч.

Исследования проводились с трехкратной повторностью.

Для определения влияния толщины удерживающей пластины и частоты вращения ротора центробежного скариффикатора на скорость сушки перги в сотах был проведен двухфакторный эксперимент.

В ходе поисковых опытов был установлен диапазон варьирования факторов. Факторы и уровни варьирования эксперимента представлены в таблице 4.1[112].

Таблица 4.1 – Факторы и уровни варьирования

Уровни варьирования	Факторы	
	Угловая скорость вращения сотов в установке $\omega_{\text{скар}}, \text{с}^{-1}$	Толщина удерживающей пластины $h_{\text{рез}}, \text{мм}$
Интервал варьирования	4,19	0,5
Верхний уровень (+1)	37,67	1,5
Основной уровень (0)	33,49	1
Нижний уровень (-1)	29,31	0,5

Для установления совместного влияния габаритных размеров удерживающей пластины и частоты вращения сотов был выбран трехуровневый план Бокса-Бенкина второго порядка [11, 110, 112, 106]. Рандомизация опытов проводилась по ГОСТ 11.003-71 с целью устранения случайных ошибок от неучтенных факторов [36].

Как показали теоретические исследования, на процесс центробежной скарификации сотов оказывает влияние плотность заполнения их пергой. Поэтому следующим этапом исследований было выявление зависимости совместного влияния массы пчелиных сотов и частоты вращения сотов в установке на удельные затраты энергии. Факторы и уровни эксперимента приведены в таблице 4.2.

Перед проведением исследований пчелиные соты взвешивали на весах и разделили по массе на 3 группы: соты со средней массой 701,25 грамм (легкие), соты со средней массой 887,68 грамм (средние) и соты со средней массой 1074,11 грамм (тяжелые).

Перед исследованиями в устройствах для определения прогиба пчелиного сота устанавливали зазор 40 мм между контактом каркаса 6 и контактом 9 удерживающей пластины 3.

Таблица 4.2 – Факторы и уровни варьирования

Уровень варьирования	Факторы	
	Средняя масса сота M_c , г	Толщина удерживающей пластины $h_{рез}$, мм
Интервал варьирования	186,43	0,5
Верхний уровень (+1)	1074,11	1,5
Основной уровень (0)	887,68	1
Нижний уровень (–1)	701,25	0,5

После чего их вместе с сотами устанавливали в установку. При определенной частоте вращения сотов зазор становился равным нулю, а световой индикатор 7 начинал светиться. В этот момент определялось потребление электрической энергии на процесс скарификации по показаниям счетчика 2.

Результаты экспериментальных исследований представлены в приложении Б.

При проведении исследования учитывались определенные требования к факторам: управляемость, однородность, их совместимость и отсутствие корреляций между ними [11, 106, 110, 112, 168, 213, 215].

4.1.2. Результаты исследования времени воздействия центробежных сил на прогиб воскоперговой массы сота

Начальная влажность перги в скарифицируемых сотах лежала в пределах от 19,2 до 19,4 %. В ходе всего угловая скорость вращения сотов в установке составляла 42 с^{-1} . На кассеты для определения прогиба сота под воздействием центробежных сил было установлено удерживающая резиновая пластина толщиной 1 мм. По результатам обработки экспериментальных данных получена зависимость (рис. 4.5.)

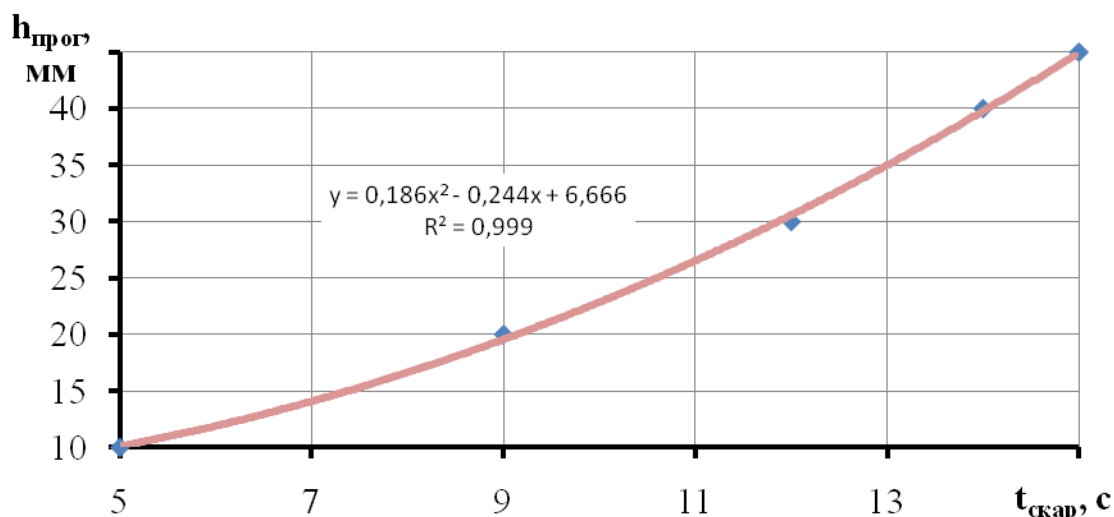


Рисунок 4.5 – Зависимость влияния времени действия центробежных сил на прогиб воскоперговой массы

Из зависимости видно, что 10 мм прогиб воскоперговой массы достигается при 5 секундном воздействии центробежных сил. Максимальный прогиб воскоперговой массы сотов в 45 мм достигается через 15 секунд воздействия центробежных сил. Вогнутый характер линии тренда говорит об увеличении скорости деформации воскоперговой массы сота с увеличением времени воздействия центробежных сил. При прогибе воскоперговой массы сота больше 45 мм происходит образование больших трещин, что может привести к её отделению от рамки и дальнейшей невозможности сушки перги в сотах.

4.1.3. Результаты исследования воздействия угловой скорости вращения сота и толщины удерживающей пластины на скорость сушки перги

Начальная влажность перги в скарифицируемых сотах лежала в пределах от 19,7 до 19,9 %.

В результате исследований и обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии средней скорости сушки перги в соте $C_{\text{ср}}$

от угловой скорости вращения сота $\omega_{\text{скар}}$ и толщины удерживающей резиновой пластины $h_{\text{рез}}$

$$C_{\text{ср}} = -0,4916 + 0,0183 \cdot h_{\text{рез}} + 0,00497 \cdot \omega_{\text{скар}} - 0,1493 \cdot h_{\text{рез}}^2 + +0,008 \cdot h_{\text{рез}} \cdot \omega_{\text{скар}} - 0,0008 \cdot \omega_{\text{скар}}^2 \quad (4.2)$$

Поверхность отклика полученного уравнения регрессии представлена на рисунке 4.6.

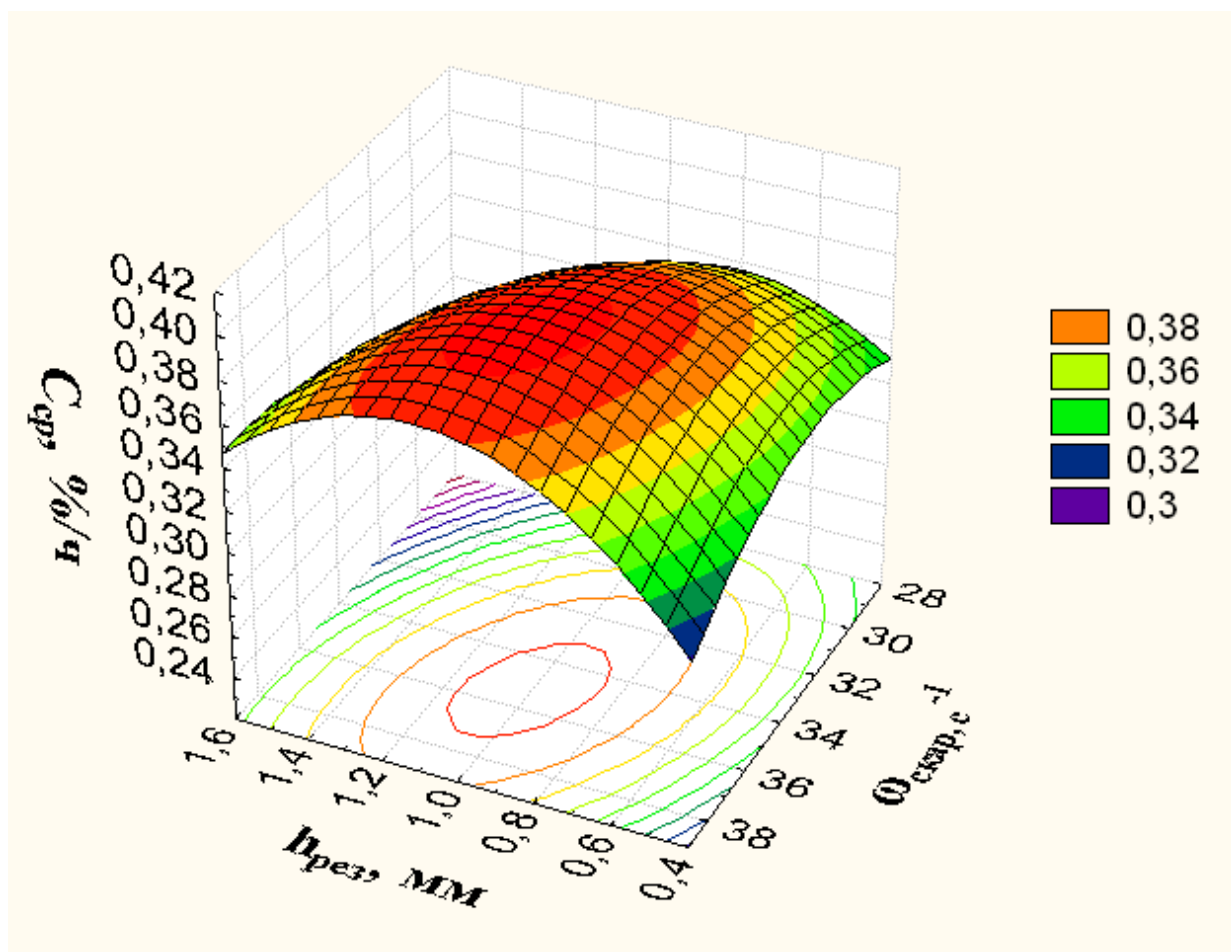


Рисунок 4.6 – Зависимость влияния толщины удерживающей пластины и угловой скорости вращения сота на скорость сушки перги

Анализируя уравнение регрессии можно отметить, что удерживающая пластина кассеты для центробежной скарификации толщиной 0,5 мм плохо сдерживает прогибание воскоперговой массы сота, что приводит неравномерной её деформации, образованию трещин и низкой скорости сушки гранул перги в таких сотах. Увеличение толщины резиновой пластины

от 1 до 1,5 мм приводит к снижению скорости сушки. Это объясняется тем, что с увеличением толщины удерживающей резиновой пластины увеличивается её жесткость. Увеличение угловой скорости вращения сота от 29,31 до 35,58 с⁻¹, при толщине удерживающего полотна 1 мм, приводит к увеличению скорости сушки гранул перги с 0,326 до 0,399 %/ч. Дальнейшее увеличение угловой скорости вращения сота свыше 35,58 с⁻¹ не приводит к значительному увеличению скорости сушки, так как большая часть ячеек сотов разгерметизировалась.

Теоретические расчеты и анализ уравнения регрессии показал, что наибольшая скорость сушки гранул перги наблюдается в сотах скарифицированных при угловой скорости вращения 35,58 с⁻¹ и величине прогиба сота 40 мм, в кассетах с толщиной удерживающей пластины 1 мм.

4.1.4. Результаты исследования влияния массы сота и толщины удерживающей пластины на энергоёмкость процесса

Начальная влажность перги в скарифицируемых сотах лежала в пределах от 19,7 до 19,9 %.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости удельных затрат энергии на центробежную скарификацию сотов $N_{\text{скариф}}$ от толщины резиновой пластины $h_{\text{рез}}$ и массы сота M_c

$$N_{\text{скариф}} = 125,0313 - 85,4281 \cdot h_{\text{рез}} + 0,013 \cdot M_c + 73,3333 \cdot h_{\text{рез}}^2 + 0,0054 \cdot h_{\text{рез}} \cdot M_c - 4,7953 \cdot 10^{-6} \cdot M_c^2 \quad (4.3)$$

Поверхность отклика полученного уравнения регрессии представлена на рисунке 4.7.

Из зависимости видно, что толщина удерживающей резиновой пластины оказывает наибольшее влияние на удельную энергоёмкость процесса центробежной скарификации сотов. Увеличение толщины удерживающей резиновой пластины от 0,5 до 1,5 мм приводит к повышению удельных затрат энергии на процесс скарификации с 111 до 177 Вт-ч на сот.

Это объясняется тем, что при использовании более толстой удерживающей пластины в кассете для центробежной скарификации при её одинаковом прогибе на величину 40 мм во всех опытах, требуется более высокая частота вращения сотов в установке.

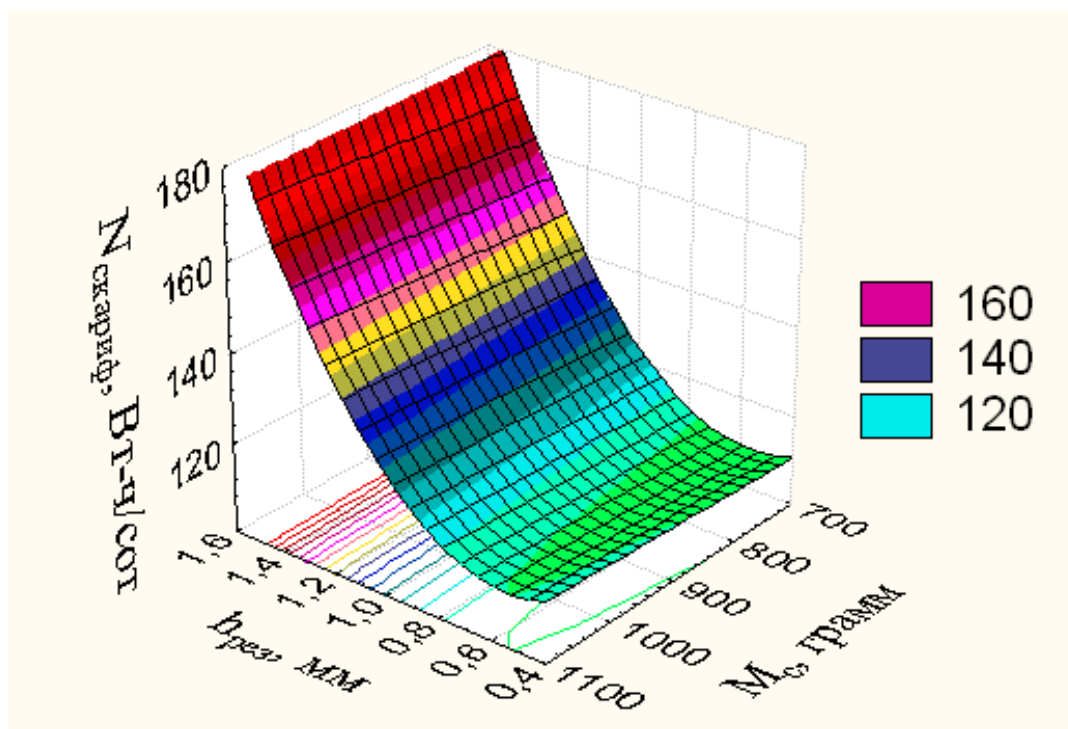


Рисунок 4.7 – Зависимость удельных затрат энергии на центробежную скарификацию сотов от толщины резиновой пластины и массы сота

Удельные затраты энергии на процесс центробежной скарификации сотов увеличиваются с 123,48 до 127,17 Вт-ч/сот при использовании удерживающей пластины толщиной 1 мм и увеличении их массы от 701,25 до 1074,11 грамм. Влияние массы скарифицируемых сотов на удельные энергозатраты менее значительно. Это связано с тем, что для создания требуемой центробежной нагрузки на более тяжелые соты их необходимо вращать с меньшей частотой вращения, нежели легкие.

Несмотря на то, что минимальные затраты энергии наблюдаются при использовании кассет с толщиной резиновой пластины в 0,5 мм, в ходе исследований выяснилось, что после снятия центробежной нагрузки резиновая пластина теряла форму, имела складки, а при скарификации сотов

массой свыше 1200 грамм рвалась. Пчелиные соты в таких кассетах неравномерно скарифицировались и имели низкую скорость сушки перги.

Поэтому для центробежной скарификации рекомендуется резиновая пластина толщиной 1 мм.

4.1.5. Результаты исследования влияния частоты вращения сота на прогиб его воскоперговой массы

На рисунке 4.8 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости влияния частоты вращения сота в установке на прогиб его воскоперговой массы. Теоретическая зависимость получена расчетным путем с использованием выражения (3.45).

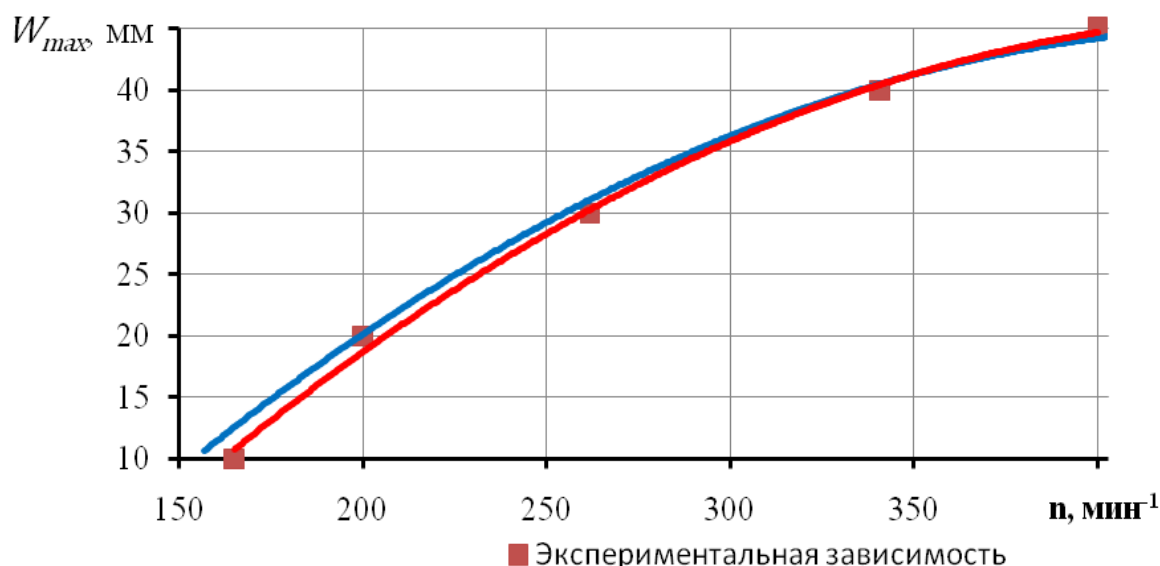


Рисунок 4.8 – Зависимость влияния частоты вращения сота в установке на прогиб его воскоперговой массы

Из графической зависимости видно, что с увеличением частоты вращения ротора прогиб резиновой пластины увеличивается по зависимости $W_{max} = -0,0004n^2 + 0,379n - 40,58$. При дальнейшей сушке сотов оказалось, что достаточен прогиб удерживающей резиновой пластины и воскоперговой массы пчелиного сота 40-45 мм. Анализируя сходимость теоретических и экспериментальных данных можно отметить, что они различаются не более чем на 5 % в начальный момент прогиба [97].

4.1.6. Результаты исследования влияния времени воздействия теплоагента на скорость сушки перги в сотах

В процессе исследования влияния времени воздействия теплоагента на скорость сушки перги в сотах были использованы пчелиные соты с начальной влажностью перги 20,4...20,6 %. Центробежную скарификацию сотов вели при угловой скорости вращения сотов в установке $35,58 \text{ с}^{-1}$ и в кассетах с толщиной удерживающей резиновой пластины 1 мм. Полученная зависимость представлена на рисунке 4.9.

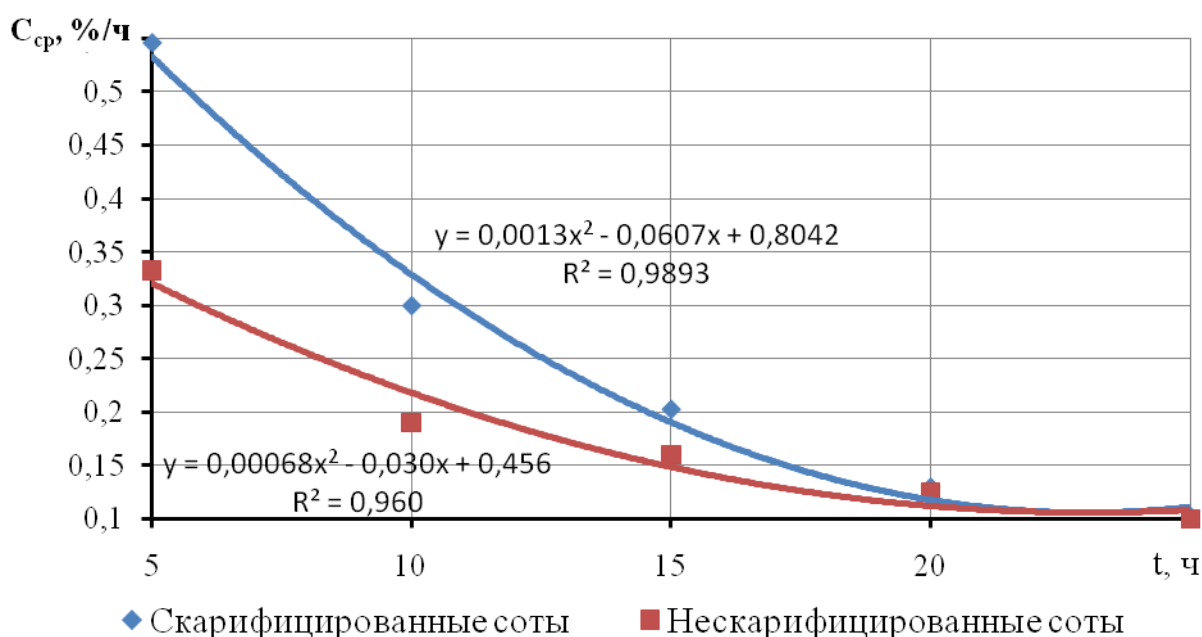


Рисунок 4.9 – Зависимость влияния времени воздействия теплоагента на скорость сушки перги в пчелиных сотах

Из зависимости видно, что двадцатичасовое воздействие теплоагента приводит к снижению скорости сушки гранул перги в скарифицированных центробежным способом сотах с 0,546 до 0,13 %/ч, а у нескарифицированных сотов с 0,333 до 0,128 %/ч. В начальный период сушки интенсивность удаления влаги из гранул перги 1,6 раза выше в скарифицированных сотах. Анализ зависимостей подтверждает, что прогиб воскоперговой массы, под воздействием центробежных сил, приводит к ускорению процесса сушки гранул перги в восковых ячейках пчелиного сота.

4.2. Экспериментальные исследования выделителя воскоперговой массы из сотов

4.2.1. Программа и методика исследований

Для реализации на практике предложенного механизированного способа выделения воскоперговой массы из сота с наименьшими затратами труда и энергии необходимо провести исследования этого процесса в лабораторных условиях. Поэтому в соответствии с поставленной задачей программа исследований включает:

- определение влияния частоты вращения ротора выделителя и температуры воскоперговой массы на полноту её выделения из сота;
- определение влияния массы перги в соте на частоту вращения ротора выделителя [91].

В проведении лабораторных исследований автору оказывала помощь аспирант Буренина Е.И.

Для выполнения программы исследований была разработана лабораторная установка (рис. 4.10). Её функциональная схема идентична схеме скарифikatorа пчелиных сотов (рис. 4.1). Однако диаметры ротора и рабочей камеры отличаются. Использование медогонки в качестве отделителя воскоперговой массы не представляется возможным вследствие того, что при прогибе воскоперговая масса упирается в боковую стенку рабочей камеры и начинает скользить по ней, вызывая налипание восковой части сота на поверхность скольжения. Поэтому для гарантированного отрыва воскоперговой массы от сота и проволоки радиус рабочей камеры центробежного выделителя должен быть на 200 мм больше расстояния от центра вращения ротора до кассеты при центробежном выделении. Диаметр рабочей камеры установки для центробежного выделения воскоперговой массы от сотов составлял 820 мм. Расстояние от центра вращения ротора до кассеты 210 мм.



1 – рабочая камера, 2 – ротор, 3 – кассета для выделения воскоперговой массы, 4 – электродвигатель, 5 – асинхронный преобразователь частоты DELTA VFD 007L 21B.

Рисунок 4.10 – Общий вид лабораторной установки для центробежного выделения воскоперговой массы сотов

Лабораторная установка для центробежного выделения воскоперговой массы от сотов представляет собой рабочую камеру 1, внутри которой размещен ротор 2 для одновременной установки четырёх специальных кассет 3 с сотами. Ротор изготовлен таким образом, что расстояние между верхним и нижним бандажными кольцами больше длины сота. Это сделано для того, чтобы детали ротора 3 не мешали свободному изгибу воскоперговой массы сота и её отрыву. Вращение ротора 3 осуществляется через клиноременную передачу от электродвигателя 4. Требуемая частота вращения ротора устанавливалась при помощи асинхронный преобразователь частоты 5 марки DELTAVFD 007L 21B.

Массу пчелиных сотов определяли путем взвешивания на весах ВСТ-1200.

Общий вид деталей и узлов лабораторной установки представлен на рисунке 4.11.



а



б



в



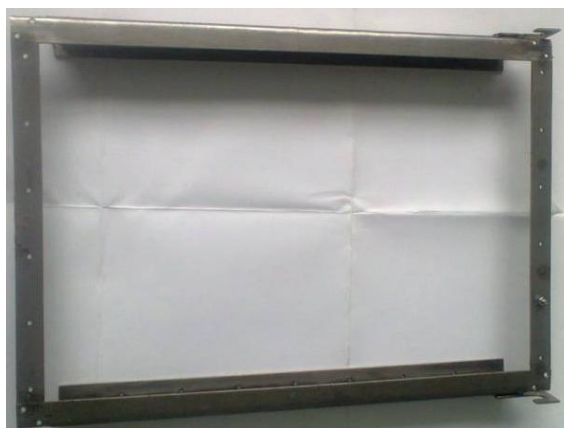
г

а – вал ротора с ведомым шкивом и нижней опорой, б – электродвигатель, в – ротор с деталями верхней опоры, г – рабочая камера установки

Рисунок 4.11 – Общий вид деталей и узлов лабораторной установки для центробежного выделения воскоперговой массы от сотов

Для определения влияния частоты вращения ротора лабораторной установки на процент выделенной воскоперговой массы использовались соты со средней массой воскоперговой части сота 413,8 грамм.

Перед выделением воскоперговой массы из сота измеряли её температуру при помощи термометров ТП-22 ТУ 25-1102.038-82 и ТЛ-2 ГОСТ 215-73. Затем соты устанавливали в кассеты для выделения воскоперговой массы (рис. 4.12), а кассеты крепились в роторе лабораторной установки.



а



б

а – кассета для центробежного выделения воскоперговой массы, б – пчелиный сот в кассете

Рисунок 4.12 – Общий вид кассеты для выделения воскоперговой массы сотов

При помощи асинхронного преобразователя частоты DELTA VFD 007L устанавливали нужную частоту вращения ротора и включали установку в работу. После остановки ротора вынимали соты из кассет и взвешивали их массу на весах. Затем соты помещали обратно в установку, увеличивали частоту вращения ротора и снова после остановки ротора измеряли массу сотов. Процент выделенной воскоперговой массы от общего её количества определяли по формуле

$$Q = \frac{m_0 - m_i}{m_0 - m_p} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где m_0 - масса сота до выделения воскоперговой массы, г;

m_i – масса сота при i -ой частоте выделения, г;

m_p – масса сота с полностью выделенной воскоперговой массой, г.

Обработка полученных данных производилась согласно методике приведенной в пункте 4.1.1. Зависимость влияния массы сота, заполненного пергой, и его температуры на частоту вращения ротора, требующуюся для отделения воскоперговой массы, определялась следующим образом.

С начала в роторе установки закрепляли две кассеты напротив друг друга. Одну кассету для откачки меда с удерживающей сеткой, а другую для центробежного выделения воскоперговой массы из сота без удерживающей сетки. Это делалось для того, чтобы посмотреть процесс выделения воскоперговой массы из одного сота и балансировки ротора установки. Затем в них устанавливали соты заполненные пергой и включали привод ротора. При помощи асинхронного преобразователя частоты DELTAVFD 007L21B постепенно увеличивали частоту вращения ротора до момента полного выделения части сота, заполненного пергой. Частоту вращения ротора, при которой происходило выделение всей части сота, заполненного пергой, записывали. После остановки ротора сот вынимали из кассеты и взвешивали на весах ВСТ-1200. Массу сота, заполненного пергой, определяли вычитанием из массы сота до испытания массу сота после испытания.

После был проведен опыт по определению совместного влияния массы сота, заполненного пергой, и его температуры на частоту вращения ротора. В ходе поисковых исследований были выявлены уровни варьирования факторов (таб. 4.3).

Таблица 4.3 – Факторы и уровни их варьирования

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Массы сота заполненного пергой $m_{ВПМ}$, грамм	Температура сота $t_{сот}$, °C
Верхний уровень (+1)	600	42
Основной уровень (0)	450	20
Нижний уровень (-1)	300	- 2
Интервал варьирования	150	22

Численные значения экспериментальных данных приведены в приложении В.

4.2.2. Результаты исследования влияния частоты вращения ротора выделителя на процент выхода из сота воскоперговой массы

Для исследования влияния частоты вращения ротора выделителя на процент выхода из сота воскоперговой массы использовали соты с начальной влажностью перги 14,2-15,4 %. Числовые значения полученных результатов приведены в приложении В.

Зависимость выхода воскоперговой массы из сота в процентах от частоты вращения ротора выделителя при различной температуре сота представлена на рисунке 4.13.

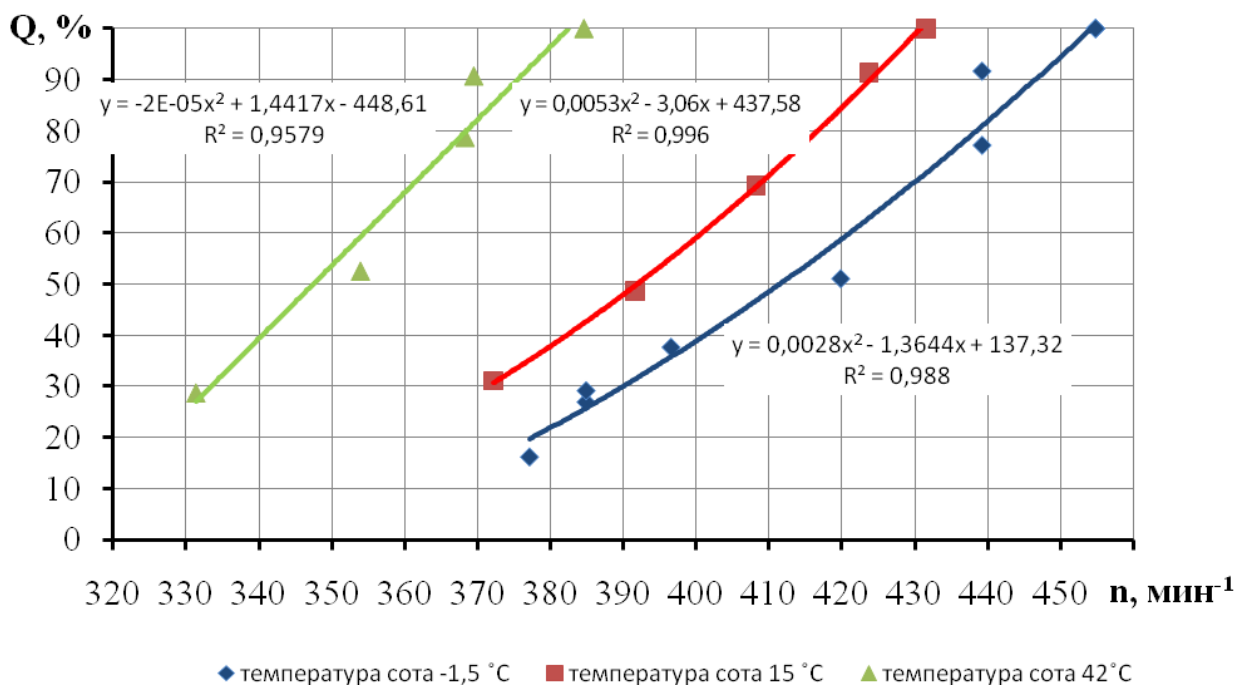


Рисунок 4.13 – Зависимость выхода воскоперговой массы из сота в процентах от частоты вращения ротора выделителя при различной температуре сота

Анализируя зависимости (рис. 4.13) можно отметить, что при температуре сота 42 °C для выделения воскоперговой массы требуется наименьшая частота вращения ротора 385 мин⁻¹. При понижении температуры сота у воскоперговой массы повышается прочность и

хрупкость. Так при понижении температуры сота от 42 до 15 °С (в 2,8 раза) частота вращения ротора установки повышается с 385 до 430 мин⁻¹ (в 1,1 раза). При температуре -1,5 °С частота составляет 455 мин⁻¹. При этом у сотов с температурой 15 и -1,5 °С наблюдается отрыв воскоперговой массы сота вместе с проволокой. В принципе из сота с любой температурой нагрева можно выделить воскоперговую массу.

Таким образом, наиболее рационально вести выделение воскоперговой массы из сота сразу после сушки при его температуре 40-42°С и частоте вращения ротора выделителя 380...390 мин⁻¹[91].

4.2.3. Результаты исследования влияния количества воскоперговой массы в соте на кинематический режим её выделения из сота

Для исследования кинематического режима процесса центробежного выделения воскоперговой массы из сота использовались пчелиные соты с начальной влажностью перги 14,2-14,7 %. Зависимость влияния массы сота, заполненного пергой, и его температуры на частоту вращения ротора, требующуюся для отделения воскоперговой массы, представлена на рисунке 4.14.

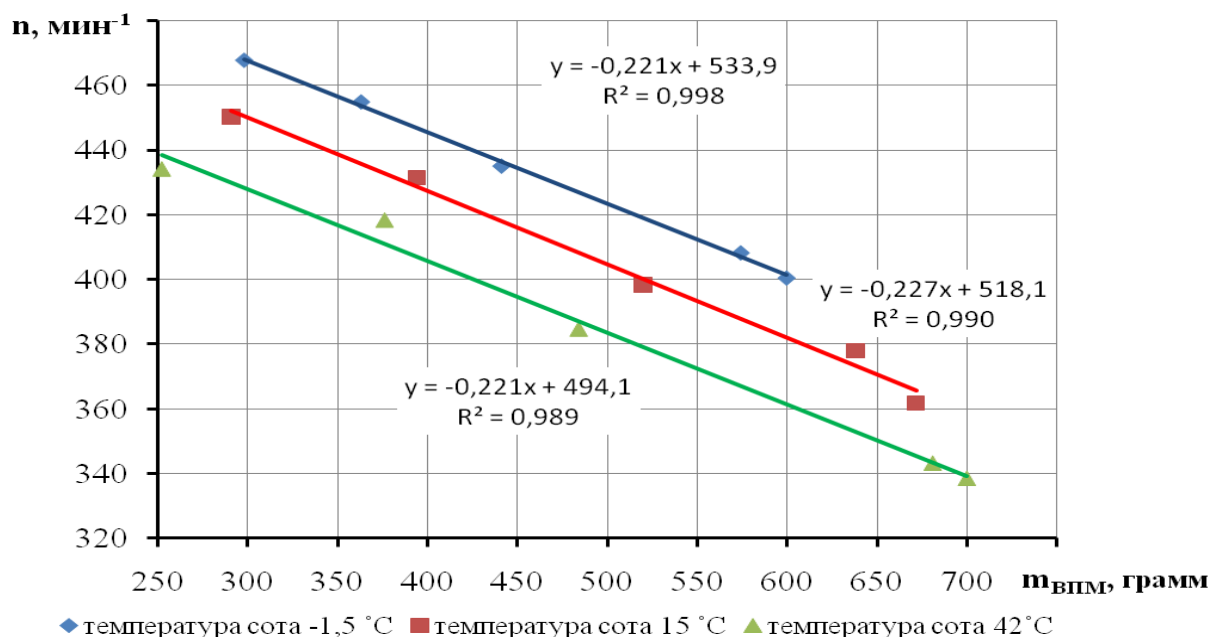


Рисунок 4.14 – Зависимость влияния массы сота заполненного пергой и его температуры на частоту вращения ротора

Из рисунка 4.14 видно, что при понижении температуры сотов для полного отделения воскоперговой массы необходимо повысить частоту вращения ротора установки. Так для сотов с воскоперговой массы в 500 грамм при понижении их температуры с 42°С до -1,5°С необходимо для полного отделения воскоперговой массы увеличить частоту вращения ротора с 383,6 до 423,4 мин⁻¹.

Так же из зависимости видно, что при увеличении массы перги в соте требуемая частота вращения ротора будет уменьшаться. При увеличении воскоперговой массы сота с 0,25 до 0,7 кг при её температуре 42°С требуемая частота вращения ротора установки снижается с 439 до 339 мин⁻¹ [91].

В результате исследований и обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии частоты вращения ротора $n_{\text{выд}}$ от массы сота заполненного пергой $m_{\text{ВПМ}}$ и его температуры $t_{\text{сот}}$ (рис. 4.15)

$$n_{\text{выд}} = 529,36 - 0,2094 \cdot m_{\text{ВПМ}} - 1,1263 \cdot t_{\text{сот}} - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot m_{\text{ВПМ}}^2 + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot m_{\text{ВПМ}} \cdot t_{\text{сот}} + 0,0056 \cdot t_{\text{сот}}^2, \quad (4.5)$$

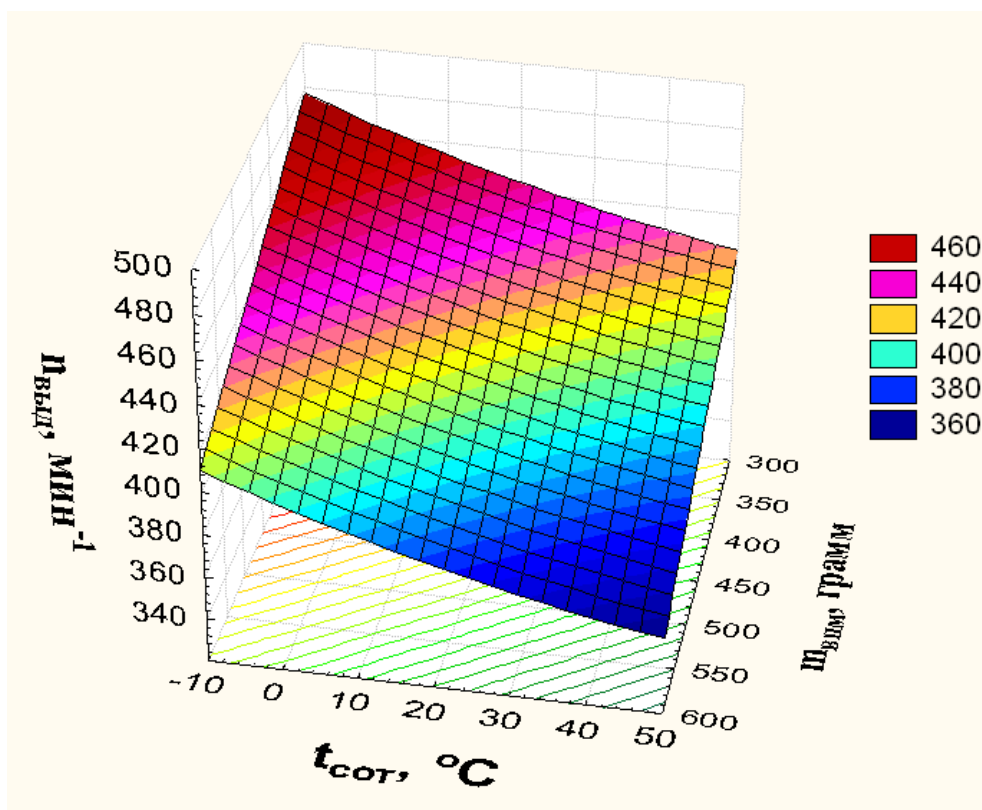


Рисунок 4.15 – Зависимость изменения частоты вращения ротора от массы сота, заполненного пергой, и его температуры

Анализ зависимости (рис. 4.15) показал, что с увеличением температуры сота требуемая частота вращения ротора снижается. Это связано с тем, что при увеличении температуры от -2 до $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ восковая основа сота переходит из твердого состояния в пластичное, при котором усилия на её деформацию и резание уменьшаются. Это приводит к уменьшению требуемой частоты вращения ротора выделителя. Таким образом, для центробежного выделения воскоперговой массы сотов сразу после сушки перги, то есть с температурой $40...42\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточной частотой вращения ротора является примерно 400 мин^{-1} .

4.3. Экспериментальные исследования процесса охлаждения воскоперговой массы сотов в лабораторных условиях

Охлаждение воскоперговой массы проводят для придания прочности гранулам перги и хрупкости восковой основе сота перед её измельчением. Существует много способов извлечения перги, в которых авторы предлагают разное время выдержки и температуру охлаждения воскоперговой массы [5, 184].

Поэтому нами были проведены исследования процесса охлаждения воскоперговой массы для выявления рационального режима. В ходе поисковых опытов по измельчению пчелиных сотов было установлено, что при прочности на сжатие в 40 кПа гранулы перги имеют достаточную прочность для восприятия ударных воздействий штифтов измельчителя без их разрушения [148].

Исследования проводились с целью выявления влияния влажности перги и температуры на время выдержки воскоперговой массы при охлаждении сотов. Основное условие - достижение прочности гранул перги на сжатие 40 кПа при 10% деформации [133].

Так как теплоемкость воска в два и более раза меньше, чем у перги, то сначала происходит охлаждение восковой основы сота, а затем начинает охлаждаться в ней перга [143].

Для проведения исследования из сотов выделялись куски заполненные пергой размером 60×60 мм. По методике, описанной в пункте 2.1.1, определяли влажность перги. Затем их помещали в термокамеру, в которой установлена требуемая температура охлаждения. После этого через каждые 10 минут отбирались пробы гранул перги и производилось определение их прочности на сжатие в поперечном направлении до 10% деформации по методике, приведенной в пункте 2.1. Результаты исследований представлены в приложении Г. В результате статистической обработки экспериментальных данных было установлено, что полученные значения описываются уравнением [133, 197]

$$t_{\text{выд}} = -277,4073 - 1,9408 \cdot T_{\text{охл}} + 31,6739 \cdot W + 0,0014 \cdot T_{\text{охл}}^2 + \\ + 0,1799 \cdot T_{\text{охл}} \cdot W - 0,657 \cdot W^2, \text{ мин.}, \quad (4.6)$$

где $T_{\text{охл}}$ – температура среды охлаждения (0 ... -20 °C);

W – влажность гранул перги в соте (14...24%).

Данное уравнение позволяет определять рациональное время охлаждения воскоперговой массы сотов, при котором восковая основа сотов станет хрупкой, а гранулы перги в соте приобретут достаточную прочность на сжатие 40 кПа.

Использование полученной зависимости позволит переработчику пчелиных сотов оперативно определить время экспозиции охлаждения воскоперговой массы сотов при наименьших затратах энергии и времени на охлаждение, повысить производительность линии производства перги.

Например, при температуре охлаждения -18°C и влажности перги 20% необходимая прочность в 40 кПа гранул перги достигается через 63,9 минуты, что практически в 3-4 раза меньше, чем по известному способу (патент РФ № 2326531, А01К 59/00, заявл. 19.12.2006, опубл. 20.06.2008.Бюл. №17)[184].

4.4. Экспериментальные исследования измельчителя воскоперговой массы пчелиных сотов

4.4.1. Программа и методика исследований

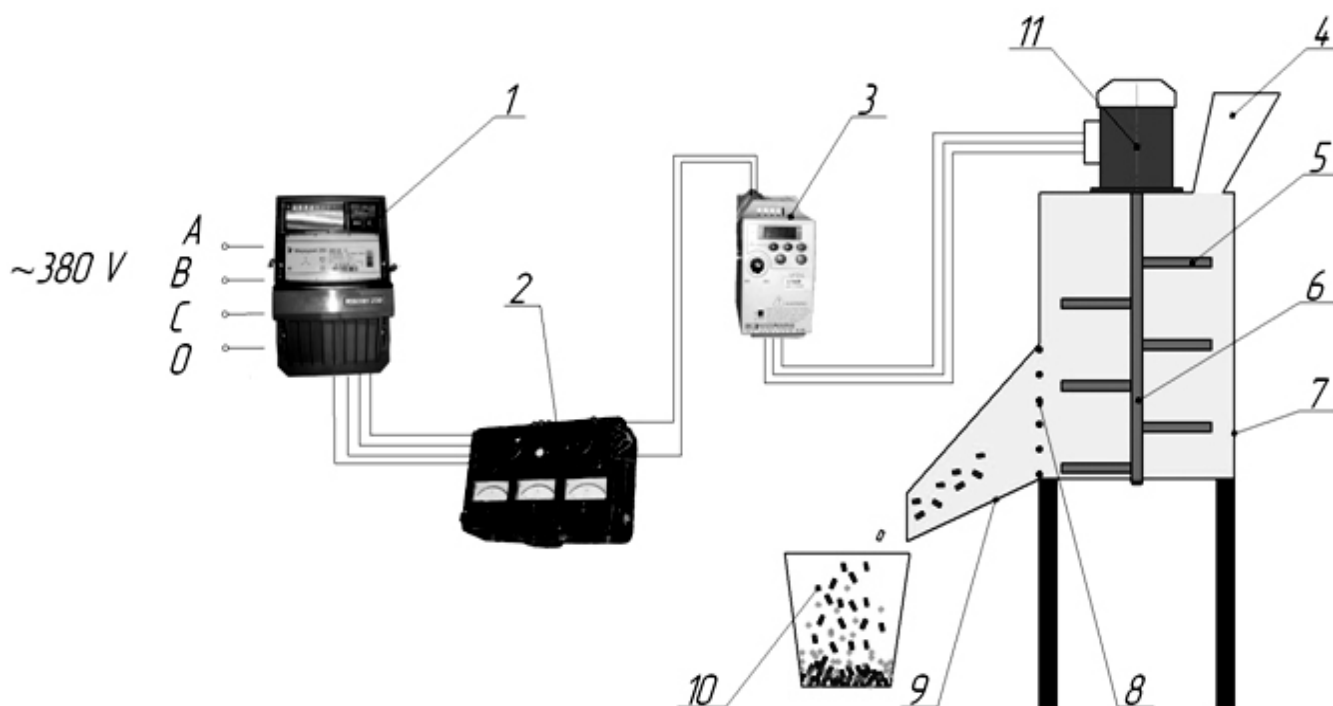
Для выявления и уточнения рациональных конструктивно-режимных параметров измельчителя воскоперговой массы сотов были проведены лабораторные исследования.

Программа лабораторных исследований процесса измельчения воскоперговой массы пчелиных сотов в вертикальном штифтовом измельчителе включает:

- определение массового выхода фракций куска пчелиного сота после удара штифта от его окружной скорости вращения;
- определение влияния размера штифтов измельчителя и их количества на качество излеченных гранул перги;
- определение влияния угловой скорости вращения штифтового вала на качество излеченных гранул перги;
- определение влияния конструктивных параметров выгрузной решетки штифтового измельчителя на качество излеченных гранул перги.

В проведении лабораторных исследований автору оказывал помощь Буренин К.В. Результаты лабораторных исследований отражены в совместных работах [93, 95, 135, 150]. При разработке методики экспериментальных исследований использовались данные Н.В. Бышова, Д.Е. Каширина, ими обоснованы расстояния между штифтами вертикального измельчителя [27, 29]. Обоснованные ими значения были взяты за основу проводимых нами экспериментальных исследований.

С целью выполнения программы исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка для измельчения охлажденных кусков воскоперговой массы пчелиных сотов, схема которой представлена на рисунке 4.16.



1 – счетчик электрической энергии «Меркурий 230»; 2 – измерительный комплекс К-50; 3 – асинхронный преобразователь частоты; 4 – загрузочный бункер; 5 – штифт; 6 – вал; 7 – рабочая камера; 8 – решетка выгрузного окна; 9 – выгрузной лоток; 10 – емкость; 11 – двигатель.

Рисунок 4.16 – Схема лабораторной установки для исследования процесса разрушения воскоперговой массы пчелиных сотов

Она состоит из счетчика электрической энергии «Меркурий 230» 1, измерительного комплекса К-50 2, асинхронный преобразователь частоты (модель VFD 007L 21B) 3, двигателя 11, загрузочного бункера 4, рабочей камеры 7, в которой расположен вертикальный вал 6 с радиально установленными штифтами 5, решетки выгрузного окна 8, выгрузного лотка 9 и емкости 10, для сбора продуктов измельчения. Диаметр рабочей камеры установки 200 мм. Вал установки оснащен штифтами длиной 95 мм[135].

Установка работает следующим образом. При нажатии на кнопку «пуск» асинхронного преобразователя частоты 3 включается в работу электродвигатель 11, который раскручивает вал 6 со штифтами 5 внутри рабочей камеры установки 7. Охлажденные куски воскоперговой массы

пчелиных сотов подают через загрузочный бункер 4 в рабочую камеру 7 цилиндрической формы, где они под ударным действием штифтов 5 измельчаются.

Нижние штифты измельчителя подают продукты измельчения на решетку выгрузного окна 8. Извлеченные из ячеек сотов гранулы перги и разрушенная восковая основа проходит через решетку 8 и по выгрузному лотку 9 сыпается в емкость 10.

Общий вид установки для измельчения воскоперговой массы пчелиных сотов представлен на рисунке 4.17.



1 – счетчик электрической энергии «Меркурий 230»; 2 – измерительный комплекс К-50; 3 – асинхронный преобразователь частоты; 4 – асинхронный двигатель; 5 – загрузочный бункер; 6 – рабочая камера; 7 – выгрузной лоток; 8 – емкость; 9 – решетка выгрузного окна.

Рисунок 4.17 – Общий вид установки для исследования процесса разрушения воскоперговой массы пчелиных сотов

Необходимая частота вращения вала ротора устанавливалась и поддерживалась при помощи преобразователя частоты VFD 007L 21B.

Тарировка преобразователя частоты осуществлялась с помощью тахометра Актаком АТЕ– 6008.

Для определения массового выхода фракций из куска пчелиного сота после однократного воздействия штифта использовались куски массой 0,05 кг (размер 70×60×24 мм) и с влажностью перги в соте 14,4%. Для проведения эксперимента с рабочего вала лабораторной установки снимались штифты, кроме третьего. Расстояние от штифта до дна рабочей камеры составило 70 мм. Также выход из камеры измельчения закрывался заслонкой. Исследования проводились в диапазоне частоты вращения штифтового вала 250...1750 мин⁻¹ с интервалом 250 мин⁻¹. После установившейся необходимой частоты вращения штифтового вала в камеру измельчения подавали охлажденный кусок воскоперговой массы пчелиного сота. На расстоянии приблизительно 50 мм от плоскости вращения штифта он сбрасывался в зону его вращения. После взаимодействия штифта с куском воскоперговой массы сота, он разрушался, и продукты измельчения опускались на дно камеры измельчения. После остановки штифтового вала продукты измельчения извлекались из камеры измельчения лабораторной установки через выгрузное окно[95]. Продукты измельчения куска воскоперговой массы разделялись на фракции на наборе сит с диаметром отверстий 7 и 5 мм. На сите с диаметром отверстий 7 мм оставались куски воскоперговой массы сота, а на сите с диаметром отверстий 5 мм оставались отделенные от восковой основы гранулы перги и крупные восковые частицы средостения. Всё что прошло через сито с диаметром отверстий 5 мм представляло собой мелкие восковые частицы восковой основы сота, а также разрушенные гранулы перги [150]. После разделения фракции взвешивались на технических весах ВЛКТ-500 и определялся массовый выход фракций по формуле

$$\mu = \frac{m_{\phi}}{m_{\kappa}} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

где m_{ϕ} – масса фракции, г;

m_{κ} – масса куска сота перед измельчением, г.

После изменения частоты вращения вала опыт повторялся заново с новым куском.

В качестве показателя оптимизации было выбрано количество целых гранул перги на выходе из измельчителя и количество неотделенной восковой основы сотов с их поверхности.

Для исследования влияния конструктивных параметров штифтового измельчителя на качество извлекаемой перги брались куски пчелиных сотов общей массой 200 г. Охлажденные куски сотов подавались в загрузочную горловину установки. На выходе измельчителя получали воскоперговую смесь, из которой выделяли пергу при помощи пневмосепаратора (рис. 2.9). Затем выделенную пергу взвешивали на весах ВЛКТ-500. С помощью набора сит её классифицировали на фракции. Частицы перги, прошедшие через сито с диаметром отверстий 3 мм, считали крошкой. Количество целых гранул определялось по формуле

$$K_{гр\ перги} = 100 - \frac{M_K \cdot 100\%}{M_{общ}}, \%, \quad (4.8)$$

где M_K – масса крошки, г;

$M_{общ}$ – общая масса перги в куске сота, г.

Для определения влияния размера штифтов лабораторной установки на количество извлеченных целых было изготовлено пять комплектов штифтов с диаметром 6, 9, 12, 15 и 18 мм (рис. 4.18). Каждый комплект включал в себя четыре штифта одного диаметра.



Рисунок 4.18 – Штифты измельчителя лабораторной установки

Для определения средней длины гранул перги измеряли длину каждой гранулы на установке описанной в пункте 2.1, а среднее значение длины гранул определяли по формуле

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum l_i}{n}, \quad (4.9)$$

где l_i – длина i -ой гранул в пробе, мм;

n – количество измеренных гранул, шт.

Теоретические исследования показали, что расстояние между прутками решетки должно лежать в пределах 10...15 мм [159]. Для определения зависимости количество выхода целых гранул перги из измельчителя лабораторной установки были изготовлены решетки с диаметром прутка 1,5; 2,1 и 2,7 и размером отверстий 10×10, 12×12 и 14×14 мм (рис. 4.19).

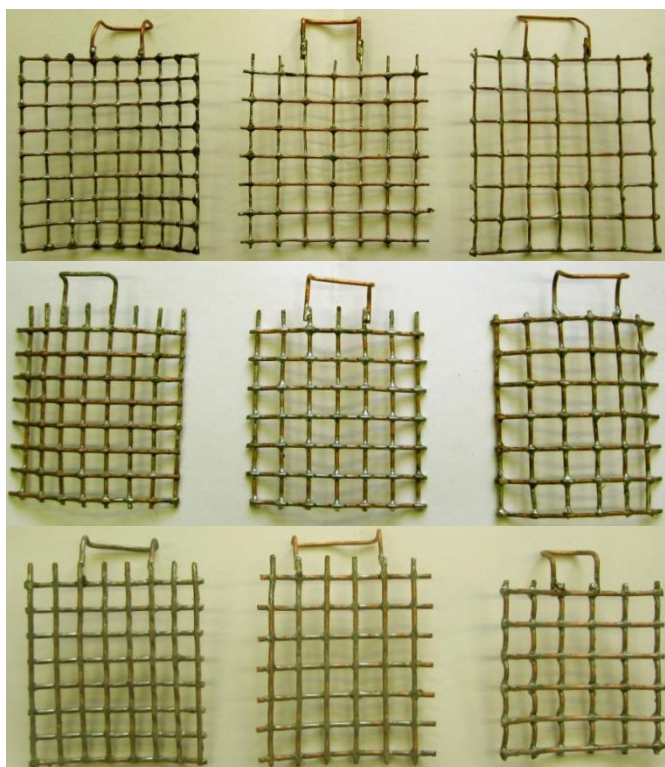


Рисунок 4.19 – Решетки выгрузного окна измельчителя лабораторной установки

Для выявления оптимальных параметров выгрузной решетки измельчителя на качество извлекаемых из сотов гранул перги была проведена серия двухфакторных экспериментов.

В ходе поисковых опытов был установленны значимые факторы, а также уровни и интервалы их варьирования (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Размер отверстия выгрузной решетки измельчителя, $L_{\text{реш.}}$, мм	Диаметра прутка, $d_{\text{пр.}}$, мм
Верхний уровень (+1)	14	2,7
Основной уровень (0)	12	2,1
Нижний уровень (-1)	10	1,5
Интервал варьирования	2	0,6

После выявления рациональных конструктивных параметров решетки выгрузного окна были проведены исследования влияния её площади и угловой скорости вращения штифтового вала на выход целых гранул перги и количество восковой основы сотов на них (табл. 4.5.)

Таблица 4.5 – Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Угловая скорость вращения штифтового вала, $\omega_{\text{изм.}}$, с^{-1}	Площадь решетки, F , см^2
Верхний уровень (+1)	209,34	81
Основной уровень (0)	183,17	54
Нижний уровень (-1)	157	27
Интервал варьирования	26,17	27

Для определения объемной массы воскоперговой смеси полученной после измельчения использовалась пурка ПХ – 1. Методика определения объемной массы описана в пункте 2.1

Результаты исследований представлены в приложении Д.

4.4.2. Результаты исследования влияния окружной скорости штифта на процесс разрушения куска воскоперговой массы сота

По результату экспериментальных данных были построены зависимости, представленные на рисунке 4.20[150].

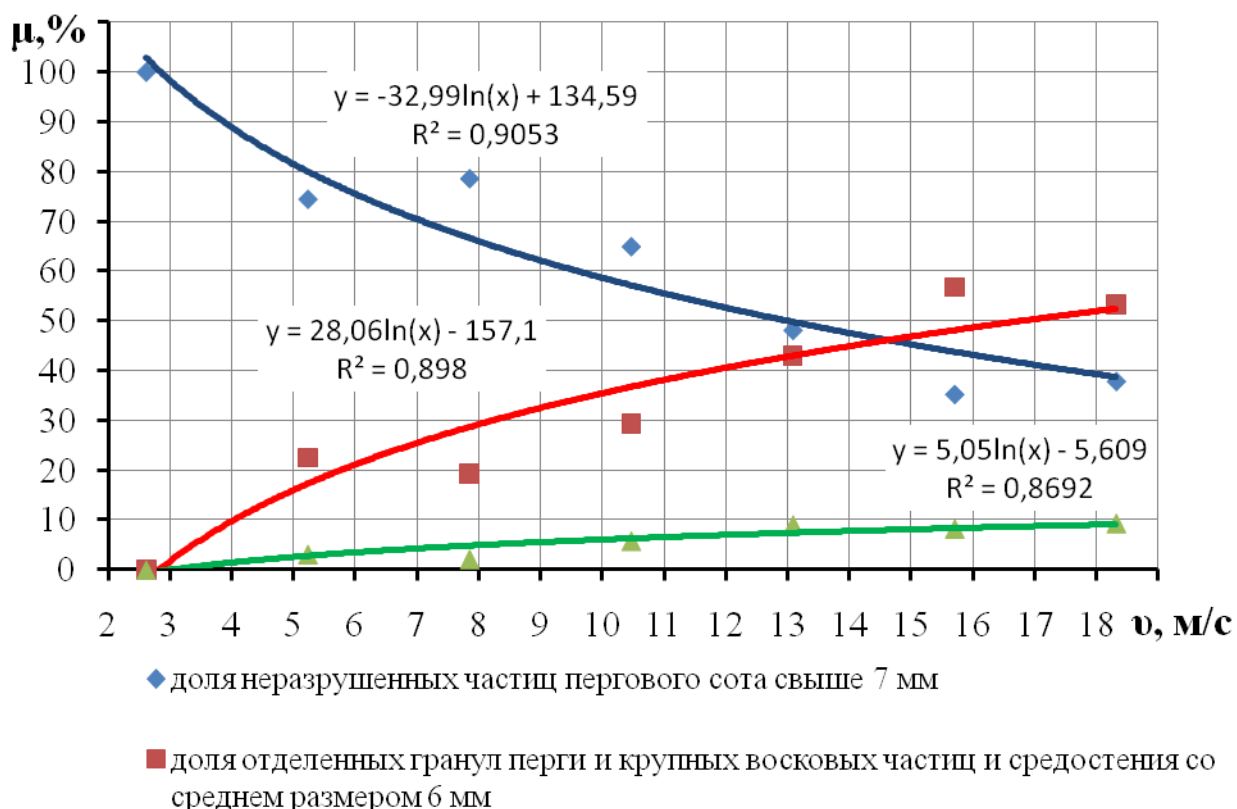


Рисунок 4.20 – Зависимость массового выхода фракций куска пчелиного сота от окружной скорости штифта

Проанализировав полученные зависимости можно сделать следующие выводы. При скорости взаимодействия куска пчелиного сота со штифтом ниже 2,62 м/с он остается целым. При окружной скорости штифта 5,23 м/с происходит незначительное разрушение пчелиного сота. При окружной скорости штифта 10,47 м/с пчелиный сот подвергался более значительному разрушению, при котором разрушалось примерно 30% куска сота. Повышение до 13,08 м/с приводит примерно к 50% разрушению куска пчелиного сота с образованием частиц менее 7 мм. При дальнейшем

увеличении окружной скорости штифта происходило практически линейное снижение массового выхода не разрушенных кусков воскоперговой массы пчелиного сота. Можно полагать, что воскоперговая масса пчелиных сотов будут разрушаться до размеров частиц менее 7 мм полностью при окружной скорости штифтов 14-16 м/с [150].

Дальнейшие исследования проводились с окружной скоростью вращения штифтов измельчителя выше 10, 5 м/с.

4.4.3. Результаты исследования влияния угловой скорости вала измельчителя, окружной скорости штифта, его размера и количества на выход целых гранул перги

Для исследования влияния окружной скорости штифта и его диаметра на выход целых гранул перги использовали соты с влажностью перги 14,6 %. Куски воскоперговой массы сотов охлаждались при температуре 2 °С в течение 60 минут. По результатам исследований построена графическая зависимость (рис. 4.21).

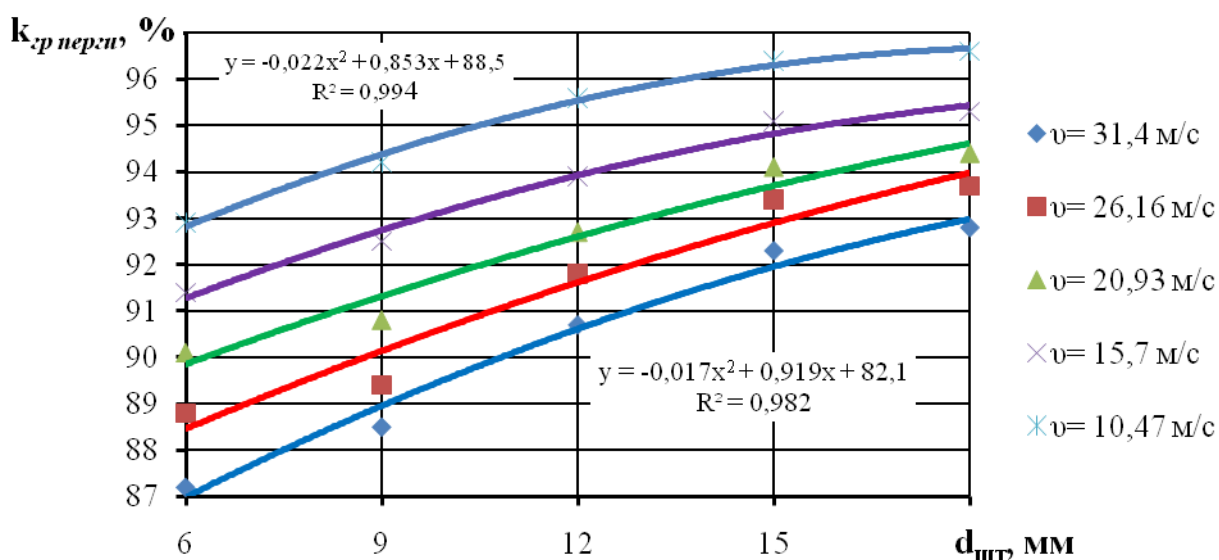


Рисунок 4.21 – Зависимость влияния окружной скорости штифта и его диаметра на выход целых гранул перги

Анализ зависимости (рис. 4.21) показывает, что с увеличением окружной скорости штифта с 10,47 до 31,4 м/с выход целых гранул перги уменьшается, вне зависимости от диаметра применяемых штифтов. Наибольший выход целых гранул перги наблюдается при минимальной окружной скорости штифта 10,47 м/с. Однако анализ фракционного состава извлеченной перги показал, что поверхность полученных гранул плохо отделена от восковых оболочек ячеек сота.

При увеличении окружной скорости штифтов выше 20 м/с наблюдается уменьшение среднего размера извлеченных гранул.

При увеличении диаметра штифтов выход целых гранул перги увеличивается. Наибольшая интенсивность выхода целых гранул перги наблюдается при увеличении диаметра штифтов от 6 до 15 мм, а выход целых гранул увеличивается с 91,4 до 94,9 %. Увеличение диаметра штифтов больше 15 мм не приводит к значительному снижению крошения гранул перги в измельчителе. При окружной скорости вращения штифта 10,47 м/с и его диаметре 15 мм выход целых гранул составляет 96,4%, а при диаметре 18 мм – 96,6%.

Наилучший процесс разрушения воскоперговой массы сотов и отделения гранул перги от восковой основы наблюдался при окружной скорости штифтов от 15,7 до 20,93 м/с. При этих режимах работы штифтового измельчителя крошка представляет собой послойно разделенные на части гранулы перги.

Из анализа зависимостей (рис. 4.21) можно сделать вывод, что для разрушения охлажденных кусков воскоперговой массы сотов целесообразно применять измельчитель с диаметром штифтов 15 мм. Применение штифтов большего диаметра приведет к увеличению энергоемкости процесса извлечения перги без повышения выхода целых гранул. Поэтому дальнейшие исследования конструктивно-режимных параметров штифтового измельчителя проводились с диаметром штифтов 15 мм.

Результаты исследования влияния угловой скорости вала измельчителя на длину гранул перги представлены на рисунке 4.22. Диапазон варьирования угловой скорости вращения вала измельчителя был выбран в результате анализа поисковых опытов.

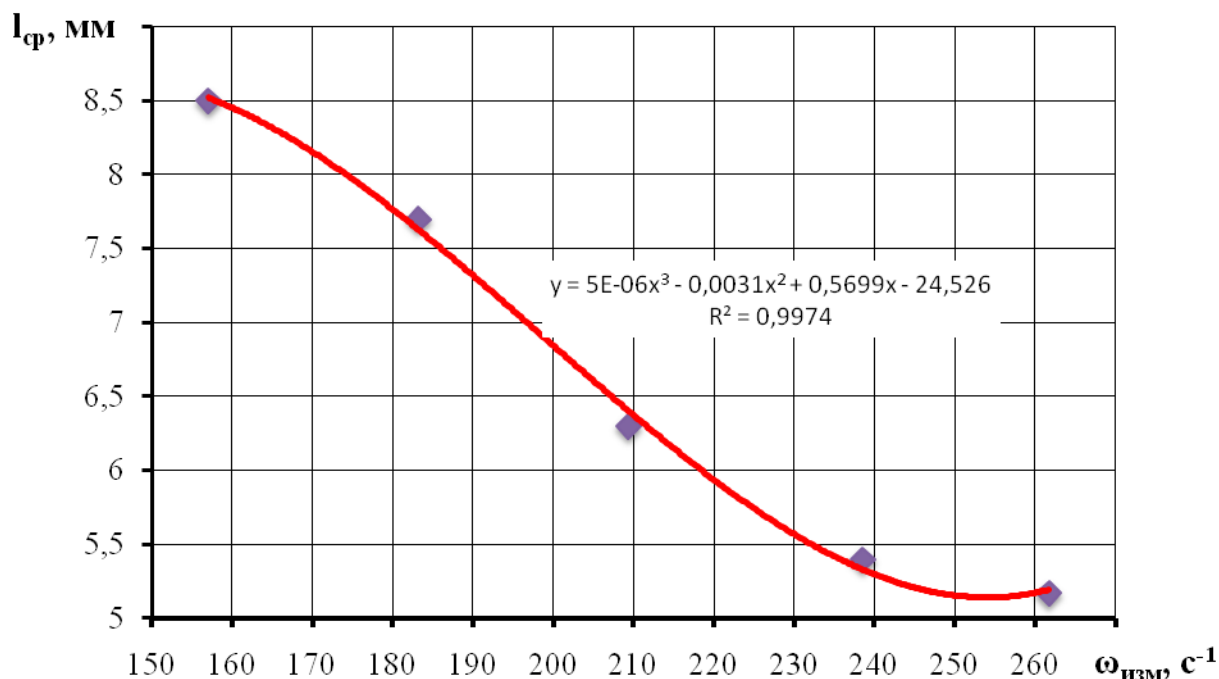


Рисунок 4.22 – Зависимость влияния угловой скорости вала измельчителя на среднюю длину извлеченных гранул перги

Анализ зависимости показал, что с увеличением угловой скорости вала измельчителя с 157 до 162 c^{-1} средняя длина извлеченных из сотов гранул уменьшается с 8,6 до 5,1 мм. Это обусловлено тем, что сила удара штифта о кусок воскоперговой массы и извлеченных из него гранул перги зависит от величины угловой скорости вала измельчителя. Поэтому гранулы перги при определенной ударной нагрузке разрушаются на более мелкие частицы и имеют меньшую длину. Переизмельчение гранул перги происходит при угловой скорости вала измельчителя выше 157 c^{-1} . Поэтому, рациональной угловой скоростью вращения вала измельчителя можно считать 157 c^{-1} .

Результаты исследования влияния количества штифтов, участвующих в измельчении сотов на качество извлекаемых гранул перги, представлены на рисунке 4.23.

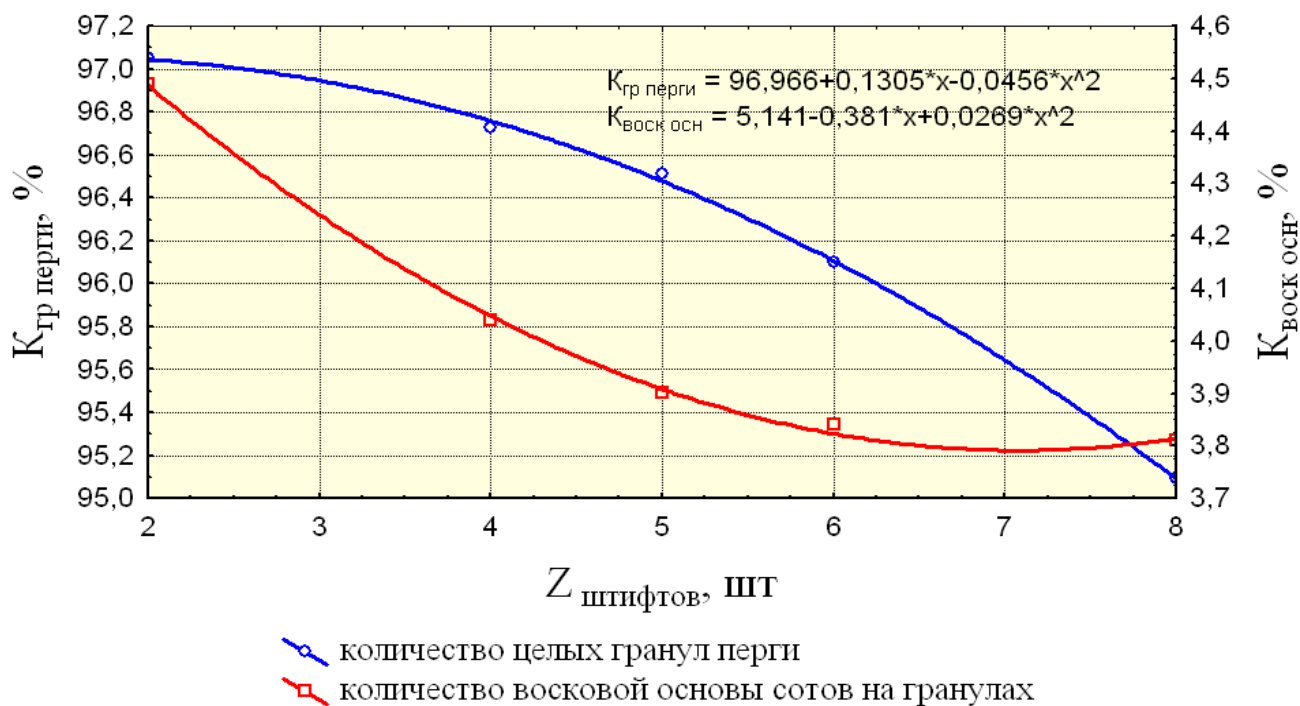


Рисунок 4.23 – Зависимости влияния количества штифтов на выход целых гранул и количества восковой основы на них

Из полученных графических зависимостей (4.23) видно, что при уменьшении числа штифтов участвующих в измельчении сотов с 8 до 2 выход целых гранул перги резко увеличивается с 95,1% до 97,05%. При этом количество содержащейся восковой основы сотов на гранулах тоже увеличивается с 3,81% до 4,49%. Анализируя графические зависимости можно отметить, что увеличение числа штифтов выше 4 штук приводит к интенсивному уменьшению выхода целых гранул и их длины. Это говорит о излишнем взаимодействии штифтов с гранулами перги после разрушения воскоперговой массы сотов. Количество восковой основы сотов на выделенных гранулах перги при использовании 4 штифтов находится в пределах 4,0...4,1 %, что соответствует требованиям ГОСТ 31776-2012. Дальнейшие исследования процесса извлечения гранул перги из воскопеговой массы сотов проводились с четырьмя штифтами диаметром 15 мм.

4.4.4. Результаты исследования влияния угловой скорости вала измельчителя и параметров выгрузной решетки на качество извлекаемых гранул перги

По результатам исследований получены графические зависимости выхода целых гранул перги и количества неотделенной восковой основы на них от угловой скорости вала измельчителя и размера отверстий выгрузной решетки (рис. 4.24 и 4.25).

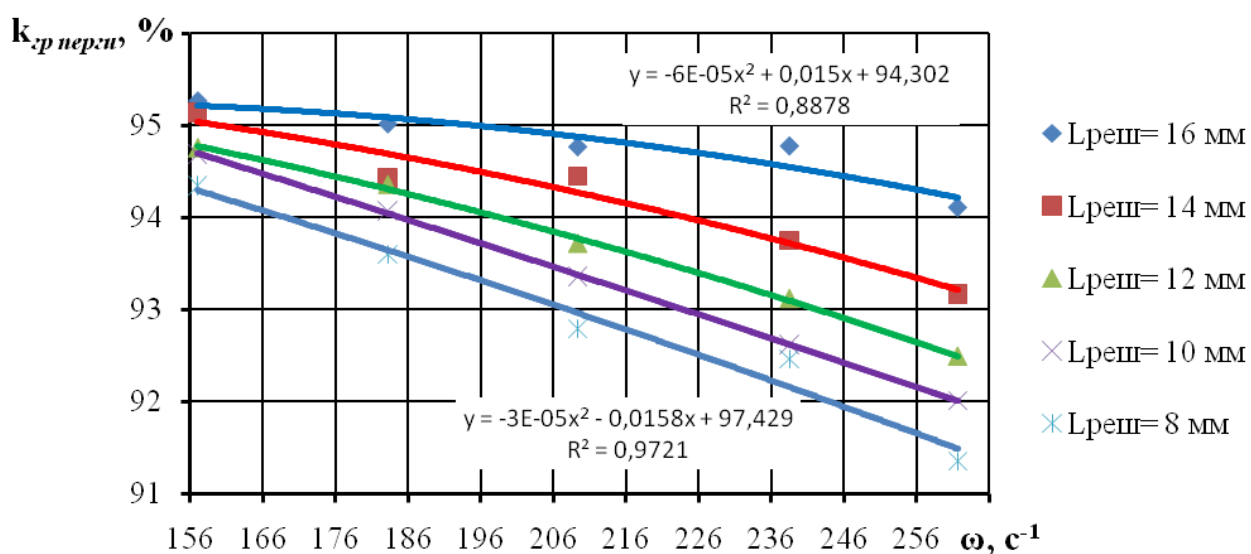


Рисунок 4.24 – Зависимость выхода целых гранул от угловой скорости вала измельчителя

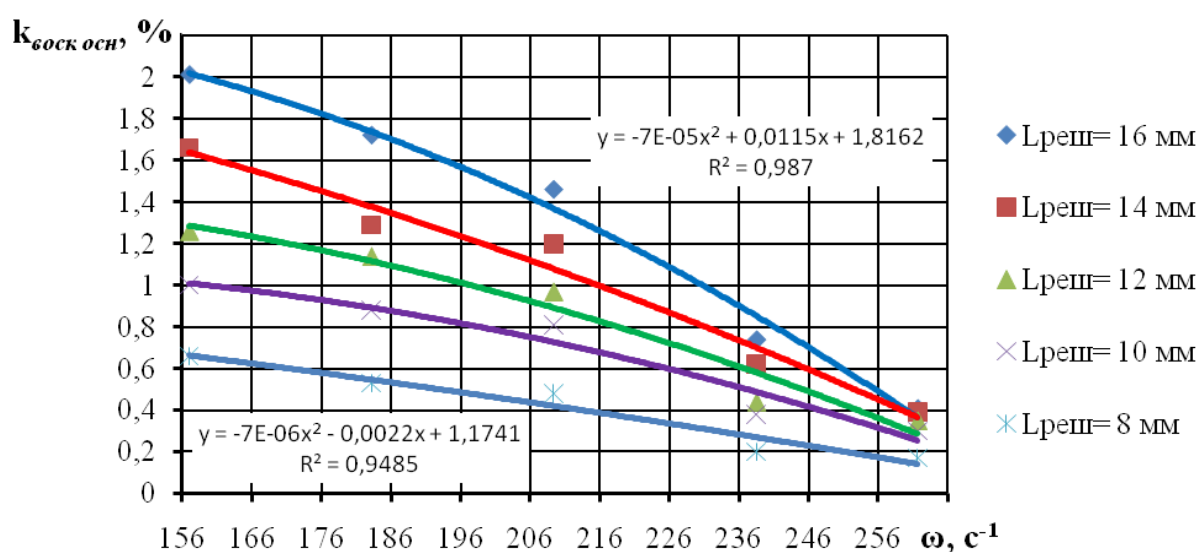


Рисунок 4.25 – Зависимость количества неотделенной восковой основы от угловой скорости вала измельчителя

Анализ зависимостей (рис. 4.24 и 4.25) показал, что при увеличении угловой скорости штифтового вала измельчителя выход целых гранул перги через отверстия выгрузной решетки уменьшается. При угловой скорости штифтового вала измельчителя 260 с^{-1} (рис. 4.24) уравнения регрессии начинают расходиться. Это говорит о том, что живое сечение выгрузной решетки с большим размером отверстий выше, а сопротивление перемещению в них гранул ниже. С увеличением угловой скорости штифтового вала измельчителя с 156 до 260 с^{-1} выхода целых гранул перги через отверстия выгрузной решетки $12 \times 12 \text{ мм}$ уменьшается с $95,1$ до $93,1 \%$, а количество неотделенной восковой основы на гранулах уменьшается с $1,66$ до $0,4 \%$. С уменьшением размера отверстий выгрузной решетки увеличивается время нахождения гранул перги в рабочей камере измельчителя, что способствует уменьшению среднего размера восковой основы сотов и измельчению извлеченных грану.

На процесс прохождения гранул перги через отверстия выгрузной решетки и их качество наибольшее влияние оказывают размер отверстий выгрузной решетки и диаметр её прутков. Угловая скорость вращения вала измельчителя составила 157 с^{-1} , вал измельчителя оснащен четырьмя штифтами диаметром 15 мм . Фактором оптимизации процесса извлечения перги из сотов был выбран выход целых гранул из рабочей камеры лабораторной установки. Влажность перги составляла $14,3 \%$.

При статистической обработке экспериментальных данных была получена математическая модель выхода целых гранул перги $K_{\text{гр перги}}$ от диаметра прутка $d_{\text{реш}}$ и размера отверстий выгрузной решетки измельчителя $L_{\text{реш}}$

$$K_{\text{гр перги}} = 88,8974 + 0,9179 \cdot L_{\text{реш}} + 1,3944 \cdot d_{\text{реш}} - 0,0304 \cdot L_{\text{реш}}^2 - 0,0208 \cdot L_{\text{реш}} \cdot d_{\text{реш}} - 0,1991 \cdot d_{\text{реш}}^2. \quad (4.10)$$

На рисунке 4.26 представлена поверхность отклика полученной математической модели.

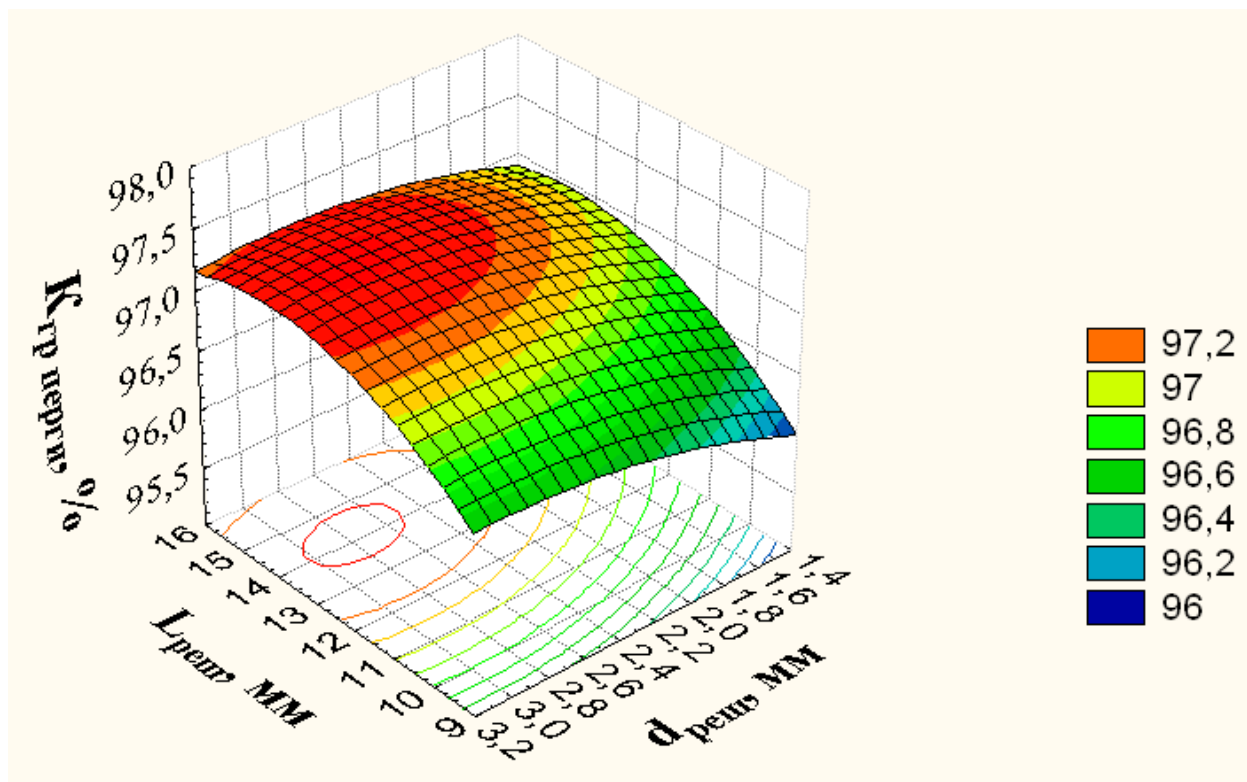


Рисунок 4.26 – Зависимость выхода целых гранул перги от диаметра прутка и размера отверстий выгрузной решетки измельчителя

Анализируя зависимость (рис. 4.26) можно отметить, что с увеличением диаметра прутка решетки увеличивается количество целых гранул на выходе измельчителя. Это связано с увеличением пятна контакта гранул с боковой поверхностью прутков выгрузной решетки, что приводит к снижению разрушающих напряжений в них. При увеличении диаметра прутков выгрузной решетки выше 2,7 мм приводит к снижению целых гранул. Это связано с уменьшением живого сечения выгрузной решетки измельчителя.

Увеличение размера отверстий выгрузной решетки измельчителя приводит к увеличению её живого сечения. При этом процент целых гранул перги на выходе из измельчителя тоже увеличивается и при достижении размера отверстий 14 мм выход целых гранул становится максимальным. Дальнейшее увеличение размера отверстий приводит к выбросу из измельчителя гранул с неотделенной восковой основой и крупных частиц сота, что впоследствии приведет к увеличению в готовой перге примесей и снижению её качества.

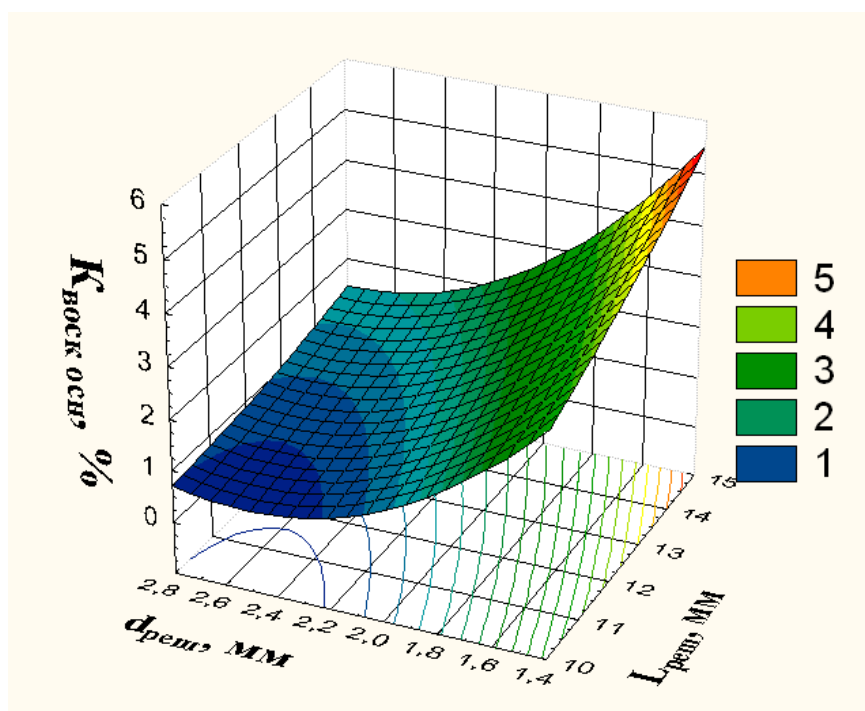


Рисунок 4.27 – Зависимость коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах от размера отверстий выгрузной решетки измельчителя и диаметра её прутков

В результате исследований и обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах $K_{\text{воск осн}}$ от размера отверстий выгрузной решетки измельчителя $L_{\text{реш}}$ и диаметра её прутков $d_{\text{реш}}$

$$K_{\text{воск осн}} = 10,3595 + 0,2299 \cdot L_{\text{реш}} - 9,1097 \cdot d_{\text{реш}} + 0,0198 \cdot L_{\text{реш}}^2 - 0,2073 \cdot L_{\text{реш}} \cdot d_{\text{реш}} + 2,2199 \cdot d_{\text{реш}}^2 \quad (4.17)$$

Поверхность отклика, полученного уравнения регрессии, представлена на рисунке 4.27.

Увеличение размера отверстий выгрузной решетки измельчителя от 10 до 14 мм приводит к увеличению коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах с 2,86 до 4,42%, при $d_{\text{реш}} = 1,5$ мм. Большее влияние на чистоту отделения гранул от восковой основы сотов оказывает размер поперечного сечения прутка решетки. Из зависимости (рис. 4.27)

видно, что снижение коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах прекращается при диаметре прутка выгрузной решетки 2,5...2,7 мм.

Таки образом, анализ уравнений регрессии (4.16) и (4.17) показал, что для извлечения из сотов наибольшего количества целых гранул перги с минимальным содержанием на них восковой основы сота необходимо, чтобы выгрузная решетка вертикального штифтового измельчителя имела размеры отверстий 14×14 мм, а диаметр прутков, из которых она выполнена, 2,7 мм.

Теоретические расчеты размера отверстий выгрузной решетки измельчителя сотов показали, что при угловой скорости вращения вала измельчителя 157 с^{-1} для свободного прохождения гранул перги через отверстия выгрузной решетки измельчителя расстояние между её прутками должно составлять 14,6 мм. Расхождение между значениями теоретических и лабораторных исследований не превышает 5%.

4.4.5. Результаты исследования влияния угловой скорости вращения вала измельчителя и размера выгрузной решетки на качество извлекаемых гранул перги

Во время опыта размер отверстий выгрузной решетки измельчителя ($L_{\text{реш}}=14 \times 14 \text{ мм}$), диаметр её прутков ($d_{\text{пр}}=2,7 \text{ мм}$), количество ($N=4 \text{ шт.}$) и диаметр ($d=15 \text{ мм}$) штифтов при проведении исследований не изменялись. Массовая доля влаги в гранулах перги составляла 14,1 %.

При статистической обработке экспериментальных данных была получена математическая модель выхода целых гранул перги $K_{\text{гр перги}}$ от площади выгрузной решетки F и угловой скорости вращения вала измельчителя $\omega_{\text{изм}}$

$$K_{\text{гр перги}} = 95,635 + 0,0086 \cdot \omega_{\text{изм}} + 0,0596 \cdot F - 0,0002 \cdot \omega_{\text{изм}}^2 + \\ + 0,0008 \cdot \omega_{\text{изм}} \cdot F - 0,0013 \cdot F^2 . \quad (4.11)$$

На рисунке 4.28 представлена поверхность отклика полученной математической модели.

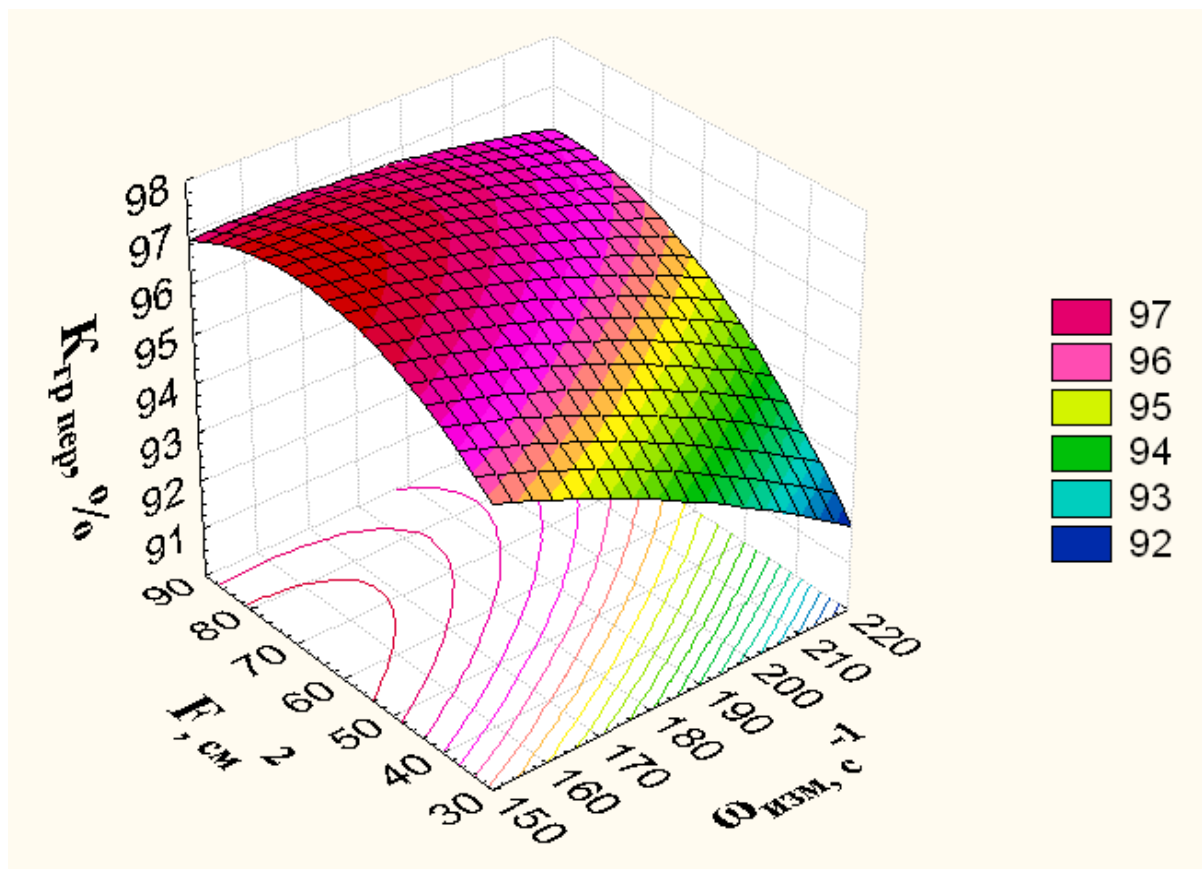


Рисунок 4.28 – Зависимость выхода целых гранул перги от площади выгрузной решетки и угловой скорости вращения вала измельчителя

Анализируя зависимость (рис. 4.26) можно отметить, что с увеличением угловой скорости вращения вала измельчителя уменьшается выход целых гранул перги. С увеличением площади выгрузной решетки происходит увеличение выхода целых гранул до 98,6%. Это связано с уменьшением времени пребывания перги в измельчителе. Увеличение площади выгрузной решетки выше 70 см² не приводит к дальнейшему увеличению выхода целых гранул перги. Поэтому площадь выгрузной решетки, при выбранной угловой скорости вращения вала измельчителя 157 с⁻¹, должна быть не меньше 70 см².

В результате исследований и обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах $K_{\text{воск осн}}$ от площади выгрузной решетки F и угловой скорости вращения вала измельчителя $\omega_{\text{изм}}$

$$K_{\text{воск осн}} = 6,0834 - 0,031 \cdot \omega_{\text{изм}} - 0,0139 \cdot F + 6,0895 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{\text{изм}}^2 + 7,7832 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{\text{изм}} \cdot F + 5,7156 \cdot 10^{-5} \cdot F^2 \quad (4.12)$$

Поверхность отклика, полученного уравнения регрессии, представлена на рисунке 4.29.

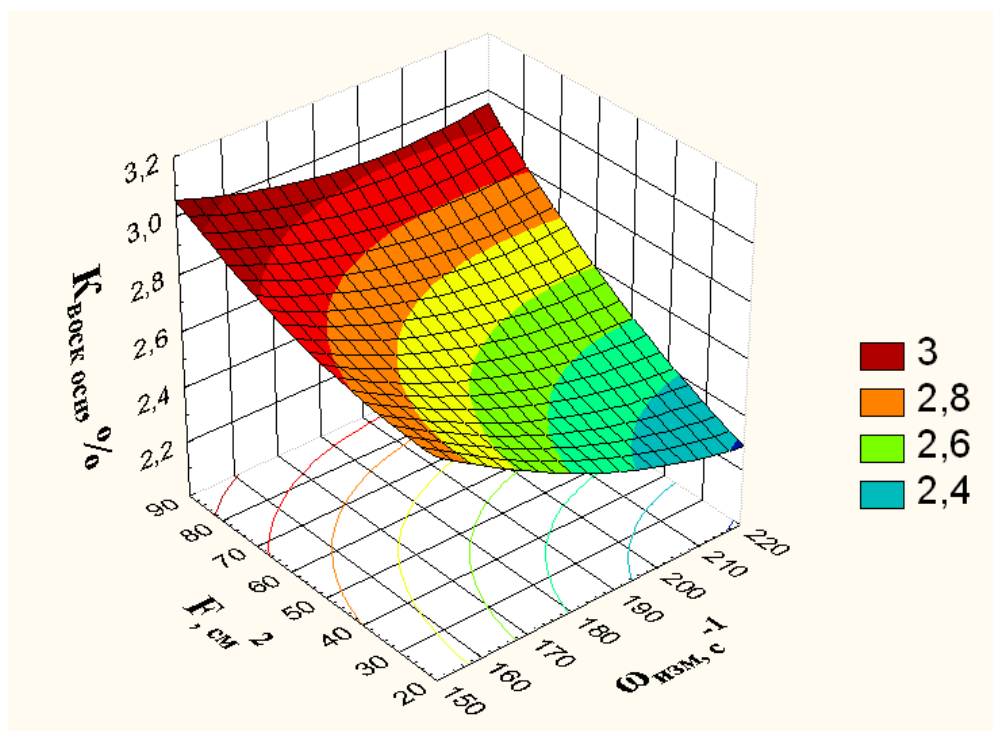


Рисунок 4.29 – Зависимость коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах от площади выгрузной решетки и угловой скорости вращения вала измельчителя

Из зависимости (рис. 4.29) видно, что увеличение площади выгрузной решетки и уменьшение угловой скорости вращения штифтового вала измельчителя приводит к увеличению коэффициента содержания восковой основы сотов на гранулах. Длительное нахождение материала в камере измельчения приводит к его переизмельчению. Таким образом, увеличение площади выгрузной решетки от 70 до 90 см² приводит к ухудшению процесса отделения восковой основы сота от поверхности гранул перги и увеличению коэффициента содержания восковой основы с 2,9% до 3,0 %.

Проведя совместный анализ полученных экспериментальных данных, можно утверждать, что при угловой скорости вращения штифтового вала 157 с⁻¹ и площади выгрузной решетки 70 см² наблюдается наибольший выход целых гранул перги с содержанием восковой основы не более 4%.

4.5. Программа, методика и результаты экспериментального исследования сушки гранул перги

4.5.1. Программа и методика экспериментальных исследований

Процесс сушки заключается в перемещении влаги внутри материала, в переходе ее в парообразную форму и диффузии с поверхности тела в окружающую среду. Переход влаги из внутренних слоев к поверхности происходит непрерывно, вследствие чего влажность уменьшается во всем материале. Таким образом, интенсивность процесса сушки зависит от механизма перемещения влаги внутри тела, энергетики испарения и закономерности перемещения влаги с поверхности в окружающую среду [106].

На интенсивность процесса конвективной сушки перги и её качество значительное влияние оказывают применяемый режим сушки и используемые при этом параметры агента сушки, такие как температура, скорость и относительная влажность.

Поэтому, задачей лабораторных исследований является определение влияния перечисленных факторов на процесс сушки перги.

В соответствии с поставленной задачей программа исследований предусматривает:

- определение влияния угла поворота барабана на изменение поверхностей материала, через которые теплота в сушилке передается ему конвекцией и кондукцией;
- определение влияния скорости движения сушильного агента на скорость конвективной сушки гранул перги;
- определение влияния времени сушки на скорость сушки перги;
- определение влияния угла наклона и частоты вращения барабана на скорость движения гранул перги в барабане.
- определение влияния угла наклона и частоты вращения барабана на пропускную способность сушки;

- определение влияния угла наклона и частоты вращения барабана на удельные затраты энергии.

Для выполнения программы исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка для сушки гранул перги. Функциональная схема лабораторной установки представлена на рисунке 4.30. Лабораторная установка состоит из цилиндрической сушильной камеры 12, вентилятора 6, электрокалорифера 5, загрузочного бункера 10, барабанного дозатора 11, трехфазного счетчика электроэнергии (Меркурий 230 AR-02 С) 1, блока питания 2 с регулятором выходного напряжения, терморегулятора 3, преобразователей частоты 4 и 16, симистора 14, электромагнитного пускателя КМ 1 и измерительного прибора К-50 15.

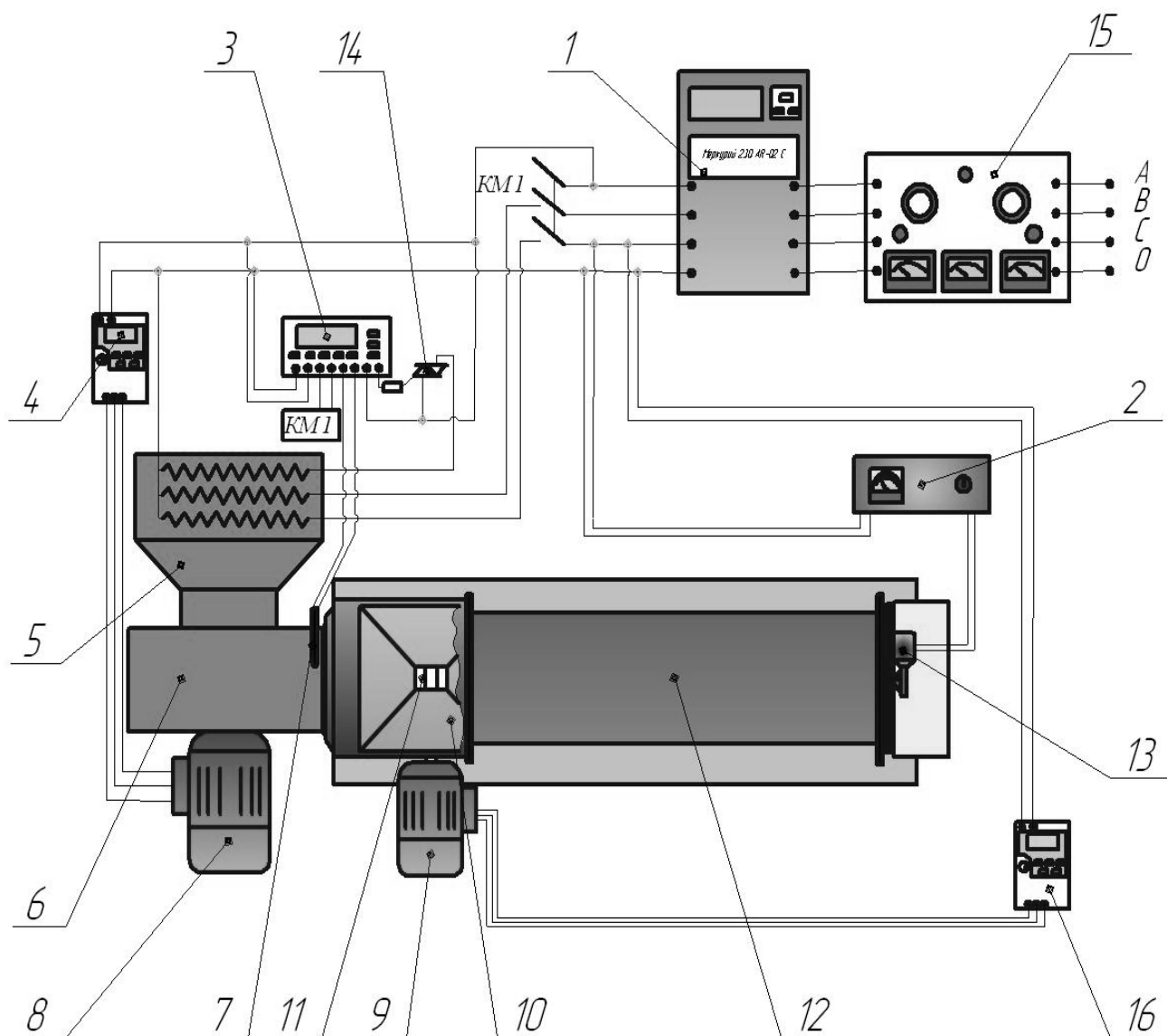
Установка работает следующим образом. От электросети 380 вольт через счетчик электроэнергии 1, измерительный прибор 15 и регулятор частоты 4 включается в работу электродвигатель 8 вентилятора 6[94].

Терморегулятор 3 управляет работой электрокалорифера 5 через электромагнитный пускатель КМ 1 и симистор 14 от той же сети. Электродвигатель 13, запитывающийся от блока питания 2, начинает вращать сушильный барабан. Вентилятор засасывает воздух, который, проходя калорифер, нагревается, и подает его в сушильную камеру 12. После прогрева сушилki включается барабанный дозатор 11. Он дозированно подает гранулы перги из загрузочного бункера 10 в сушильную камеру 12.

Там нагретый воздух омывает гранулы перги, нагревая их. Далее отработанный сушильный агент выбрасывается из сушильной камеры наружу, унося с собой влагу, испаренную с поверхности гранул.

Необходимая скорость воздушного потока устанавливалась при помощи преобразователя частоты VFD 007L 21B 4(тарировка преобразователя частоты осуществлялась с помощью чашечного анемометра МС-13). Температура сушильного агента автоматически поддерживалась на заданном уровне при помощи терморегулятора ТРМ-10 3, электромагнитного

пускателя КМ 1, симистора 14, трех ТЭНов, установленных в электрокалорифере 6 и измерительного датчика 7.



1 – счетчик трехфазного тока; 2 – блок питания с регулятором выходного напряжения; 3 – терморегулятор ТРМ 10; 4 – преобразователь частоты VFD 007L 21B; 5 – электрокалорифер; 6 – вентилятор; 7 – измерительный датчик ТХК; 8 – электродвигатель вентилятора; 9 – электродвигатель привода дозатора; 10 – загрузочный бункер; 11 – барабанный дозатор; 12 – сушильная камера (вращающийся сушильный барабан); 13 – электродвигатель привода сушильного барабана; 14 – симистор TC2-10; 15 – измерительный прибор К-50; 16 – преобразователь частоты VFD 007L 21B; КМ 1 – электромагнитный пускатель.

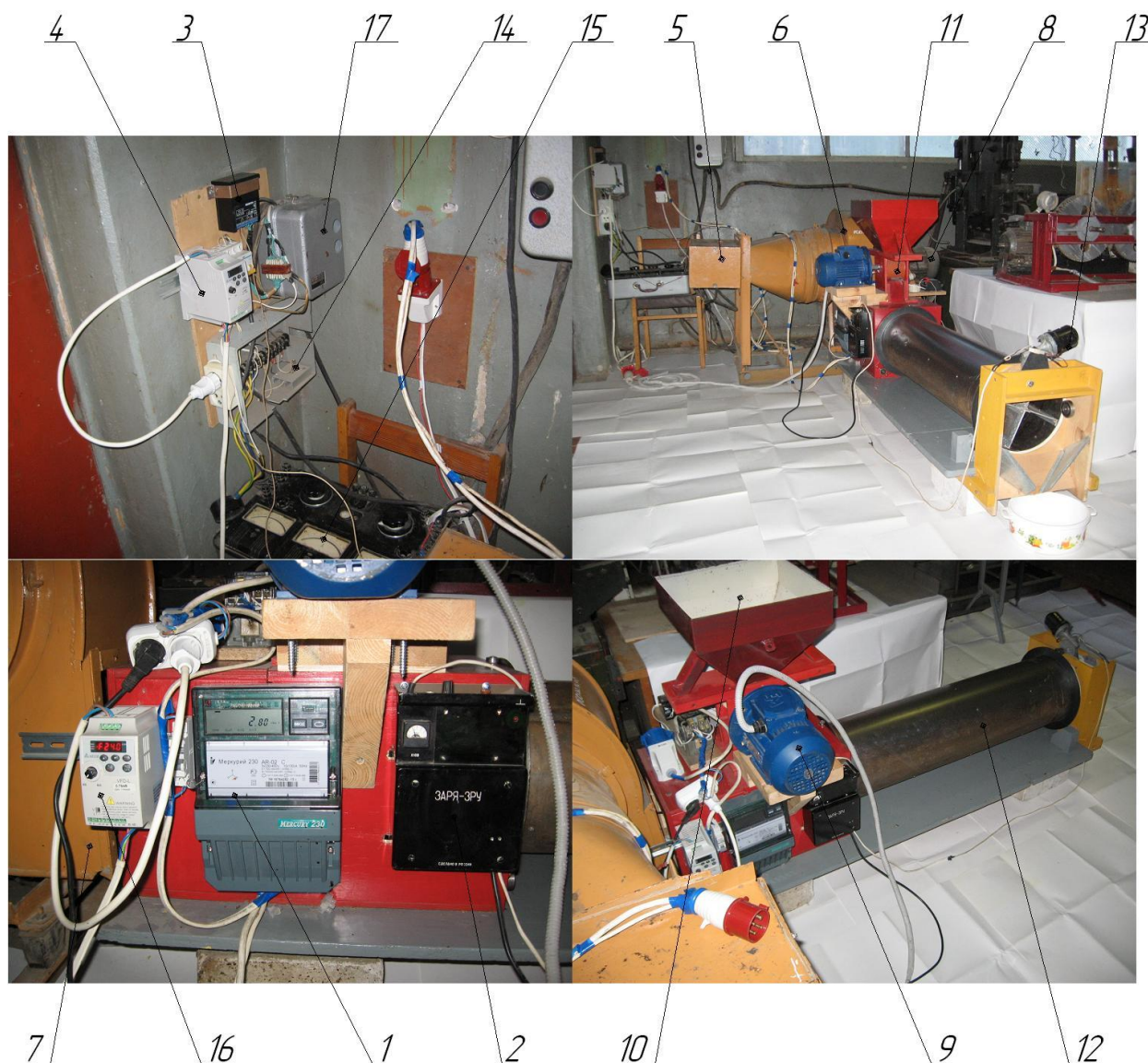
Рисунок 4.30 – Функциональная схема лабораторной установки для сушки гранул перги

Терморегулятор ТРМ-10 включает в себя два логических устройства: ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный) – регулятор и устройство сравнения (корпаратор). Каждое логическое устройство имеет собственные установки и работает независимо друг от друга. К выходному устройству ПИД – регулятора подключен симистор 14, который, в зависимости от сигнала с ПИД – регулятора, ограничивает силу тока в силовой линии ТЭНа, установленного в электрокалорифере 6. К выходному устройству корпаратора подключена втягивающая обмотка электромагнитного пускателя КМ 1[106].

Для создания требуемого температурного режима необходимо установить температурный режим ПИД – регулятора и нижний и верхний температурный предел корпаратора. При этом, если температура сушильного агента в сушильной камере меньше нижнего температурного предела корпаратора, то электромагнитный пускатель КМ 1 включен и его контакты замыкают цепь питания двух ТЭНов электрокалорифера, который начинает нагревать сушильный агент.

Как только температура сушильного агента в сушильной камере превысит верхний температурный предел корпаратора, тот отключает электромагнитный пускатель и его контакты размыкают цепь питания ТЭНов электрокалорифера. При отключении ТЭНов калорифера происходит понижение температуры сушильного агента, ее значение достигает значения нижнего температурного предела корпаратора, после чего ТЭНЫ калорифера снова включаются.

ТЭН, подключенный к симистору и управляемый ПИД – регулятором, необходим для сглаживания температурных колебаний сушильного агента и уменьшения количества включений и выключений электромагнитного пускателя. Контроль температуры сушильного агента осуществлялся с помощью лабораторного термометра ТЛ-2 ГОСТ 215-73 с пределом измерений от 0 до 250 °С. Общий вид установки для сушки гранул перги представлен на рисунке 4.31.



1 – счетчик трехфазного тока; 2 – блок питания с регулятором выходного напряжения; 3 – терморегулятор ТРМ 10; 4 – преобразователь частоты VFD 007L 21B привода вентилятора; 5 – электрокалорифер; 6 – вентилятор; 7 – измерительный датчик ТХК; 8 – электродвигатель вентилятора; 9 – электродвигатель привода дозатора; 10 – загрузочный бункер; 11 – барабанный дозатор; 12 – сушильная камера (вращающийся сушильный барабан); 13 – электродвигатель привода сушильного барабана; 14 – симистор ТС2-10; 15 – измерительный прибор К-50; 16 – преобразователь частоты VFD 007L 21B привода дозатора; 17 – электромагнитный пускатель.

Рисунок 4.31 – Общий вид лабораторной установки для сушки гранул перги

Необходимый угол наклона барабана устанавливался по строительному уровню КАПРО с пределом точности 0,5 мм/м (рис. 4.32). Для того чтобы

выставить барабан с нужным углом наклона необходимо под край строительного уровня, расположенного ближе к выгрузному бункеру барабана, подложить брусок нужной толщины. А затем наклонить стол, на котором закреплена лабораторная установка, таким образом, чтобы индикаторный пузырек, перемещающийся внутри капсулы строительного уровня, был расположен симметрично между двух рисок нарисованных на этой капсуле. Толщину бруска определяли по формуле[106]

$$h_{\text{брус}} = L_{\text{ур}} \cdot \sin \alpha, \quad (4.13)$$

где $L_{\text{ур}}$ – длина основания строительного уровня, мм, $L_{\text{ур}} = 600$ мм.

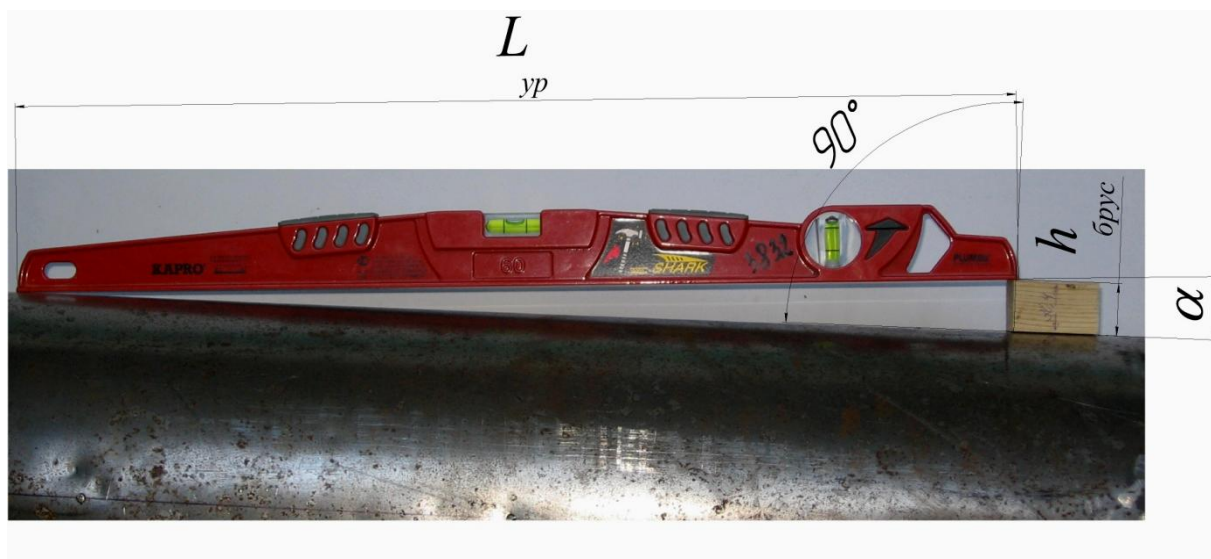


Рисунок 4.32 – Установка угла наклона барабана лабораторной установки

Необходимая частота вращения барабана ($1 \dots 5 \text{ мин}^{-1}$) устанавливалась с помощью переменного резистора установленного в блоке питания 2, который изменял напряжение от 5 до 14 вольт в цепи питания электродвигателя 13, работающего на постоянном токе.

Далее включалась в работу сушильная установка и при помощи лабораторного термометра ТЛ-2 и чашечного анемометра МС-13 выставлялась необходимая температура и скорость агента сушки. После этого в сушильную камеру дозировано подавали пергу. В качестве дозатора перги был использован барабанный дозатор 11. Его производительность

изменялась за счет изменения рабочей длины катушки и частоты вращения приводного электродвигателя 9, при помощи преобразователя частоты 16.

Температура перги на выходе из барабана определялась при помощи микротерморезистора МТ-54М по показаниям цифрового вольтметра марки В7-38.

Как уже было отмечено ранее, наиболее существенное влияние на процесс сушки перги оказывают параметры сушильного агента, такие как температура и скорость.

Для проведения лабораторных исследований процесса сушки устанавливалась максимально возможная температура агента сушки 40-42 °С.

С целью определения зависимости изменения поверхностей материала, через которые теплота в сушилке передавалась ей конвекцией и кондукцией, от угла поворота барабана φ бралась перга с одинаковой начальной влажностью. Сначала включали в работу сушильную установку и полностью заполняли барабан сушилки. После чего помечали одну радиальную перегородку и поворачивали её на определенный угол относительно горизонтали. Затем измеряли поверхности материала находящейся в барабане: омываемые сушильным агентом, соприкасающиеся с сетчатой поверхностью радиальных перегородок и цилиндрической поверхностью барабана.

Для определения влияния скорости движения материала в барабане сушилки бралась перга с влажностью 13,8%. Для визуального контроля процесса движения материала были покрашены три гранулы массой 0,16; 0,22 и 0,28 грамма (рис. 4.33).

Сначала устанавливали нужный наклон и частоту вращения барабана, включали подачу нагретого воздуха. Затем заполняли барабан пергой. После установившегося режима движения гранул перги в барабане в него одновременно подавали все окрашенные гранулы и включали секундомер.



Рисунок 4.33 – Общий вид покрашенных гранул перги

Равномерная загрузка сушилki пергой в течение опыта обеспечивалась барабанным дозатором. При выходе окрашенных гранул из барабана фиксировали их время нахождения в сушилке. Скорость перемещения материала в сушилке определяли по формуле

$$v = \frac{L_6}{t_{\text{ср}}}, \text{ м/ч} \quad (4.14)$$

где L_6 – длина барабана, м,

$t_{\text{ср}}$ – среднее время движения материала в барабане сушилki, ч.

Среднее время движения материала в барабане сушилki рассчитывается как

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum t}{3}, \text{ ч}, \quad (4.15)$$

где $\sum t$ – суммарное время нахождения окрашенных гранул массой 0,16; 0,22 и 0,28 грамма в барабане сушилki, ч.

Среднее значение скорости сушки определялось по формуле (4.1).

Для определения пропускной способности сушилki при установленном наклоне барабана и его частоте вращения производили отбор пробы в

течении 5 минут, после чего пробу взвешивали на весах ВЛКТ-500 и по формуле определяли пропускную способность сушилки

$$П_б = \frac{M_п}{t}, \text{ кг/ч}, \quad (216)$$

где $M_п$ – масса пробы, кг;

t – время отбор пробы, ч.

Диапазоны варьирования факторов выявлялись в ходе анализа априорной информации и поисковых экспериментов [56]. Факторы, уровни и интервалы варьирования эксперимента приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Частота вращения барабана n_b , мин ⁻¹	Угол наклона барабана α , град
Верхний уровень (+1)	3,7	2
Основной уровень (0)	2,7	1
Нижний уровень (-1)	1,7	0
Интервал варьирования	1	1

Для выявления рационального режима работы сушилки гранул перги необходимо знать как угол наклона и частота вращения барабана влияют на изменение удельных затрат энергии на испарение одного килограмма влаги. Факторы, уровни и интервалы варьирования эксперимента приведены в таблице 4.6

Удельные затрат энергии $Q_{уд}$ на испарение одного килограмма влаги определялись по формуле

$$Q_{уд} = \frac{N_{суш}}{S_{влаги}}, \quad (4.17)$$

где $N_{суш}$ – количество энергии израсходованной на сушку перги в опыте, Вт-ч;

$S_{влаги}$ – количество испаренной влаги, кг.

Количество энергии израсходованной на сушку перги определяли по показаниям счетчика электрической энергии Меркурий 230 AR-02 С. Количество испаренной влаги определяли по разнице массы гранул перги до сушки и после неё. Производительность барабанного дозатора, при различных углах и частоте вращения барабана, выставляли таким образом, чтобы коэффициент заполнения барабана был постоянным во всех опытах.

Опыты по определению удельных затрат энергии на испарение одного килограмма влаги проводили с трехкратной повторностью. Результаты эксперимента приведены в приложение Е.

4.5.2. Результаты исследования поверхности насыпи перги, участвующую в теплопередаче

В процессе исследования влияния угла поворота барабана φ на изменение поверхностей материала использовалась перга с начальной влажностью 14,3%. Угол наклона барабана $\alpha=0^\circ$ и коэффициент заполнения барабана $\beta=0,15$. По полученным значениям была построена графическая зависимость изменения поверхностей перги, через которые теплота в сушилке передавалась ей конвекцией и кондукцией, от угла поворота барабана φ , которая представлена на рисунке 4.34.

Из рисунка видно, что графическая зависимость имеет волнообразный характер изменения. Так площадь, через которую теплота в сушилке передается перге конвекцией, изменяется от 0,442 до 0,547 м², а ось колебаний соответствует $S_{\text{перги}}=0,496$ м². Площадь, через которую теплота в сушилке передается перге кондукцией, изменяется от 0,265 до 0,291 м², а ось колебаний соответствует $S_{\text{перги}}=0,28$ м².

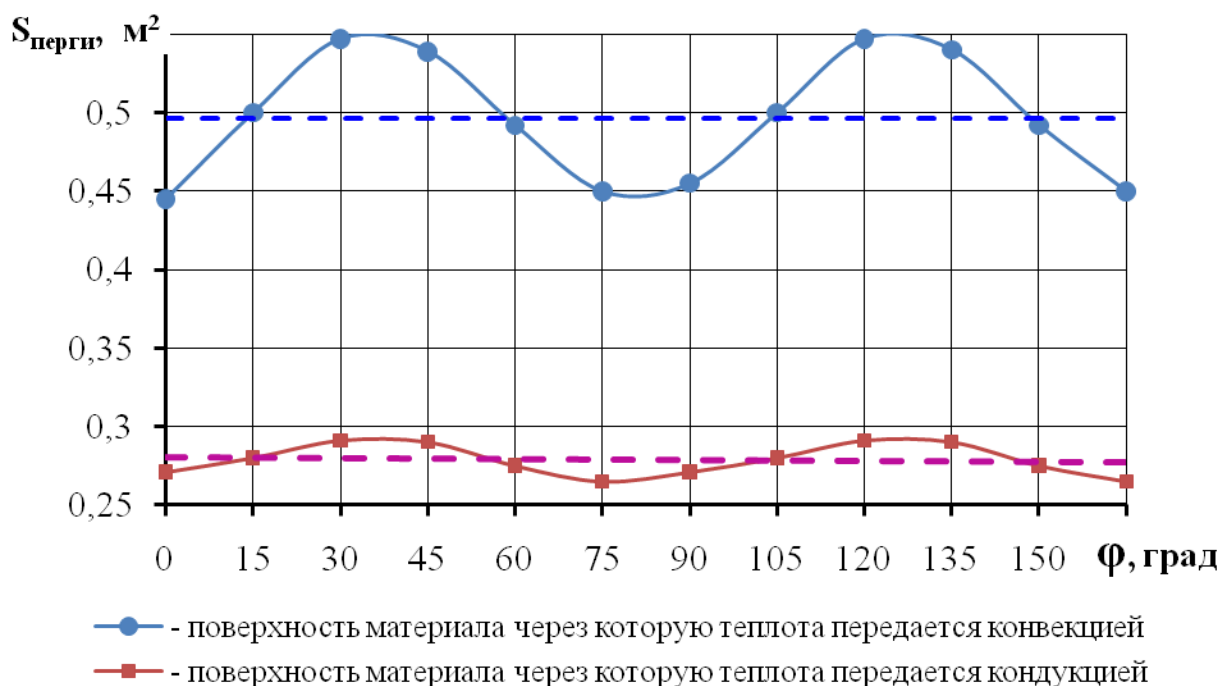


Рисунок 4.34 – Зависимость изменения поверхностей материала, через которые теплота в сушилке передается ему конвекцией и кондукцией от угла поворота барабана φ

Периодичность одного цикла изменения поверхности материала 90 градусов поворота барабана.

Таким образом, в барабанной сушилке теплота необходимая для процесса сушки перги в 1,77 раза больше передается конвекцией, чем кондукцией.

4.5.3. Результаты исследования влияния скорости и времени воздействия теплоагента на скорость сушки гранул перги

В процессе исследования влияния скорости движения сушильного агента на скорость конвективной сушки использовалась перга с начальной влажностью 15,2 %. Для определения зависимости средней скорости сушки перги от скорости движения сушильного агента в барабане сушилки применялся сушильный агент с постоянной температурой равной 41 °С. По

полученным значениям средней скорости сушки была построена зависимость, представленная на рисунке 4.35.

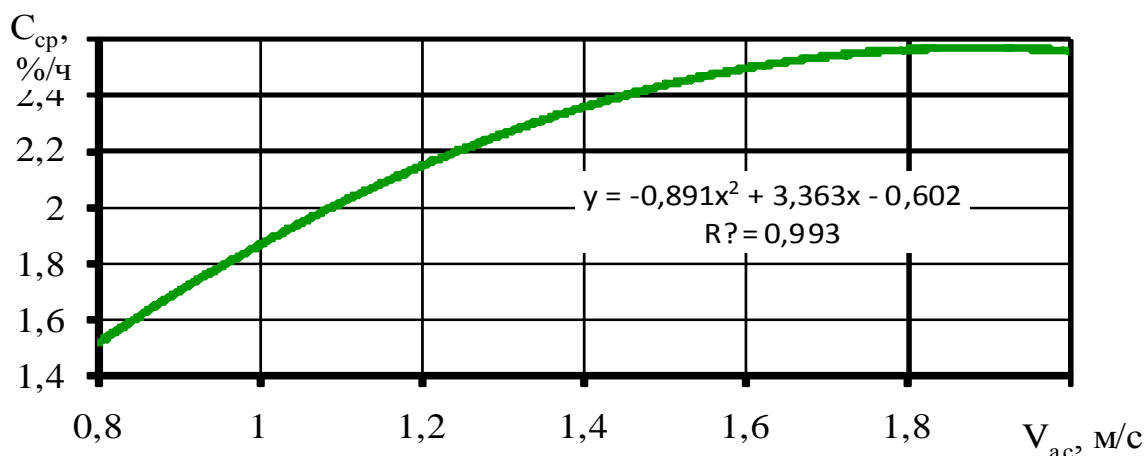


Рисунок 4.35 – Зависимость средней скорости сушки перги от скорости движения сушильного агента

Из представленной зависимости видно, что при увеличении скорости движения сушильного агента от 0,8 до 2,0 м/с происходит увеличение средней скорости сушки перги с 1,52 до 2,56 %/ч. Увеличение скорости движения сушильного агента в барабане сушилki выше 1,7 м/с практически не приводит к значительному увеличению средней скорости сушки перги. Поэтому дальнейшие исследования процесса сушки перги будем вести при скорости движения сушильного агента в барабане сушилki 1,7 м/с.

Для эксперимента бралась перга с начальной влажностью 14,9 %. Скорость воздушного потока в барабане сушилki соответствовала 1,7 м/с, частота вращения барабана 1,7 мин⁻¹, наклон барабана 0°. После обработки экспериментальных данных в программе Statistica 6.0 была получена зависимость изменения влажности перги от времени сушки (рис. 4.36).

Из зависимости 4.36 видно, что в первые 60 минут сушки процесс испарения влаги с гранул перги идет достаточно интенсивно. При достижении влажности перги 13 % процесс сушки замедляется. Это связано с тем, что в первые 60 минут испаряется влага с наружных слоёв гранул

перги, а затем начинается перемещение влаги из внутренних слоев гранул [94].

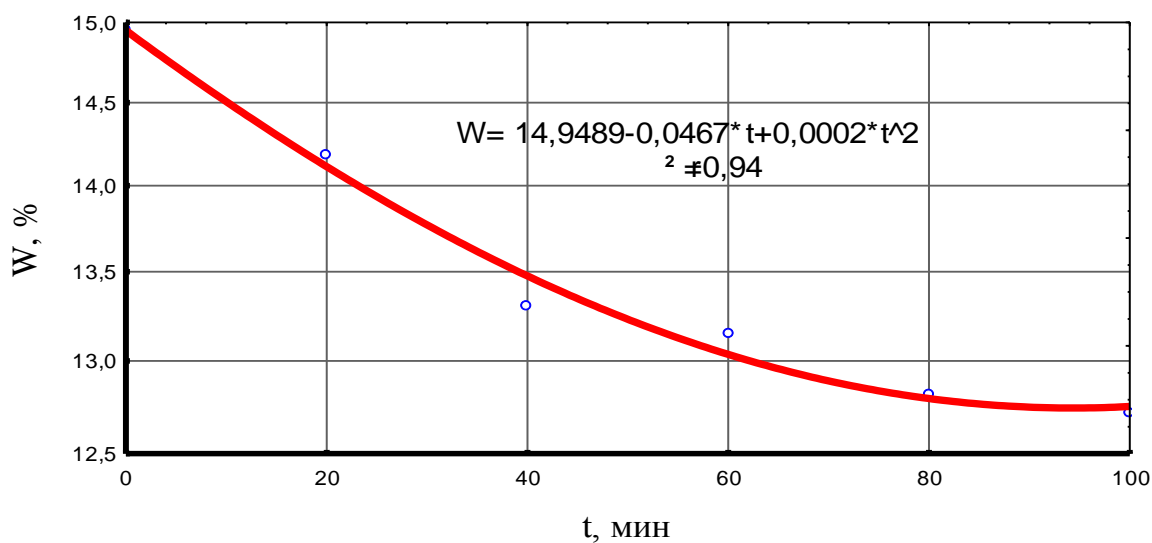


Рисунок 4.36 – Зависимость изменения влажности перги от времени сушки

На рисунке 4.37 представлена зависимость изменения скорости сушки перги от времени.

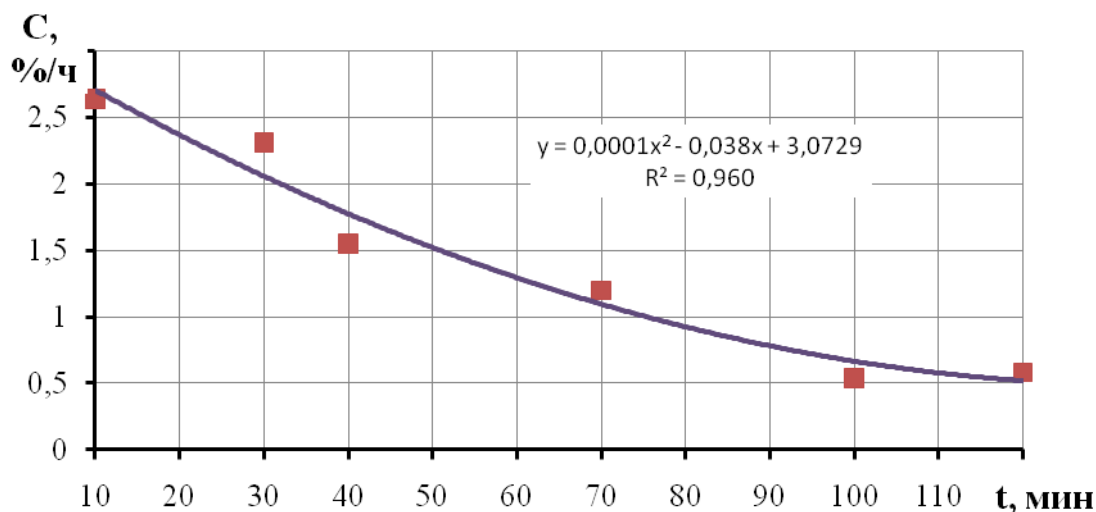


Рисунок 4.37– Зависимость изменения скорости сушки перги от времени

Анализируя графическую зависимость (рис. 4.37) можно сказать, что при увеличении времени сушки от 0 до 70 минут происходит практически линейное снижение скорости сушки с 2,6 до 1,2 %/ч. При дальнейшей сушке в течение 50 минут скорость сушки падает до 0,5 %/ч и стабилизируется. Это связано с уменьшением градиента концентрации влаги в процессе сушки, что

приводит к уменьшению скорости перемещения влаги из внутренних слоев к поверхности испарения.

Из анализа зависимостей на рисунках 4.36 и 4.37 можно заключить, что для снижения затрат энергии на процесс сушки гранул перги необходимо снижать количество подаваемого агента сушки с 300 до 138 м³/ч при снижении скорости сушки материала с 2,6 до 1,2 %/ч[94].

4.5.4. Результаты исследования влияния угла наклона и частоты вращения барабана на скорость движения гранул перги и пропускную способность сушилки

В процессе исследования влияния угла наклона и частоты вращения барабана на скорость движения гранул перги и пропускную способность сушилки использовалась перга с начальной влажностью 15,3 %.

В ходе эксперимента скорость и температура агента сушки были постоянными, и равнялись 1,7 м/с и 41°C соответственно.

Производительность барабанного дозатора настраивалась таким образом, чтобы площадь поперечного сечения материала, на входе барабана, была максимально возможной (по конструктивным особенностям входного окна) и постоянной в течение всего опыта.

После обработки экспериментальных данных в программе Statistica с помощью ПЭВМ РС была получена математическая модель зависимости скорости движения гранул перги от угла наклона и частоты вращения барабана (рис. 4.38)

Из графической зависимости, представленной на рисунке 4.38, видно, что с увеличением угла наклона барабана сушилки скорость движения материала увеличивается. Так увеличение угла α от 0 до 2 градусов при частоте вращения барабана 1,7 мин⁻¹ приводит к увеличению скорости движения материала от 1,97 до 3,22 м/ч.

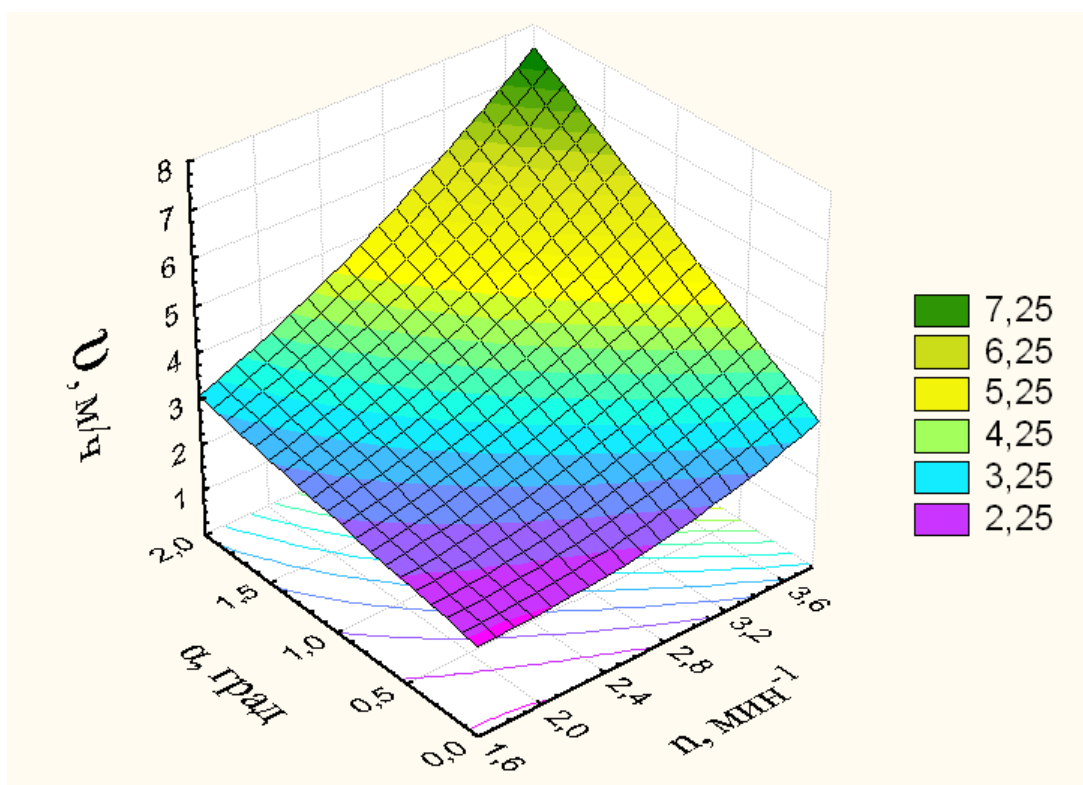


Рисунок 4.38 – Зависимость скорости движения гранул перги от угла наклона и частоты вращения барабана

$$v = 2,8405 - 1,0102 \cdot n_6 - 0,6761 \cdot \alpha + 0,2905 \cdot n_6^2 + 0,737 \cdot n_6 \cdot \alpha + 0,0255 \cdot \alpha^2 \quad (4.18)$$

Увеличение частоты вращения барабана приводит также к увеличению скорости движения материала. Повышение частоты вращения от 1,7 до 3,7 мин⁻¹ приводит к увеличению скорости движения материала от 1,97 до 3,08 м/ч при угле наклона барабана 0 градуса.

После обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости пропускной способности сушилки от угла наклона и частоты вращения барабана (рис. 4.39).

$$P_6 = 5,4814 - 0,0656 \cdot n_6 - 2,5516 \cdot \alpha + 0,5628 \cdot n_6^2 + 2,3323 \cdot n_6 \cdot \alpha + 0,8358 \cdot \alpha^2 \quad (4.19)$$

Анализируя зависимость (4.19), можно сделать вывод, что при увеличении угла наклона барабана от 0 до 2 градусов и частоты его вращения от 1,7 до 3,7 мин⁻¹ происходит увеличение пропускной способности сушильной установки по влажному материалу от 6,99 до 28,4 кг/ч.

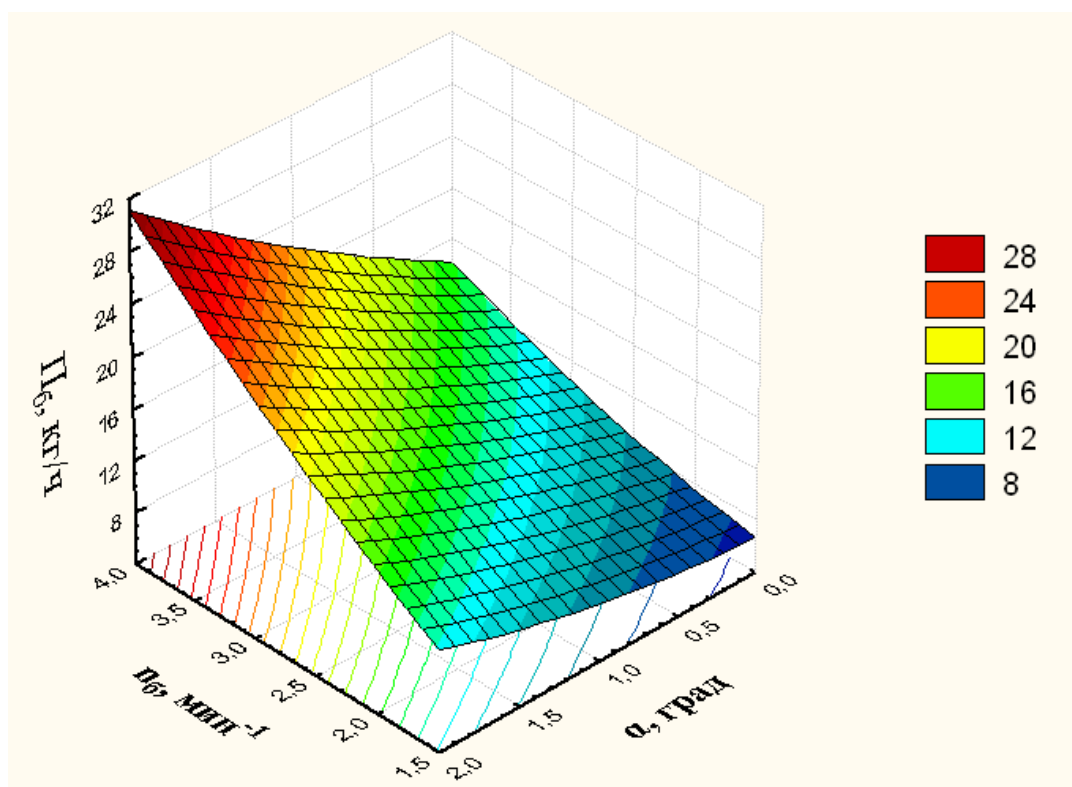


Рисунок 4.39 – Зависимость пропускной способности сушилки от угла наклона и частоты вращения барабана

4.5.5. Результаты исследования влияния частоты вращения и угла наклона барабана на удельные затраты энергии сушки гранул перги

В процессе исследования влияния угла наклона и частоты вращения барабана на удельные затраты энергии сушки использовалась перга с начальной влажностью 15,7 % и температурой 21 °С. Скорость движения воздуха в барабане сушилки соответствовала 1,7 м/с, а его температура 41 °С.

Числовые значения полученных результатов представлены в приложении П.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости удельного расхода энергии $Q_{уд}$ на испарение одного килограмма влаги из высушиваемых гранул перги от угла наклона α и частоты вращения барабана n_6

$$Q_{уд} = 3,7442 - 0,1993 \cdot \alpha - 0,2267 \cdot n_6 + 0,065 \cdot \alpha^2 + 0,03 \cdot \alpha \cdot n_6 + 0,05 \cdot n_6^2 \quad (4.20)$$

Графическое изображение полученной модели показано на рисунке 4.40.

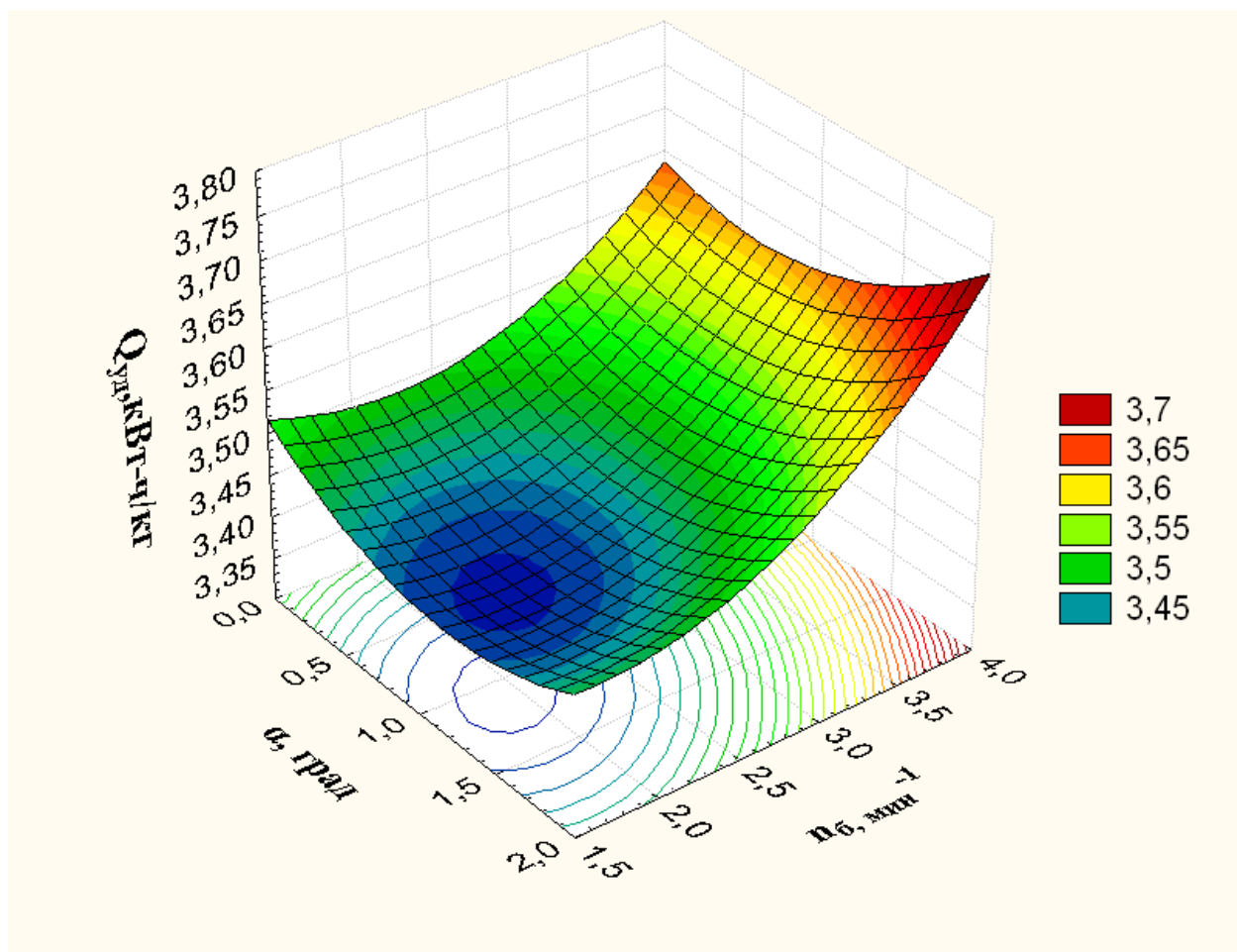


Рисунок 4.40 – Зависимость удельного расхода энергии от угла наклона и частоты вращения барабана

Рассматривая зависимость, представленную на рисунке 4.40, необходимо отметить, что наименьшие затраты энергии на испарение одного килограмма влаги наблюдаются при частоте вращения $1,9 \text{ мин}^{-1}$ и угле наклона барабана $1,1$ градуса.

Таким образом, наиболее экономически эффективным будет режим работы сушилки с температурой сушильного агента $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и скоростью $1,7 \text{ м/с}$, с частотой вращения барабана $1,9 \text{ мин}^{-1}$ и углом наклона $1,1$ градуса, так как в этом случае наблюдаются минимальные затраты электроэнергии на испарение 1 кг влаги, которые составили $3,416 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ при достаточно высокой производительности, которая составляет $8,43 \text{ кг/ч}$.

Выводы

1. Экспериментально уточнено, что скарификацию пчелиных сотов следует вести при угловой скорости вращения сота $35,58 \text{ с}^{-1}$ при диаметре установки кассет в роторе 360 мм и толщине резиновой пластины 1 мм марки 1Н-І-ТМКЩ-С-1 ГОСТ 7338-90. Скарификация позволяет увеличить начальную скорость сушки перги в сотах в 1,4 раза.

2. Экспериментально установлено, что центробежное выделение воскоперговой массы из сотов необходимо проводить сразу после сушки перги в сотах с температурой восковой основы сота $40...42 \text{ }^{\circ}\text{C}$, и с частотой вращения ротора 400 мин^{-1} . При увеличении воскоперговой массы сота с 0,25 до 0,7 кг при её температуре 42°C требуемая частота вращения ротора установки снижается с 439 до 339 мин^{-1} .

3. Экспериментально установлено, что время охлаждения сота до достижения необходимой для измельчения хрупкости восковой основы и прочности гранул на сжатие зависит от влажности перги в соте и температуры охлаждения и при её значениях в пределах $-20...0^{\circ}\text{C}$ составляет от 26,27 до 37,25 минут при влажности перги 14%.

4. Экспериментально установлено, что в штифтовом измельчителе воскоперговой массы сотов необходимо использовать 4 штифта цилиндрической формы с диаметром 15 мм, рациональная площадь выгрузного окна 70 см^2 , при этом размер ячеек между прутками решетки $14 \times 14 \text{ мм}$ с диаметром прутка 2,7 мм. При угловой скорости вращения штифтового вала 157 с^{-1} наблюдается максимальный выход целых гранул перги с минимальным содержанием восковой основы сотов.

5. У предложенной сушилки барабанного типа для досушивания гранул перги с длиной барабана 1 м и диаметром 0,25 м рационален следующий режим работы: скорость сушильного агента $1,7 \text{ м/с}$, температура сушильного агента $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$, частота вращения барабана $1,9 \text{ мин}^{-1}$ и угол наклона барабана $1,1$ градуса. При этом режиме сушки обеспечиваются минимальные удельные затраты энергии на испарение 1 кг влаги, составляющие $3,416 \text{ кВт-ч/кг}$.

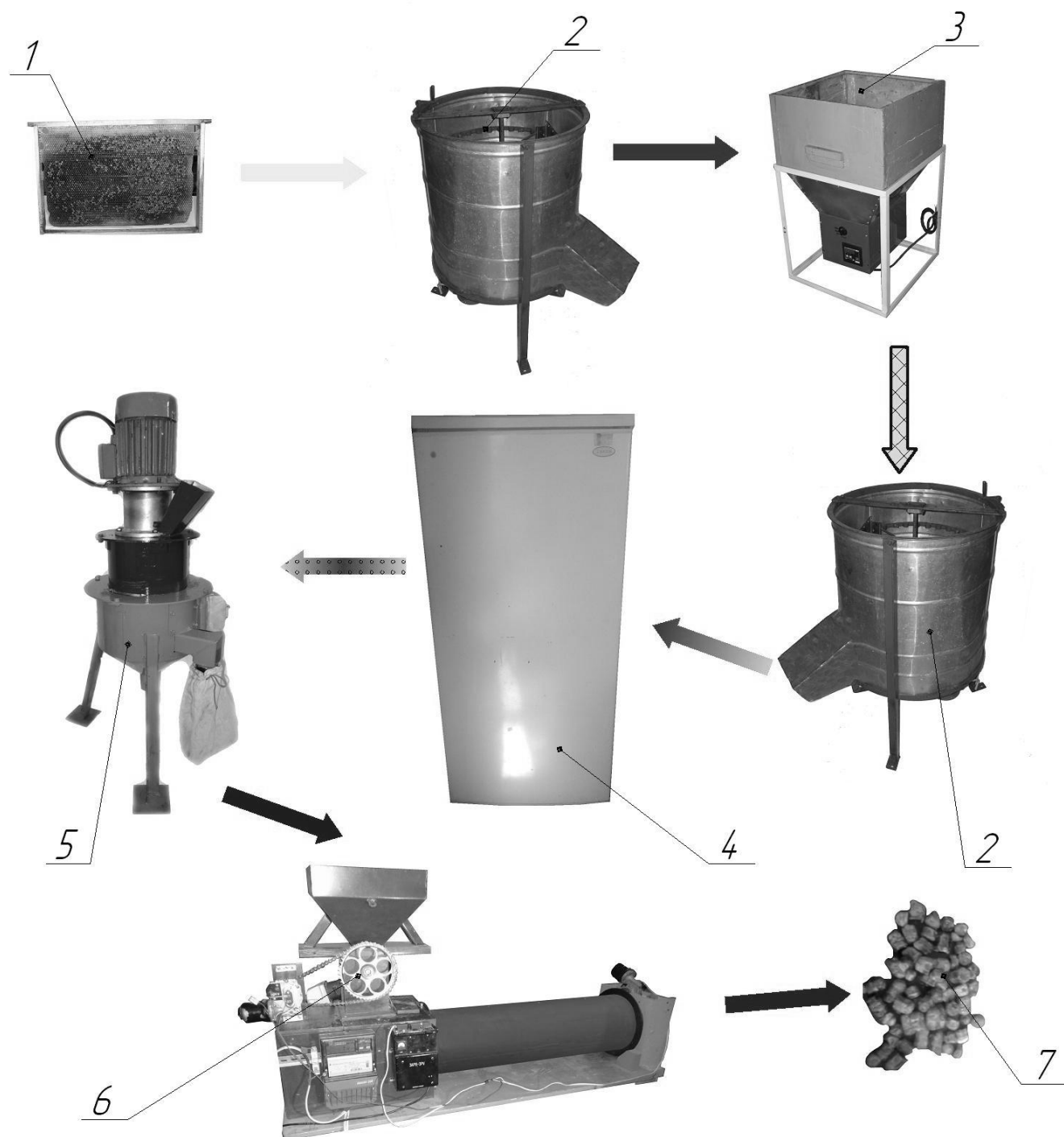
5. Производственная проверка и оценка технико-экономической эффективности машин для получения перги

5.1. Методика и результаты исследований машин для получения перги в производственных условиях

На основании теоретических и лабораторных исследований были созданы производственные образцы машин для получения перги из пчелиных сотов. Проверка разработанной технологии и машин для получения перги проводились в двух направлениях: уточнение технологических параметров и режимов работы технических средств в производственных условиях и сравнительная оценка технико-экономических показателей существующей и разработанной технологий.

Машины для получения перги из пчелиных сотов представлены на рисунке 5.1.

Для производственного эксперимента отбирались соты, в которых перга была полностью залита медом в ячейках сота и без плесени. Перед получением перги при помощи пчел производили осушку сотов от меда. Сначала соты 1 подвергали центробежной скарификации на производственном образце агрегата АЦСВ-80 2, затем осуществляли сушку перги в сотах на конвективной сушилке СП-40 3. При достижении влажности перги 14...15% соты вынимали из сушилки СП-40 и сразу производили выделение воскоперговой массы из нагретых сотов в агрегате АЦСВ-80 2. Для придания восковой основе сотов хрупкости, а гранулам перги прочности, воскоперговую массу, перед извлечением из неё перги, охлаждали до температуры 5...7°C в холодильнике 4. Извлечение перги из воскоперговой массы проводили на производственном образце агрегата АИП-30 5. После извлечения гранул перги из восковой основы сота, производили выравнивание и доведение их влажности до требований ГОСТ 31776-2012 в сушилке СПП-20 6.



1 – пчелиный сот; 2 – агрегат для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80; 3 – сушиллка перги в сотах СП-40; 4 – холодильник; 5 – агрегат для извлечения перги АИП-30; 6 – сушиллка пыльцевой обножки и гранул перги СПП-20; 7 – гранулы перги.

Рисунок 5.1 – Машины для получения перги из пчелиных сотов

На основании теоретических и лабораторных исследований был создан и испытан производственный образец агрегата для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80 (рис. 5.2).



1 – рабочая камера, 2 – ротор, 3 – рама, 4 – электродвигатель, 5 – частотный преобразователь, 6 – кассета с сотом.

Рисунок 5.2 – Общий вид агрегата для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80

Агрегат АЦСВ-80 состоит из цилиндрической рабочей камеры, ротора, рамы, электродвигателя, клиноременной передачи, двух комплектов кассет для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы из них. Для проведения центробежной скарификации сотов в ротор агрегата устанавливались четыре кассеты с резиновыми удерживающими пластинами.

Технико-экономические показатели агрегата для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80 представлены в таблице 5.1.

За один цикл скариффицировали одновременно четыре сота. Сначала скариффицировали одну сторону сотов, а затем, после установки их другой стороной, вторую.

Таблица 5.1 – Техничко-экономические показатели работы агрегата для скариффикации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80

Показатель	Единицы измерения	Значение
Диаметр ротора	мм	500
Количество кассет устанавливаемых в ротор,	шт.	4
Толщина резиновой пластины на кассете для скариффикации сотов	мм	1
Установленная мощность	кВт	0,7
Частота вращения ротора при скариффикации сотов	мин ⁻¹	340
Частота вращения ротора при выделении воскоперговой массы	мин ⁻¹	400
Производительность агрегата на скариффикации сотов	сот/ч	80
Производительность агрегата по выделению воскоперговой массы из сотов	сот/ч	140
Удельные затраты энергии на скариффикацию	кВт-ч/сот	0,008
Удельные затраты энергии на выделение воскоперговой массы сотов	кВт-ч/сот	0,005
Габаритные размеры длина×ширина×высота	мм	850×900×1250
Масса	кг	55

Эффективность центробежной скариффикации оценивалась длительностью процесса сушки. Для исследования влияния центробежной скариффикации на процесс сушки перги в сотах было использовано 60 пчелиных сотов с начальной влажностью перги 20,4-20,6 %. Сначала 30 сотов скариффицировали в агрегате для скариффикации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80 при выявленных рациональных конструктивно-режимных параметрах установки (частота вращения ротора 340 мин⁻¹, толщина резиновой пластины кассет 1 мм). Затем, скариффицированные и нескarifфицированные соты через один ставились в

ульевый корпус (12 сотов на расстоянии 8-10 мм друг от друга) и пять таких корпусов ставили на сушилку СП–40 (рис 4.4).Сушилка перги в сотах СП–40 была разработана сотрудниками ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени проф. П.А. Костычева» Некрашевичем В.Ф., Бронниковым В.И., Винокуровым С.В. [34, 121, 207]. Техническая характеристика сушилки перги в сотах представлена в таблице 5.2. Сушка осуществлялась в автоматическом режиме при температуре теплоагента 40...42°C до получения конечной влажности перги 14 ... 15%.

Таблица 5.2 – Техничко-экономические показатели работы сушилки перги в сотах СП–40

Показатель	Единицы измерения	Значение
Производительность	сотов/смену	12
Установленная мощность	кВт	6
Расход воздуха	м ³ /ч	1200
Габаритные размеры, длина×ширина×высота	мм	500×500×500
Масса	кг	30

Через каждые пять часов из сотов выделялись куски воскоперговой массы, которые помещались в два эксикатора для скариффицированных и нескариффицированных сотов. После окончания опыта эксикаторы помещали в камеру холодильника и охлаждали куски воскоперговой массы сотов до температуры +7°C в течении 12 часов. После чего извлекали гранулы перги на агрегате АИП-30 и определяли их влажность. По экспериментальным данным была построена графическая зависимость сушки гранул перги в сотах от времени (рис. 5.3).

Из графической зависимости (рис. 5.3) видно, что время сушки перги до влажности 15 % в скариффицированных сотах составляет около 17 часов, а время сушки перги нескариффицированных сотов около 25 часов. Таким

образом, центробежная скарификация сотов позволяет сократить время сушки перги на 8 часов.

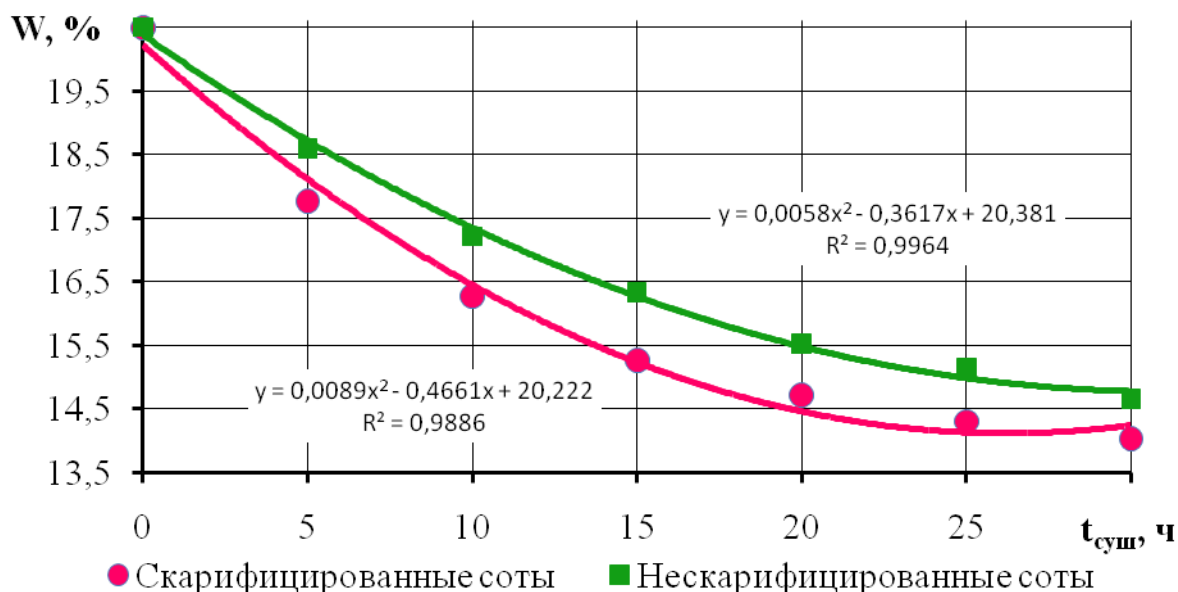


Рисунок 5.3 – Зависимость снижения влажности перги в сотах от времени сушки

С 2011 по 2014 годы были произведены исследования центробежной скарификации пчелиных сотов в производственных условиях в лаборатории «Инновационные энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» ФГБОУ ВПО РГАТУ. За период испытаний с 2011 по 2014 годы было скарифицировано 198 пчелиных сотов из частной пасеки Афонина В.Г., расположенной в Кораблинском районе Рязанской области. При выявленном рациональном режиме время скарификации четырех сотов с одной стороны составило 30 секунд. Время сушки перги в сотах сократилось на 31 % по сравнению с нескарифицированными сотами и составило 19 часов. Фактическая производительность установки по скарификации составила 80 сотов в час, удельные энергозатраты – 0,009 кВт·ч/сот (приложение И).

В период с 2011 по 2013 годы были произведены исследования в производственных условиях центробежной скарификации пчелиных сотов. В

ходе испытания были использованы соты со средней влажностью 19...20 %, взятые с пасеки ИП главы КФХ Фионина Н.Г., расположенной в Рязанском районе Рязанской области.

За время испытаний было скарифичировано 217 пчелиных сотов. Время одного цикла скарификации составило 3 минуты. От реализации перги после переработки 217 сотов была получена прибыль 60200 рублей (приложение И).

На пасеке КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района, Рязанской области были произведены производственные испытания комплекта оборудования для извлечения перги из пчелиных сотов.

Исследования проводили на сотах, отобранных у среднерусской породы пчел, с начальной влажностью перги 18...24 %. Перед сушкой перги производилась центробежная скарификация сотов. В роторе закрепляли 4 кассеты с резиновым полотном толщиной 1 мм. Удельные затраты труда на скарификацию сотов составили 0,0125 чел-ч/сот, а затраты энергии 0,008 кВт-ч/сот.

Сушка перги в сотах осуществлялась в ульевых корпусах установленных на сушилку СП-40 при температуре 40-42 °С. За время эксплуатации оборудования было переработано 720 сотов. Время сушки перги в скарифичированных сотах до влажности 14-15 % составило 19-20 часов, а удельные затраты энергии 1,66 кВт-ч/сот или 5,23 кВт-ч/кг перги.(приложение И).

Исследование механизированного способа выделения воскоперговой массы из сотов проводилось в производственных условиях ООО Агротехнопарк «АВИК» в 2016 году. За время испытаний было переработано 108 пчелиных сотов. Перед выделением воскоперговой массы в роторе агрегата для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы заменили кассеты для скарификации на кассеты для выделения воскоперговой массы из сотов. При достижении влажности перги в сотах 14-15 % их извлекали из сушилки СП-40 и сразу устанавливали в ротор агрегата.

Частота вращения ротора составляла 400 мин^{-1} . Температура сота соответствовала температуре сушильного агента $40...42^{\circ}\text{C}$. Под воздействием центробежных сил, возникающих при вращении ротора с сотами, воскоперговая масса выгибалась и выделялась из сотов. Выделенная воскоперговая масса выходит через выгрузной лоток в нижней части рабочей камеры агрегата. После остановки ротора в кассеты устанавливали следующие соты. Производительность агрегата по выделению воскоперговой массы из сотов составила 140 сот/ч . Время цикла выделения воскоперговой массы из четырех сотов находилось в пределах $1,6...1,7$ минуты, а удельные затраты энергии – $0,005 \text{ кВт-ч/сот}$. Трудоемкость отделения воскоперговой массы из сотов центробежным способом составила $0,0125 \text{ чел-ч/сот}$ (приложение И).

Для извлечения гранул перги из воскоперговой массы сотов был изготовлен производственный образец агрегата для извлечения перги АИП-30 (рис. 5.4). Техничко-экономические показатели работы агрегата АИП-30 представлена в таблице 5.3 [129, 133].

Он объединяет в себе измельчитель сотов и пневмосепаратор гранул перги. Выделенную из сотов воскоперговую массу, перед извлечением перги охлаждали в камере холодильника до температуры $+6...+7^{\circ}\text{C}$, для придания восковой основе сотов хрупких свойств, а гранулам перги прочности.

Куски воскоперговой массы разрушались в измельчителе до образования вороха гранул перги с измельченной восковой основой сотов. Выгрузная решётка измельчителя 7 препятствует выходу не измельченной воскоперговой массы. В пневмосепараторе происходит разделение перги и восковой основы сотов, за счет разных скоростей витания гранул перги и восковых частиц основы сотов.

Для определения энергоёмкости процесса разрушения воскоперговой массы в штифтовом измельчителе были отобраны соты с начальной влажностью $19,4-19,6 \%$. Их разделили на четыре группы. Поверхность сотов первой группы скарифицировали прорезанием крышечек гранул перги дисковым ножом. Вторую группу сотов скарифицировали прокалыванием крышечек гранул перги иглами. Третью группу сотов скарифицировали

центробежным способом при частоте вращения ротора 340 мин^{-1} в кассете с толщиной резиновой пластины 1 мм. Четвертую группу сотов не скарифицировали [164].



1 – электродвигатель; 2 – загрузочный бункер; 3 – камера измельчения; 4 – корпус аспирационной системы; 5 – фильтр-мешок; 6 – бункер, для повторной сепарации материала; 7 – съемная решетка; 8 – центробежный вентилятор; 9 – аспирационный канал; 10 – выгрузная горловина.

Рисунок 5.4 – Общий вид агрегата для извлечения перги АИП-30

Затем соты, скарифицированные разными способами, сушили до влажности 14-15 % на установке СП-40. Из высушенных сотов вырезали куски воскоперговой массы и взвешивали на весах ВЛКТ-500. Перед извлечением перги, куски воскоперговой массы сотов охлаждали при температуре $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа. В процессе извлечения гранул перги на

агрегате АИП-30 фиксировали изменение силы тока в течение времени с помощью мультиметра DT-9205A и видеокамеры. После чего проводили покадровое исследование видеозаписи в программе Pinnacle Studio. Затем строились зависимости силы тока от времени для каждого куска, по которым определялась энергоёмкость, затрачиваемая на измельчение данного куска воскоперговой массы сота скарифицированного конкретным способом.

Таблица 5.3 – Техничко-экономические показатели работы агрегата для извлечения перги АИП-30

Показатель	Единицы измерения	Значение
Диаметр ротора	мм	190
Количество штифтов	шт.	4
Диаметр штифтов	мм	15
Размер отверстий выгрузной решетки	мм	14×14
Диаметр прутка выгрузной решётки	мм	2,7
Производительность	сот/ч	30 и более
Расход воздуха	м ³ /ч	37
Частота вращения ротора	мин ⁻¹	1500
Установленная мощность	кВт	0,55
Удельные затраты энергии на извлечение гранул перги	кВт-ч/сот	0,018
Удельные затраты труда	чел-ч/сот	0,03
Количество извлекаемой перги из сотов	%	98-99
Количество восковых примесей в перге	%	не более 5
Габаритные размеры измельчителя длина×ширина×высота	мм	500×500×1100
Масса	кг	45

Для определения крошения гранул перги, полученной при измельчении воскоперговой массы куска сота, очищенная от восковой основы сотов перга сепарировалась на решетке с диаметром отверстий 4 мм [164]. Крошение гранул перги определялась по формуле

$$K_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{п}}^1 - m_{\text{п}}^2}{m_{\text{п}}^1} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

где $m_{\text{п}}^1$ – масса перги до сепарации, кг;

$m_{\text{п}}^2$ – масса перги после сепарации, кг.

Для проведения исследований ротор измельчителя оснастили четырьмя штифтами круглого сечения, диаметром 15мм. Выгрузные окна камеры измельчения были закрыты прутковыми решетками с размером отверстий 14×14 мм и диаметром прутков 2,7 мм.

Результаты исследования удельных затрат энергии на разрушение воскоперговой массы сотов в измельчителе агрегата АИП-30, скарифицированных различными способами представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Результаты исследования удельных затрат энергии на разрушение воскоперговой массы сотов, скарифицированных различными способами.

Способ скарификации пчелиных сотов	Удельные затраты энергии на разрушение воскоперговой массы сотов, кВт-ч/кг	Крошение гранул перги, %
Прорезание	0,0255	19,82
Прокалывание	0,0313	14,60
Центробежный	0,0267	10,66
Без скарификации сотов	0,0396	10,01

Из анализа таблицы видно, что наименьшее крошение гранул перги наблюдается при их извлечении из нескарифицированных сотов, так как на них не оказывалось никакого воздействия при скарификации. Крошение гранул, при извлечении их из сотов, скарифицированных центробежным способом, составило 10,66 %. Это меньше в 1,9 раза по сравнению со скарификацией прорезанием, в 1,4 раза по сравнению с прокалыванием, и почти совпадает с нескарифицированными сотами. Удельные затраты энергии на разрушение воскоперговой массы сотов, скарифицированных прорезанием и центробежным способом практически совпадают, однако крошение гранул при извлечении из сотов скарифицированных прорезанием выше. Удельные затраты энергии на разрушение воскоперговой массы сотов скарифицированных центробежным способом составили 0,0267 кВт-ч/кг, что

в 1,2 и 1,5 раза меньше по сравнению соответственно со скарификацией прокалыванием и без неё [164].

В период с 2012 по 2014 годы на пасеке КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района, Рязанской области были произведены испытания агрегата АИП-30 в составе машин для получения перги из пчелиных сотов.

После охлаждения воскоперговой массы сотов до температуры 4...5 °С в холодильнике из них извлекали пергу на агрегате АИП-30.

В процессе извлечения производительность агрегата составила 32 сота в час (8,8 кг гранул перги в час), количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а количество восковых примесей в перге – 4,9%, трудоемкость 0,025 чел-ч/сот (0,081 чел-ч/кг перги), удельная энергоемкость процесса 0,0375 кВт-ч/кг.

За период эксплуатации оборудования было переработано 720 сотов. Получено 224,6 кг перги. Потеря перги при сепарации в агрегате АИП-30 составила 1,8% от общего её количества. Отказов и поломок агрегата за период испытания не наблюдалось (приложение И).

Данные лабораторных исследований позволили модернизировать агрегат для извлечения перги АИП-50 и разработать агрегат АИП-10 для маленьких пасек от 10 пчелиных семей [93, 122, 204, 206].

В процессе извлечения гранул очень трудно получить однородную влажность всей перги, которая бы соответствовала требованиям ГОСТ 31776-2012. Это связано с неодинаковой скоростью сушки пыльцы разных растений, которая укладывается пчелами в один пчелиный сот. Поэтому необходимо досушивать извлеченные перговые гранулы с повышенной влажностью в специальной сушилке. Общий вид производственного образца сушилки гранул перги представлен на рисунке 5.5.

Гранулы перги, которые необходимо досушить, подаются в загрузочный бункер 1, а из него дозатором 3 внутрь сушильного барабана 7.



1 – загрузочный бункер; 2 – счетчик электрической энергии; 3 – барабанный дозатор; 4 – привод барабанного дозатора; 5 – электрическая тепловая пушка; 6 – рама; 7 – сушильный барабан; 8 – электродвигатель привода сушильного барабана; 9 – выгрузной бункер; 10 – сетчатые радиальные перегородки.

Рисунок 5.5 – Общий вид сушилки гранул перги

В барабане 7 установлены сетчатые радиальные перегородки 10, которые при его вращении в непрерывном процессе перемешивают и

пересыпают пергу в нагретом воздушном потоке. Температура воздушного потока поддерживается за счет управляемого включения и выключения ТЭНов тепловой пушки 5. На выходе из барабана материал попадает в выгрузной бункер 9, а из него в емкость готовой продукции. Техно-экономические показатели работы сушилки гранул перги представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Техно-экономические показатели работы сушилки гранул перги.

Показатели	Единицы измерения	Значение
Внутренний диаметр барабана	мм	250
Длина барабана	мм	1000
Количество сетчатых радиальных перегородок	шт.	4
Размер отверстий сетки	мм	1×1
Температура сушильного агента	°С	40...42
Скорость движения сушильного агента	м/с	1,7
Частота вращения барабана	мин ⁻¹	1,9
Угол наклона барабана	град	1,1
Производительность	кг/ч	8,4
Установленная мощность	кВт	2,0
Удельные затраты энергии на испарение 1 кг влаги	кВт-ч/кг	3,416
Расход воздуха	м ³ /ч	300
Удельные затраты труда	чел-ч/кг	0,16
Габаритные размеры длина×ширина×высота	мм	1640×500×600
Масса	кг	30

В 2007 году были проведены испытания барабанной сушилки на пасеке ЧП «Бирюкова О.Е.» и в производственных условиях ООО «Рязанская пчела» по сушке пыльцевой обножки (приложение И). Для расширения функциональных возможностей сушилки, в 2015 году, была проведена модернизация сушилки для возможности сушить в ней пергу.

Для испытаний сушилки использовался следующий режим работы: скорость сушильного агента 1,7 м/с, температура сушильного агента 40...42 °С, частота вращения барабана 1,9 мин⁻¹ и угол наклона барабана 1,1 градуса.

В процессе исследований измерялась влажность гранул перги до и после процесса сушки, контролировались температура нагрева перги на выходе сушки и температура агента сушки. Определялись затраты энергии на испарение одного кг влаги по методике описанной в разделе 4. Определялась производительность сушильной установки по выходу готовой продукции.

Исследования проводили на перге, извлеченной из сотов среднерусской породы пчел внутривидового типа «Приокский», с влажностью 15...18%. Сушку проводили до конечной влажности 13,5...14%.

При сушке температура нагретого воздуха находилась в пределах 39...42 °С. За первый проход гранул перги через сушилку съём влаги лежал в пределах 2,5...2,7 %, а температура нагрева перги составила 36...38 °С. После повторного пропускания перги через сушилку съём влаги составил 1,2...1,5 %, а температура перги увеличивается до 39...40 °С. Пропускная способность барабанной сушилки по влажному материалу находилась в пределах 8,2...8,6 кг/ч, а коэффициент заполнения барабана составил 0,15...0,16. При этом затраты энергии на сушку 1 кг перги составили 0,1...0,11 кВт·ч/кг. Производительность сушилки гранул перги по выходу готовой продукции в зависимости от первоначальной влажности 4,1...8,4 кг/ч.

Также провели испытания сушилки гранул перги в осциллирующем режиме. Для этого в течение первого прохода пергу сушили при ранее обоснованных конструктивно-режимных параметрах сушилки, а при втором пропускании перги через барабан сушилки отключали ТЭНы тепловой пушки и продували гранулы перги воздухом с температурой 21 °С. При таком режиме сушки затраты энергии на высушивание 1 кг гранул перги снижались до 0,07...0,08 кВт·ч/кг. Производительность сушилки перги по выходу готовой продукции в осциллирующем режиме составила 4,1...6,9 кг/ч. За период эксплуатации установки было высушено 46 кг перги, отказов и поломок не наблюдалось.

5.2 Результаты внедрения машин для получения перги

По результатам теоретических, лабораторных и производственных исследований была разработана конструкторская документация для изготовления машин для получения перги из пчелиных сотов.

Согласно постановлению бюро секции механизации, электрификации и автоматизации Российской академии сельскохозяйственных наук от 18 декабря 2008 года технология и машины для получения перги из пчелиных сотов включены в систему машин по механизации пчеловодства, а в ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации агротехнического обслуживания сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» по представленной конструкторской документации налажен промышленный выпуск оборудования (приложение К). Ежегодно с 2008 года ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии производит по заказам от 8 до 12 агрегатов для извлечения перги АИП-30(приложение К).

Агрегаты АИП-50 и АИП-30 внедрены в производственный процесс более чем в 20 фермерских хозяйствах Республики Татарстан. Промышленная проверка агрегатов проводилась в фермерских и личных подсобных хозяйствах Арского, Апастовского, Кукморского, Тетюшского и Лиашевского муниципальных районов Республики Татарстан. В результате проведенной проверки количество извлекаемой перги из сотов 97...99%, гранулы перги хорошо очищены от воска, при этом подтверждена высокая надежность агрегатов (приложение К).

В 2014 году, на основании теоретических и экспериментальных исследований вертикального штифтового измельчителя воскоперговой массы сотов был разработан и налажен промышленный выпуск агрегат для извлечения перги АИП-10 для небольших пасек на 10 и более пчелосемей в ООО Агротехнопарк «АВИК» (г. Луховицы)(приложение К). В 2017 году на предприятии ООО Агротехнопарк «АВИК» промышленно стал выпускаться агрегата для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы АЦСВ-80 (приложение К).

Перга, полученная из пчелиных сотов с применением разработанных машин по усовершенствованной технологии, использовалась для лечения больных государственного бюджетного учреждения Рязанской области «Областной клинический кардиологический диспансер». Результаты лечения положительные (приложение К).

Усовершенствованная технология и машины для получения перги принимали участия в конкурсах, выставках и были удостоены следующими наградами:

- в 2006 году на VI Московском международном салоне инноваций и инвестиций (ВВЦ) за разработку технологии и линии извлечения перги из пчелиных сотов был получен диплом с золотой медалью(приложение Л);

- в 2007 году на 40-ом международном конгрессе “Апимондия”, прошедшем в городе Мельбурн (Австралия), разработанная технология и средства извлечения перги были удостоены серебряной медали (приложение Л);

- в 2008 году на VIII Московском международном салоне инноваций и инвестиций разработка барабанной сушилки бала отмечена дипломом (приложение Л);

- в 2012 году разработка агрегата для извлечения перги АИП-30 была отмечена на выставке «Энергосбережение и энергоэффективность» дипломом ФГБУ «РЭА» Минэнерго России (приложение Л);

- в 2012 году технология и машины для получения перги из пчелиных сотов стали победителями конкурса «Лидер высоких технологий и инноваций города Рязани» в номинации «Лидер высоких технологий и инноваций города Рязани в производственной сфере»;

- в 2015 году разработка агрегата АИП-10 была отмечена дипломом на выставке инновационных разработок и технических стартапов в рамках VII Всероссийского молодежного форума «Сельское хозяйство - территория возможностей» (Золотая осень, г. Москва).

Агрегаты для извлечения перги и другие машины работают в России, Белоруссии, Украине.

5.3. Оценка технико-экономической эффективности машин для получения перги

Расчет экономической эффективности внедрения усовершенствованной технологии и машин для получения перги из пчелиных сотов проводился согласно методике экономической оценки инженерных проектов, на основании результатов испытаний машин в производственных условиях, литературных данных и рекомендуемых справочных нормативов [16, 21, 72, 118].

Годовой объем получения перги рассчитывался для среднестатистической пасеки в сто пчелосемей. В этом случае годовой объем перерабатываемых пчелиных сотов определяется по формуле

$$Q_{\Gamma} = n_{\Pi} \cdot N_{\Sigma}, \quad (5.2)$$

где Q_{Γ} – количество перерабатываемых сотов в год, шт;

n_{Π} – количество пчелосемей, от которых будет получена перга, шт;

N_{Σ} – количество сотов, которые можно отобрать от одной пчелиной семьи без нанесения ей ущерба, шт.

$$Q_{\Gamma} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ сотов.}$$

Годовое количество перги полученной из сотов определим по формуле

$$M_{\Pi} = Q_{\Gamma} \cdot m_{\Pi\Sigma} \cdot K_{\Sigma}, \quad (5.3)$$

где $m_{\Pi\Sigma}$ – среднестатистическая масса перги в соте, кг;

K_{Σ} – коэффициент, учитывающий выход перги из сотов с учетом особенности операции усовершенствованной технологии.

Экономический эффект от внедрения усовершенствованной технологии и машин для получения перги из пчелиных сотов определяли, сопоставляя её с базовой технологией, включающей следующие операции: сушка перги в нескарифицированных сотах на установке СП-40; отделение

воскоперговой массы из сотов, путем вырезания её вдоль проволоки рамки ножом; охлаждение воскоперговой массы в камере бытового холодильника; извлечение перги на агрегате АИП-50; досушивание гранул перги в камерной сушилке СП-2.

Исходные данные для расчёта технико-экономического эффекта применения машин для получения перги из пчелиных сотов представлены в таблице 5.6.

Экономический эффект от внедрения

$$\mathcal{E}_э = \mathcal{Z}_{ин} \cdot \mathcal{Z}_б, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

где $\mathcal{Z}_{ин}$ – суммарные эксплуатационные затраты на получение перги из 400 сотов в год по операциям разработанной технологии, руб.;

$\mathcal{Z}_б$ – суммарные эксплуатационные затраты на получение перги из 400 сотов в год по операциям базовой технологии, руб.

Суммарные эксплуатационные затраты на получение перги по операциям усовершенствованной технологии определим

$$\mathcal{Z}_{ин}^{сум} = \mathcal{Z}^{цс} \cdot \mathcal{Z}^{сс} \cdot \mathcal{Z}^{цв} \cdot \mathcal{Z}^{охл} \cdot \mathcal{Z}^{АИП-30} \cdot \mathcal{Z}^{сгб}, \text{ руб.}, \quad (5.5)$$

где $\mathcal{Z}^{цс}$ – эксплуатационные затраты на центробежную скарификацию сотов, руб.;

$\mathcal{Z}^{сс}$ – эксплуатационные затраты на сушку перги в скарифицированных сотах, руб.;

$\mathcal{Z}^{цв}$ – эксплуатационные затраты на центробежное выделение воскоперговой массы из сотов, руб.;

$\mathcal{Z}^{охл}$ – эксплуатационные затраты на охлаждение воскоперговой массы сотов, руб.;

$\mathcal{Z}^{АИП-30}$ – эксплуатационные затраты на извлечение перги из сотов в агрегате АИП-30, руб.;

$З^{сгб}$ – эксплуатационные затраты на сушку гранул перги в барабанной сушилке, руб.

Таблица 5.6. – Исходные данные для расчёта технико-экономического эффекта применения усовершенствованной технологии и машин для получения перги из пчелиных сотов.

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Базовая технология	Предлагаемая
1	2	3	4	5
1.	Балансовая стоимость машины			
	Агрегат АЦСВ-80	руб.	-	25600
	Сушилка СП-40	руб.	32000	32000
	Холодильник Атлант	руб.	16000	16000
	Агрегат АИП-50	руб.	120000	-
	Агрегат АИП-30	руб.	-	63000
	Сушилка барабанная	руб.	-	20000
	Сушилка СП-2	руб.	15000	-
2	Балансовая стоимость оборудования линии	руб.	183000	156600
3	Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1
4	Часовая тарифная ставка	руб./чел	150	150
5	Норма амортизационных отчислений	%	12,5	12,5
6	Норма отчислений на техническое обслуживание, ремонт и хранение оборудования	%	7	7
7	Удельные затраты труда на скарификацию	чел-ч /сот	-	0,0125
8	Удельные затраты энергии на скарификацию	кВт-ч /сот	-	0,008
9	Удельные затраты труда на сушку перги в сотах	чел-ч /сот	0,1	0,062

продолжение таблицы 5.6.

1	2	3	4	5
10	Удельные затраты энергии на сушку перги в сотах	кВт-ч /сот	3,0	1,9
11	Удельные затраты труда на выделение воскоперговой массы сотов	чел-ч /сот	0,019	0,0125
12	Удельные затраты энергии на выделение воскоперговой массы сотов	кВт-ч /сот	-	0,005
13	Удельные затраты труда на охлаждение воскоперговой массы сотов	чел-ч /сот	0,02	0,02
14	Удельные затраты энергии на охлаждение воскоперговой массы сотов	кВт-ч /сот	0,01	0,01
15	Удельные затраты энергии на извлечение гранул перги	кВт-ч /сот	0,033	0,018
16	Удельные затраты труда на извлечение гранул перги	чел-ч /сот	0,02	0,03
17	Удельные затраты энергии на сушку гранул перги	кВт-ч /кг	0,15	0,1
18	Удельные затраты труда на сушку гранул перги	чел-ч /кг	0,25	0,16
19	Годовой объем перерабатываемых сотов	сот	400	400

Суммарные эксплуатационные затраты на получение перги по операциям базовой технологии определим

$$Z_{\text{с}}^{\text{сум}} = Z^{\text{нс}} \cdot Z^{\text{ро}} \cdot Z^{\text{охл}} \cdot Z^{\text{АИП-50}} \cdot Z^{\text{сп-2}}, \text{ руб.}, \quad (5.6)$$

где $Z^{\text{нс}}$ – эксплуатационные затраты на сушку перги в нескарифицированных сотах, руб.;

$Z^{\text{ро}}$ – эксплуатационные затраты на ручное отделение воскоперговой массы из сотов, руб.;

$Z^{\text{АИП-50}}$ – эксплуатационные затраты на извлечение перги из сотов в агрегате АИП-50, руб.;

$З^{сп-2}$ – эксплуатационные затраты на сушку гранул перги в камерной сушилке СП-2, руб.

Эксплуатационные затраты на выполнение данной операции, рассчитывались по формуле

$$З = З_a + З_{ТОРХ} + З_{от} + З_{эл}, \quad (5.7)$$

где $З_a$ – амортизационные отчисления на выполнение данной операции, руб.;

$З_{ТОРХ}$ – затраты на техническое обслуживание, ремонт и хранение оборудования для выполнения данной операции, руб.;

$З_{от}$ – затраты на оплату труда по выполнению данной операции, руб.;

$З_{эл}$ – затраты на оплату электроэнергии, при выполнении данной операции, руб.

Амортизационные отчисления

$$З_a = \frac{C_6 \cdot A_{об}}{100}, \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

где $A_{об}$ – норма амортизационных отчислений, %;

C_6 – балансовая стоимость оборудования для выполнения данной операции, руб.

Затраты на техническое обслуживание, ремонт и хранение определим по формуле

$$З_{ТОРХ} = \frac{C_6 \cdot B}{100}, \text{ руб.} \quad (5.9)$$

где B – норма отчислений на техническое обслуживание, ремонт и хранение оборудования для выполнения данной операции, %.

Затраты на оплату труда по выполнению данной операции рассчитываются по формуле [238]

$$З_{от} = Ч_c \cdot T_{сот} \cdot N_c \cdot (1 + 0,01 \cdot P_d) \cdot (1 + 0,01 \cdot C_o), \text{ руб.}, \quad (5.10)$$

где $Ч_c$ – часовая тарифная ставка, руб/ч;

$T_{сот}$ – удельные затраты труда на выполнение данной операции, чел-ч/сот;

P_d – размер доплат за продукцию, $P_d = 25\%$;

C_o – норма отчислений на социальные нужды, $C_o = 32\%$.

или

$$Z_{от} = \Pi_c \cdot T_{кг} \cdot M_m \cdot (1 + 0,01 \cdot P_d) \cdot (1 + 0,01 \cdot C_o), \text{ руб.}, \quad (5.11)$$

где $T_{кг}$ – удельные затраты труда приходящиеся на 1 кг продукта получаемого при выполнении данной операции, чел-ч/кг;

M_m – количество материала получаемого при осуществлении данной операции, кг.

Затраты на оплату электроэнергии при выполнении данной операции рассчитываются по формуле [238]

$$Z_{эл} = \Pi_э \cdot Z_{эсот} \cdot N_c, \text{ руб.}, \quad (5.12)$$

где $\Pi_э$ – стоимость одного кВт-ч электрической энергии, кВт-ч/руб.;

$Z_{эсот}$ – удельные затраты электрической энергии на выполнение данной операции, кВт-ч /сот.

Или

$$Z_{эл} = \Pi_э \cdot Z_{экг} \cdot M_m, \text{ руб.}, \quad (5.13)$$

где $Z_{экг}$ – удельные затраты электрической энергии на получение 1 кг продукта при выполнении данной операции, кВт-ч /кг.

Калькуляция эксплуатационных затрат представлена в таблице 5.7.

Стоимость перерабатываемого сырья Π_c определяется из выражения

$$\Pi_c = Q_z \cdot C_c, \quad (5.14)$$

где C_c – закупочная цена одного пчелиного сота, руб.

$$\Pi_c = 400 \cdot 150 = 60000 \text{ руб.}$$

Таблица 5.7. – Калькуляция эксплуатационных затрат

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Базовая технология	Предлагаемая
1	Эксплуатационные затраты на скарификацию сотов	руб.	-	4992,0
2	Эксплуатационные затраты на сушку перги в сотах	руб.	20790,0	15325,0
3	Эксплуатационные затраты на выделение воскоперговой массы из сотов	руб.	1852,5	1226,8
4	Эксплуатационные затраты на охлаждение воскоперговой массы	руб.	5086,0	5086,0
5	Эксплуатационные затраты на извлечение гранул перги из сотов	руб.	25402,8	15238,8
6	Эксплуатационные затраты на сушку перги в сотах	руб.	11048	9101
7	Суммарные эксплуатационные затраты на получение перги	руб.	64179,3	50969,6
8	Годовая экономия от снижения эксплуатационных затрат	руб.	-	13209,2

Сравнительный анализ качественных показателей перги предложенных машин в сравнении с агрегатом АИП-50 показал, что содержание восковой основы в готовой перге снизилось в 1,3 раза.

Стоимость произведенной продукции Π_{Π} в ценах реализации складывается из стоимости реализованной перги

$$\Pi_n = M_n \cdot C_n, \text{ руб.} \quad (5.15)$$

где C_{Π} – цена реализации килограмма перги, руб.

$$\Pi_n = 132 \cdot 1500 = 19800 \text{ руб.}$$

Себестоимость произведенной продукции C находится по формуле

$$C = Z^{\text{сум}} + \Pi_c, \text{ руб.} \quad (5.16)$$

Себестоимость произведенной продукции в течение года по базовой технологии

$$C_{\text{б}} = 64179,3 + 60000 = 124179,3 \text{ руб.},$$

по инновационной

$$C_{\text{ин}} = 50969,0 + 60000 = 110969,0 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль от реализации произведенной продукции определяется по формуле

$$\Pi = \Pi_n - C, \text{ руб.} \quad (5.17)$$

Годовая прибыль от реализации продукции по базовой технологии

$$\Pi^{\text{б}} = 198000,0 - 124179,3 = 73820,7 \text{ руб.}$$

по инновационной

$$\Pi^{\text{ин}} = 198000,0 - 110969,0 = 87031,0 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект предлагаемых машин для получения перги из пчелиных сотов определяется по показателю снижения эксплуатационных затрат $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \mathcal{Z}_{\text{б}}^{\text{сум}} - \mathcal{Z}_{\text{ин}}^{\text{сум}}, \text{ руб.} \quad (5.18)$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = 64179,3 - 50969,6 = 13209,2 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости предлагаемых машин для получения перги из пчелиных сотов определим

$$T_{\text{л}} = \frac{C_{\text{б лин}}^{\text{ин}}}{\Pi^{\text{ин}}}, \text{ год}, \quad (5.19)$$

где $C_{\text{б лин}}^{\text{ин}}$ – балансовая стоимость машин для получения перги из пчелиных сотов, руб.

$$T_{\text{л}} = \frac{156600}{87031} = 1,8 \text{ года}$$

Экономия затрат труда от использования предлагаемых машин для получения перги из пчелиных сотов

$$\Delta T = (T_{уд}^6 - T_{уд}^{ин}) \cdot Q_{г}, \quad \text{чел-ч.} \quad (5.20)$$

$$\Delta T = (0,248 - 0,178) \cdot 400 = 28 \text{ чел-ч.}$$

Таким образом применение предлагаемых машин для получения перги из пчелиных сотов позволит снизить затрат ручного труда на 28 чел-ч, годовая экономия от снижения эксплуатационных затрат составила 13209 рублей.

Выводы

1. В производственных условиях подтверждены и уточнены технологические и конструктивно-режимные параметры центробежного скарифikatorа: производительность составляет 80 сот/ч, трудоемкость процесса 0,0125 чел-ч/сот, затраты энергии 0,008 кВт-ч/сот, время сушки перги сокращается на 27-31 %, а удельные затраты энергии на сушку гранул перги в сотах составляют не более 1,9 кВт-ч/сот;

2. В производственных условиях подтверждены и уточнены технологические и конструктивно-режимные параметры центробежного выделителя: производительность 140 сот/ч, трудоемкость процесса 0,01 чел-ч/сот, удельные затраты энергии на выделение воскоперговой массы сотов 0,005 кВт-ч/сот;

3. В производственных условиях подтверждены и уточнены технологические и конструктивно-режимные параметры агрегата для извлечения перги: производительность 8,8 кг перги в час, удельные затраты труда на извлечение перги из сотов 0,025 чел-ч/сот, расход воздуха 37 м³/ч, удельная энергоемкость процесса 0,0375 кВт-ч/кг, при этом количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а примесей восковой основы в готовом продукте 4,9%;

4. В производственных условиях подтверждены и уточнены технологические и конструктивно-режимные параметры барабанной сушилки гранул перги: производительность составляет 8,4 кг/ч, разовый съем влаги - 1,5...2,5 %, удельные затраты энергии на сушку 1 кг гранул перги - 0,11 кВт-ч.

5. В результате оценки технико-экономического эффекта применения машин для получения перги из пчелиных сотов установлено, что при переработке 400 сотов от пасеки в сто пчелосемей можно получить прибыль от реализации готовой продукции в размере 87 тыс. рублей в год за счет снижения трудоёмкости процессов на 28 чел-ч, при этом повысив качество конечного продукта за счет снижения примесей восковой основы в 1,3 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа применяемых способов и технических средств установлено, что машины для получения перги из пчелиных сотов должны включать технические средства для центробежной скарификации сотов, сушки перги в сотах, центробежного выделения воскоперговой массы из сотов и её охлаждения, измельчения воскоперговой массы с разделением пневмосепарацией на восковое сырьё и пергу и её досушивания, обеспечивающие качество продукции соответствующее требованиям ГОСТ 31776-2012.

2. Для обоснования требований к машинам уточнены диапазоны свойств пчелиных сотов и воскового сырья, предназначенного для получения перги. Установлено, что:

- влажность перги в сотах должна быть 14...15 %, при этом её адгезия к поверхностям перерабатывающих машин минимальна и не превышает 0,08 кПа, а теплоемкость составлять 1,89 кДж/(кг·K), коэффициент температуропроводности - $1,13 \cdot 10^{-7}$ м²/с и коэффициент теплопроводности - 0,246 Вт/(м·K);

- извлекать пергу из сотов следует при прочности гранул в поперечном направлении не менее 40 кПа;

- охлажденные соты рекомендуется перерабатывать на пергу и восковое сырьё при температурах ниже 10 °C;

- сепарацию гранулы перги от воскового сырья пчелиных сотов следует вести при скорости воздушного потока не ниже 6 м/с, при этом выделяется не менее 96% перги.

Полученные результаты использованы для теоретического и экспериментального обоснования параметров и режимов работы машин для получения перги из пчелиных сотов.

3. Центробежный скарификатор пчелиных сотов должен содержать емкость с вертикально установленным ротором и кассеты с закрепленной

удерживающей пластиной. При вращении ротора происходит прогиб удерживающих пластин, проволоки, армирующей пчелиный сот с разрывом стенок восковых ячеек последнего.

Теоретически установлено, что прогиб пчелиного сота зависит от жесткости удерживающей пластины, прочности армирующей проволоки и самого сота. Расчеты показывают, что при прогибе 40 мм, зазор между гранулами перги и стенками восковых ячеек составляет от 0,078 до 0,094 мм.

Выделение воскоперговой массы из пчелиного сота следует проводить на том же агрегате, что и центробежную скарификацию. При этом в агрегат нужно установить кассеты без удерживающей решетки и резиновой пластины, а сам сот с высушенной до влажности 14...15% пергой должен быть прогрет до температуры 40...42 °С.

Мощность на привод установки для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы зависит от времени разгона $t_{\text{раз}}$ и массы пчелиных сотов с пергой. При выделении воскоперговой массы максимальная мощность составляет $N=430...500$ Вт.

4. Для извлечения перги из охлажденной воскоперговой массы сотов предложен агрегат, включающий штифтовый измельчитель и пневматический сепаратор, размещенные последовательно на одном валу и обеспечивающие измельчение пчелиных сотов и разделение на гранулы перги и восковое сырьё.

Теоретически установлено, что расстояние между дном измельчителя и нижним штифтом должно быть не больше 2,24 мм, а для свободного прохождения гранул перги через выгрузную решетку расстояние между её прутками от 11,0 до 14,6 мм.

5. Установка для досушки гранул перги должна содержать калорифер, сушильный барабан с установленными внутри него сетчатыми радиальными перегородками, дозатор влажных гранул и устройство для наклона барабана. При работе установки происходит равномерное пересыпание и перемешивание высушиваемого продукта с совместным его нагревом за счет

кондукции при соприкосновении со стенками барабана и сетчатыми перегородками, и конвекции за счет продувки горячим воздухом.

Теоретически установлено, что скорость перемещения гранул перги в барабане сушилки складывается из осевых скоростей перемещения материала по цилиндрической поверхности барабана и радиальным сетчатым перегородкам, и зависит от диаметра барабана, частоты вращения и угла его наклона. Пропускная способность сушилки зависит от заполнения барабана, скорости перемещения и объемной массы гранул перги. Исходя из скорости движения частиц перги вдоль барабана и необходимого времени сушки установлено, что рациональной частотой вращения барабана $1,7 \dots 2,0 \text{ мин}^{-1}$, что соответствует пропускной способности сушилки $7 \dots 9 \text{ кг/ч}$.

6. Экспериментальные исследования в лабораторных условиях позволили выявить рациональные режимы работы разработанных машин и установок.

Экспериментально уточнено: скарификацию пчелиных сотов следует вести при угловой скорости вращения сота $35,58 \text{ с}^{-1}$, диаметре установки кассет в роторе 360 мм и толщине удерживающей резиновой пластины 1 мм марки 1Н-I-ТМКЩ-С-1 ГОСТ 7338-90; центробежное выделение воскоперговой массы необходимо проводить сразу после сушки перги в сотах, при её температуре $40 \dots 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$, и частоте вращения ротора 400 мин^{-1} ; в штифтовом измельчителе воскоперговой массы сотов необходимо использовать 4 штифта цилиндрической формы с диаметром 15 мм, рациональная площадь выгрузного окна 70 см^2 , при этом размер ячеек между прутками решетки $14 \times 14 \text{ мм}$ с диаметром прутка 2,7 мм, наибольший выход целых гранул перги и минимальное количество не отделенной восковой основы сотов наблюдается при угловой скорости вращения вала агрегата 157 с^{-1} ; сушку гранул перги следует вести в камере диаметром 0,25 м и длиной 1,0 м, при скорости сушильного агента 1,7 м/с, температуре $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$, угол наклона $1,1$ градусов и частота вращения барабана $1,9 \text{ мин}^{-1}$, при этом режиме затраты энергии минимальны и составляют 3,416 кВт-ч на килограмм

испаренной влаги.

7. В результате исследований машин в производственных условиях подтверждены и уточнены параметры и режимы работы:

- производительность центробежного скарифikatorа составляет 80 сот/ч, трудоемкость процесса 0,0125 чел-ч/сот, удельные затраты энергии 0,008 кВт-ч/сот, время сушки перги в сотах сокращается на 27-31 % по сравнению с нескарифицированными сотами, а удельные затраты энергии на сушку перги в сотах составляют не более 1,9 кВт-ч/сот;

- производительность центробежного выделителя воскоперговой массы из сотов составляет 140 сот/ч, трудоемкость процесса 0,01 чел-ч/сот, удельные затраты энергии на выделение воскоперговой массы сотов 0,005 кВт-ч/сот;

- производительность агрегата для извлечения перги составила 8,8 кг/ч, удельные затраты труда на извлечение перги из сотов 0,025 чел-ч/сот, расход воздуха 37 м³/ч, удельная энергоемкость процесса 0,0375 кВт-ч/кг, при этом количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а примесей восковой основы в готовом продукте 4,9%;

- производительность сушилки гранул перги составляет 8,4 кг/ч, разовый съем влаги - 1,5...2,5 %, удельные затраты энергии на сушку 1 кг гранул перги - 0,11 кВт-ч.

8. В результате оценки технико-экономического эффекта применения машин для получения перги из пчелиных сотов установлено, что при переработке 400 сотов от пасеки в сто пчелосемей можно получить прибыль от реализации готовой продукции в размере 87 тыс. рублей в год за счет снижения трудоёмкости процессов на 28 чел-ч, при этом повысив качество конечного продукта за счет снижения примесей восковой основы в 1,3 раза.

Предложения производству

Применение машин для получения перги из пчелиных сотов разработанных на основе научно-обоснованных решений и включающих:

центробежный скарифikator сотов; сушилку перги в сотах; центробежный выделитель воскоперговой массы из сотов; агрегат для извлечения перги из охлажденной воскоперговой массы; сушилку гранул перги, позволяет получать пергу соответствующую ГОСТ 31776-2012 в хозяйствах, содержащих до 100 и более пчелосемей. Обоснованные параметры и режимы машин разработанные на основе требований к отдельным операциям, обеспечивают необходимое качество получаемой перги и снижают эксплуатационные затраты на её производство.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейших научных исследованиях, с целью снижения затрат энергии, труда и автоматизации процесса получения готовой продукции, необходимо продолжить работу по согласованию производительности машин, входящих в линию переработки пчелиных сотов на пергу и восковое сырье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1635951 СССР, А 01К59/00. Способ обеззараживания цветочной пыльцы и перги /Шаповалов Г.А., Ульяничев Е.М., Кучма Т.Н. и др. – №4710452; Заявлено 13.04.89.
2. А.с. 1678265 СССР, А 01К59/00. Способ извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, А.А. Григорян (СССР). – № 4783906/30-15; Заявлено 10.11.1989; Опубликовано 23.09.91, Бюл. №35. – 3с.
3. А.с. № 1192757 СССР, А01К59/00. Способ извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.А. Стройков (СССР). - № 3749206/30-15; Заявлено 10.04.84; Опубликовано 23.11.85. Бюл. № 43. – 2с.
4. А.с. № 1195961 СССР, А01К59/06. Устройство для извлечения продуктов пчеловодства из сотов / И.А. Дудов, Ю.В. Донченко, А.Н. Малик, Н.К. Шокун, В.Ф. Бабичев, В.В. Волошенко (СССР). – № 3702912; Заявлено 20.02.84; Опубликовано 07.12.85, Бюл. № 45. – 2с.
5. А.с. № 1386129 СССР, А 01 К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников (СССР). – № 3964232; Заявлено 09.09.85; Опубликовано 07.04.88, Бюл. № 13. – 2с.
6. А.с. № 184556 СССР, А 01К59/02. Установка для распечатывания сотов / И.П. Евдокименко (СССР). - № 931693/30-15; Заявлено 30.11.64; Опубликовано 21.7.1966. Бюл. № 15.
7. А.с. № 361779 СССР, А 01К59/06. Устройство для извлечения твердого материала / П.В. Бибииков, Л.А. Бондарь (СССР). - № 1653907/30-15; Заявлено 12.04.71; Опубликовано 09.02.73, Бюл. № 2. – 2с.
8. А.с. № 820761 СССР, А 01К59/02. Устройство для вскрытия медовых сотов / В.А. Черный, Н.Г. Плотникова, В.В. Ворожбитов (СССР). – № 2510326/30-15; Заявлено 21.07.77; Опубликовано 15.04.81, Бюл. № 14.
9. А.с. № 814298 СССР, А 01К59/06. Устройство для извлечения воска из рамок с сушью / Ф.В. Смирнов (СССР). – № 2840678/30-15; Заявлено 19.09.79; Опубликовано 23.03.81, Бюл. № 11.

10. А.с. №1230566СССР, А 01К59/00. Способ получения перги из пчелиных сотов / И.А. Дудов, Ю.В. Донченко (СССР). – № 3587058/30-15; Заявлено 31.03.83; Опубликовано 15.05.86, Бюл. № 18.
11. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
12. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред.А.В. Александрова. – 3-е изд. испр.– М.: Высшая школа, 2003. - 560 с.
13. Астрацкене, А.Э. Исследование аминок- и жирнокислотного состава перги / А.Э. Астрацкене, Г.С. Швирмицкас, В.П. Швирмицкене // Апитерапия и пчеловодство, Гадяч. - 1991. - С. 187-190.
14. Астрацкене, А.Э. Что мы знаем о перге. / А.Э Астрацкене, К.В. Кадзядскене // Пчеловодство. – 1990. – №7. – С.30–32.
15. Атаназевич, А.С. Сушка зерна / А.С. Атаназевич. - М.: Агропромиздат, 1989. - 240 с.
16. Барков, В.Г. Перга не плесневеет / В.Г. Барков // Пчеловодство. – 1984. – №9. – С.25.
17. Бекетов, В.Н. Применение пыльцевой обножки в комплексном лечении железодефицитных анемий / В.Н. Бекетов // Пчеловодство и апитерапия. - 2005. - № 1. - С. 46-47.
18. Билаш, Н.Г. Влияние запасов перги на качество пчел / Н.Г. Билаш // Пчеловодство. – 1990. – №4. – С.6-7.
19. Билаш, Н.Г. Технология сбора цветочной пыльцы / Н.Г. Билаш. - Рыбное: НИИ пчеловодства, 1999. - 13 с.
20. Блехман, И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман – М.: Изд-во «Физматлит», 1994. – 400с.
21. Бойко, И.Д. Белковый корм к весне / И.Д. Бойко // Пчеловодство. – 1986. – №2. – С.25.

22. Бронников, В.И. Исследование физико-механических свойств перги и воскового вороха / В.И. Бронников, Д.Е. Каширин // Современные энерго и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов. Часть 2. – Рязань: РГСХА, 1999. - С. 70-71.

23. Бронников, В.И. Режимы пневмосепарирования измельченной массы перговых сотов / В.И. Бронников и др. // Сб. науч. тр. Совершенствование сельскохозяйственной техники применяемой в животноводстве. - Горький, 1990. - С.9-13.

24. Бронников, В.И. Цветочная пыльца в питании человека, медицине и косметике / В.И. Бронников // Новые разработки в технологии кормоприготовления: Материалы научно практической конференции. - Рязань, 1991. - С. 137-140.

25. Бышов, Н.В. Вопросы теории энергосберегающей конвективной циклической сушки перги / Н.В. Бышов, Д.Е.Каширин // Монография. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 70 с.

26. Бышов, Н.В. Вопросы теории механизированной технологии извлечения перги из перговых сотов / Н.В.Бышов, Д.Е.Каширин // Монография. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 113 с.

27. Бышов, Н.В. Исследование установки для извлечения перги из сотов / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 2. – С. 31–32.

28. Бышов, Н.В. Модернизированная энергосберегающая установка для сушки перги / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 1. – С. 26–27.

29. Бышов, Н.В. Обоснование параметров измельчителя перговых сотов / Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 1. – С. 29–30.

30. Варгафтик, Н.Б.Теплофизические свойства веществ / Под ред. Н.Б. Варгафтика– М.-Л., Госэнергоиздат, 1956.

31. Вахонина, Т.В. Заготовка и способ консервации цветочной пыльцы (обножки)/ Т.В. Вахонина. - Рыбное: НИИ пчеловодства, 1986. - 12 с.
32. Вахонина, Т.В. Незаменимая добавка к пище / Т.В. Вахонина // Пчеловодство. - 1997. - № 5. - С. 49-51.
33. Винокуров, С.В. Определение периодов обдува перговых сотов нагретым и атмосферным воздухом при их конвективной сушке в осциллирующем режиме / С.В. Винокуров, В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников // Перспективные разработки в области механизации сельского хозяйства: сборник научных трудов. – Рязань: РГСХА, 2001. – С. 15–17.
34. Винокуров, С.В. Технология и установка для сушки перги в сотах: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Винокуров Святослав Викторович. – Рязань, 2002. – 196 с.
35. Гинзбург, А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности/ А.С. Гинзбург.– М.: Агропромиздат, 1985.- 336 с.
36. ГОСТ 11.003-71 Равномерно распределенные случайные числа.
37. ГОСТ 31776-2012 Перга. Технические условия. –М.: Стандартинформ, 2013. - 19 с.
38. ГОСТ Р 7.0.11-2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления.
39. Гришин, М.А. Установки для сушки пищевых продуктов: Справочник / М.А. Гришин, В.И. Атаназевич, Ю.Г. Семёнов. - М.: Агропромиздат, 1989. - 215 с.
40. Гусев, Ю.И. Конструирование и расчет машин химических производств // Ю.И. Гусев и др. - М.: Машиностроение, 1985. - 408 с.
41. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. - М.: Энергоиздат, 1986. - 136 с.
42. Даутов, А.Х. Роль пыльцевой обножки в создании продуктов функционального назначения / А.Х. Даутов // Пчеловодство и апипитерapia. - 2005. - № 4. - С. 44.

43. Дерегин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерегин, И.А. Кротова, В.П. Смилга. - М.: Наука, 1973. - 280с.
44. Дмитривич, А.Д. Определение теплофизических свойств строительных материалов / А.Д. Дмитривич. - М.: Госстройиздат, 1963. - 204 с.
45. Дорофеюк, М.Т. Перга ранней весной / М.Т. Дорофеюк // Пчеловодство. – 1982. – № 4. – С. 23-24
46. Журавлев, А.В.К вопросу очистки рамок от воскового сырья центробежными силами / А.В. Журавлев, С.А. Сутягин, В.И. Курдюмов // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. – 2015. - № 4 (28). - С. 83-85.
47. Зарецкий, Н.Н. Использование пчел в теплицах /Н.Н. Зарецкий. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 190с.
48. Зимон, А.Д. Адгезия пищевых масс / А.Д. Зимон. - М.: Агропромиздат, 1985. 272 с.
49. Иваненко, Т.П. Заготовка и хранение перги / Т.П. Иваненко // Пчеловодство. – 1960. – №5. –С.43.
50. Иойриш, И.П. Продукты пчеловодства и их использование / И.П. Иойриш. – М.: Россельхозиздат, 1976, – 175с.
51. Ионов, В.Н. Динамика разрушения деформированного тела / В.Н. Ионов, В.В. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1987 – 272 с.
52. Исаев, Х.М. Сушилка аэродинамического подогрева / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, И.И. Коновалова // Сельский механизатор. – 2016. – № 10. – С. 5.
53. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко и др. - М.: Энергоиздат, 1969. - 417 с.
54. Кадзацкене, К.В. Показатели качества цветочной пыльцы / К.В. Кадзацкене, А.Ю. Мачекас. – Пчеловодство. - 1987. - № 3. - С. 28-29.
55. Калашников, С.В. Готовлю сухую пергу / С.В. Калашников // Пчеловодство. – 1993. – №7. – С.30.
56. Карпенко, Г.В. Факторы, влияющие на процесс сушки зерна / Г.В. Карпенко, В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.А. Макаров // Материалы

VIII международной научно-практической конференции. Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Часть I. – Ульяновск, УГСХА, 2017. – С. 133-137.

57. Касьянов, А.И. Соты - основа гнезда пчелиной семьи / А.И. Касьянов, В.И. Лебедев // Пчеловодство. – 2014. – № 4. – С. 52-55.

58. Каширин, Д.Е. Качество перги, стабилизированной различными способами, в процессе ее хранения / Д.Е. Каширин, М.Н. Харитонов // Инновационные технологии в пчеловодстве: материалы науч.- практич. конф. – Рыбное, 2006. – С.195–197.

59. Каширин, Д.Е. Конвективная сушка перги/ Д.Е. Каширин // Пчеловодство. – 2009. – №8. – С.46–47.

60. Каширин, Д.Е. Обоснование параметров установки для извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 11. – С. 26–27.

61. Каширин, Д.Е. Способ и устройство для извлечения перги / Д.Е. Каширин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2010. – №5. – С.34–36.

62. Каширин, Д.Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Каширин Дмитрий Евгеньевич. / ФГБОУ ВПО "МГУ им. Н.П. Огарева". Рязань, 2013. – 37 с.

63. Каширин, Д.Е. Энергосберегающая установка для сушки перги / Д.Е. Каширин // Вестник КрасГАУ. – 2009. – №12. – С.189–191.

64. Комиссар, Д.А. Перга - новый продукт пчеловодства / Д.А. Комиссар, Г.А. Миронов // Пчеловодство. – 1993. – №3. – С.42.

65. Коновалов, В.В. Исследование дискового ножевого измельчителя кусковых материалов / В.В.Коновалов В.В., А.В. Чупшев А.В., В.П. Терюшков В.П., А.И. Бобылев, И.А.Воронова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 2 (30). – С. 42-48.

66. Коновалов, В.В. Параметрическая оптимизация стальных канатов при действии поперечных статических нагрузок / В.В. Коновалов, Д.А. Тарасов // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2015. – Т. 13. – С. 3661-3665.
67. Коновалов, В.В. Результаты численного моделирования силового воздействия на материал наклонного вращающегося барабана / В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев, А.И. Бобылев, Н.В. Димитриев // Нива Поволжья. – 2017. – №1(42). – С. 77-85.
68. Космович, Е.К. Перга из выбракованных сотов / Е.К. Космович // Пчеловодство. – 1981. – №4-5. – С.43.
69. Костенко, М.Ю. Обоснование конструктивных параметров заслонки измельчителя пчелиных сотов/ М.Ю. Костенко, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: Материалы 68-ой международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2017.– С. 117-119.
70. Кочетков, А.С. Опыление тепличного огурца / А.С. Кочетков // Пчеловодство. – 1981. – №2. – С.12.
71. Кошляков, Н.С. и др. Уравнения в частных производных математической физики. - М.: Высшая школа, 1970.
72. Кривцов, Н.И. Пчеловодство / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев, Г.М. Туников - М.: Колос, 1999. - 399 с..
73. Купреенко, А.И. К обоснованию режима работы резервных систем подогрева и вентиляции барабанной гелиосушилки / А.И. Купреенко, А.Н. Ченин // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 2. – С. 30-31.
74. Купреенко, А.И. К определению температуры нагрева объекта теплового воздействия в гелиоустановках / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, Х.М. Исаев, А.Н. Ченин, Г.В. Шкуратов // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. - № 3. - С. 20-22.

75. Купреенко, А.И. Сушилка аэродинамического подогрева / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, И.И. Коновалова // Сельский механизатор. – 2016. – № 10. – С. 5

76. Купреенко, А.И. Тепловой баланс вентиляционно-отопительной панели / А.И. Купреенко, Х.М.Исаев, Г.В.Шкуратов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 4 (24). – С. 24-26.

77. Купреенко, А.И. Уравнение теплового баланса воздушного гелиоколлектора с аккумулятором теплоты / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, Х.М. Исаев, А.Н. Ченин А.Н., Г.В. Шкуратов // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 33-36.

78. Курдюмов, В.И. Повышение качества тепловой обработки сыпучих материалов в установке контактного типа / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин, В.И. Долгов, Д.А. Новичков, П.С. Агеев // Материалы VIII международной научно-практической конференции. Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Часть I. – Ульяновск, УГСХА, 2017. – С. 229-233.

79. Курдюмов, В.И. Результаты производственных исследований установки контактного типа для тепловой обработки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (34). – С. 174-178.

80. Лайцанский Л.Г. Курс теоретической механики / Л.Г. Лайцанский, А.И. Лурье т1, т2 – М.: Изд-во «Наука», 1982.

81. Ларин, А.В. Технология извлечения перги из пчелиных сотов с разработкой установки для их скарификации: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Ларин Александр Васильевич. – Рязань, 2007. – 21 с.

82. Лебедев, В.И. Научно обоснованная технология получения перги на пасеке / В.И. Лебедев, М.Н. Харитонов // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. – Рыбное, 2016. – С. 122-129.
83. Лебедев, В.И. Научно обоснованный регламент производства продуктов пчеловодства / В.И. Лебедев, М.Н. Харитонов // Пчеловодство. – 2017. – № 2. – С. 46-50.
84. Лебедев, В.И. Пчеловодство России / В.И. Лебедев, Л.В. Прокофьева, Ю.В. Докукин // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству – Рыбное, 2016. – С. 3-9.
85. Лебедев, П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1963.
86. Левченко, П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. – М.: Высшая школа, 1968.
87. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. - М.: Энергия, 1968. - 470 с.
88. Мадзгарашвили, Г.Д. Еще раз о сушке цветочной пыльцы / Г.Д. Мадзгарашвили, Н.Г. Брегадзе // Пчеловодство. - 1994. - № 5. - С. 55-56.
89. Макарова, В.Г. / Продукты пчеловодства: биологические и фармакологические свойства, клиническое применение. Избранные лекции. // В.Г. Макарова, Д.Г. Узбекова, М.В. Семенченко, Е.Н. Якушева, Б.К. Романов. – Рязань 2000. – 198 с.
90. Мамонов, Р.А. Анализ средств сепарации перги от восковой основы пергового сота после измельчения / Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: Материалы 65-ой международной научно-практической конференции. - Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. Часть 2. – С. 53-56.
91. Мамонов, Р.А. Лабораторные испытания установки для центробежного отделения воскоперговой массы пчелиных сотов/ Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, А.М. Афанасьев // Принципы и технологии

экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: Материалы 68-ой международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2017.– С. 169-172.

92. Мамонов, Р.А. Механизация и экономические аспекты промышленного производства перги / Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, В.Д. Хмыров // Инновационное развитие агропромышленного комплекса России: Материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 128-131.

93. Мамонов, Р.А. Повышение эффективности извлечения перги в штифтовых измельчителях / Р.А. Мамонов, В.В. Миронов // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: Материалы 68-ой международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2017.– С. 172-176.

94. Мамонов, Р.А. Результаты испытания сушилки перги / Р.А. Мамонов, К.Е. Бубенчиков // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: Материалы 68-ой международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2017.– С. 165-168.

95. Мамонов, Р.А. Результаты лабораторных исследований штифтового измельчителя пчелиных сотов с вертикальным рабочим органом / Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, К.В. Буренин // Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона: Материалы 67-ой международной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 50-53.

96. Мамонов, Р.А. Свойства меда и сотов необходимые для конструирования комплексного агрегата / Р.А. Мамонов, А.М. Афанасьев, М.Ю. Афанасьев // Пчеловодство. – 2017. - № 7. - С. 39–41.

97. Мамонов, Р.А. Сравнения теоретических и экспериментальных исследований центробежной скарификации пчелиных сотов / Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко, А.М. Афанасьев // Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона: Материалы 67-ой международной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 9-13.
98. Мамонов, Р.А. Теория взаимодействия вращающегося штифта, гранулы перги и дна в измельчителе / Р.А. Мамонов, В.Д. Левин, К.В. Буренин // Вестник АПК Ставрополя. – 2017. - № 2(26). – С. 27–29.
99. Мамонов, Р.А. Выбор способа сушки пыльцевой обножки / Мамонов Р.А. // Экологические аспекты производства, переработки и использования продуктов пчеловодства. – Рыбное, 2005. – С. 109-111.
100. Мамонов, Р.А. Определение скоростей витания частиц обножки. / Мамонов Р.А. // Интенсивные технологии производства продуктов пчеловодства, их переработка и применение. – Рыбное, 2007. – С. 82-84.
101. Мамонов, Р.А. Исследование процесса измельчения перговых сотов в агрегате АИП-30/ Р.А. Мамонов, К.В. Буренин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития», Издательство ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – С. 571-574.
102. Мамонов, Р.А. Свойства меда и сотов необходимые для конструирования комплексного агрегата / Р.А. Мамонов, А.М. Афанасьев, М.Ю. Афанасьев // Пчеловодство. – 2017. - № 7. - С. 39–41.
103. Мамонов, Р.А. Теория процесса центробежной скарификации пчелиных сотов / Р.А. Мамонов // Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. – 2018. - № 2 (38). - С. 102-107.
104. Мамонов, Р.А. Технологические свойства пыльцы / Мамонов Р.А. // Пчеловодство, №5, 2007. – С. 54-55.
105. Мамонов, Р.А. Технология заготовки и подготовки пчелиных сотов к промышленной переработке на пергу и восковое сырье / Р.А.

Мамонов, Т.В. Торженева // Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. – 2013. - № 2. - С. 30-33.

106. Мамонов, Р.А. Технология и сушиллка пыльцевой обножки: дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Мамонов. – Рязань, 2008. – 182 с.

107. Мартынов, А.Г. Осеннее кормление пчел / А.Г. Мартынов // Пчеловодство. - 1997. - № 8. - С. 32-35.

108. Мастицкий, Д.С. Нельзя без перги / Д.С. Мастицкий // Пчеловодство. – 1990. – №2. – С.34.

109. Мегель, А.Г. Пчеловодство / А.Г. Мегель, В.П. Полищук. - К.: Высшая школа, 1990. - 325 с.

110. Мельников, С.В. Планирование экспериментов в исследовании сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. Л.: Колос, 1980. - 168 с.

111. Музалевский, В.М. Стерилизация пыльцы / В.М. Музалевский // Пчеловодство. - 2001. - № 5. - С. 10-11.

112. Налимов, В.В. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.В. Налимов. - М.: Металлургия, 1982. - 750с.

113. Настольная машинка по производству / выколачиванию пчелиной перги "Spragilas" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://old.wilara.lt/ru/329-2240/stalin-bi-i-duonel-s-k-limo-ma-in-l-spragilas-tisch-erntemaschine-f-r-bienenbrot-bbm-mini>.

114. Насыбуллина, Н.М. Клинические оценка препаратов «Винибис» / Н.М. Насыбуллина, О.И. Пикуза, Ж.Ж. Сибгатуллин, Г.Ж. Сибгатуллина, С.Н. Румянцев // Пчеловодство. – 2002. – №8. – С.55-56.

115. Наумкин, Е.П. Аминокислотный состав пыльцы / Е.П. Наумкин // Пчеловодство. - 1984. - № 10. - С. 23-24.

116. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1980. - 469 с.

117. Некрашевич В.Ф. Улучшение технологических свойств перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, А.А. Григорян. – Сборник докладов молодых ученых. – Алма-Ата, 1990. – Ч. 1. – С.27-29.
118. Некрашевич В.Ф. Устройство для измельчения перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин // Пчеловодство. – 2003. – №2. – С.52–53.
119. Некрашевич В.Ф. Цветочная пыльца – сырье для производства перги пчелами / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, А.А. Григорян // Новые разработки в технологии кормоприготовления: материалы научно практической конференции. – Рязань: РСХИ, 1991. – С.132-136.
120. Некрашевич, В.Ф. Развитие производства перги в России / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева // Пчеловодство. – 2010. – №6. – С. 48-49.
121. Некрашевич, В.Ф. Сушка перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров // Пчеловодство. – 2003. – №1. – С.51.
122. Некрашевич, В.Ф. Агрегат АИП-10 для извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун // Пчеловодство. 2014. - № 9. - С. 58-59.
123. Некрашевич, В.Ф. Агрегата для извлечения перги из пчелиных сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, А.Г. Чепик, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева, М.Е. Троицкая // Пчеловодство. - 2009. - № 9, - С. 47-48.
124. Некрашевич, В.Ф. Анализ способов и средств скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, М.В. Коваленко // Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве: Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции. – Рязань, 2011. – С. 111-114.
125. Некрашевич, В.Ф. Анализ способов сушки перги и выбор сушилки / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, К.В. Буренин, К.Е. Бубенчиков // Инновационное развитие агропромышленного комплекса России: Материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 151-157.

126. Некрашевич, В.Ф. Анализ средств измельчения перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной юбилею специальных кафедр инженерного факультета (60 лет кафедрам «Эксплуатации машино-тракторного парка», «Технологии металлов и ремонта машин», «Сельскохозяйственные, дорожные и специальные машины», 50 лет кафедре «Механизации животноводства». – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – С. 245-251.

127. Некрашевич, В.Ф. Барабанная сушилка для пыльцевой обножки / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов // Пчеловодство. - 2007. - № 7. - С. 52-53.

128. Некрашевич, В.Ф. Влияние температуры на коэффициент трения пчелиного сота о нержавеющую сталь / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, В.В. Миронов, А.М. Афанасьев // Пчеловодство. – 2017. - № 2. - С. 42–43.

129. Некрашевич, В.Ф. Извлекать пергу стало проще / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева. // Пчеловодство. - 2012. - № 9. - С. 46-47.

130. Некрашевич, В.Ф. Извлечение перги из пчелиных сотов. /В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин, С.В. Винокуров // Пчеловодство. – 2002. – №5. – С.47–48.

131. Некрашевич, В.Ф. Извлечение перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, А.С. Стройков, В.И. Бронников // Пчеловодство. - 1988. - № 9. - С. 29.

132. Некрашевич, В.Ф. Инновационная технология и средства механизации в пчеловодстве. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.Н. Щипачев, М.В. Коваленко // Материалы III Международного форума пчеловодов «Медовый мир». – Ярославль, 2012. – С. 24-25

133. Некрашевич, В.Ф. Инновационная технология извлечения перги из пчелиных сотов и экономические аспекты её производства / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженева, Р.А. Мамонов, А.М. Афанасьев // Наилучшие

доступные технологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2016. – С. 49-54.

134. Некрашевич, В.Ф. Исследование аэродинамических свойств воскового сырья и гранул перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Пчеловодство. – 2014. - № 8. - С. 52-54.

135. Некрашевич, В.Ф. Исследование процесса измельчения перговых сотов в агрегате АИП-30 / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун // «Исследования молодых ученых - аграрному производству»: Материалы онлайн-конференции, посвященной Дню российской науки - Белгород: Белгородский ГАУ, 2015. – С. 91– 93.

136. Некрашевич, В.Ф. Исследование способов скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин, Т.В. Торженева, А.В. Ларин // Энергосберегающие технологии использования и ремонта машинно-тракторного парка: сборник материалов науч. прак. конф. – Рязань, РГСХА. – 2004. – С.118–121.

137. Некрашевич, В.Ф. Комбинированный агрегат для переработки пчеловодной продукции / В.Ф. Некрашевич, А.А. Курочкин, А.М. Афанасьев // Пчеловодство. – 2016. – № 5. – С. 48-49.

138. Некрашевич, В.Ф. Комплект оборудования для заготовки перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 121–125.

139. Некрашевич, В.Ф. Механизация пчеловодства / В.Ф. Некрашевич, Ю.М. Кирьянов – Рязань, 2005. - С. 258-259.

140. Некрашевич, В.Ф. Механизированное извлечение перги / В.Ф. Некрашевич, А.В. Ларин, Т.В. Торженева // Пчеловодство. – 2008. – №8. – С.50–52.

141. Некрашевич, В.Ф. Определение количества перги в сотах при организационно-экономических взаимоотношениях пчеловодов и переработчиков / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, М.В.

Коваленко, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Вестник РГАТУ. – 2014. - № 4. – С. 77-81.

142. Некрашевич, В.Ф. Определение периодов обдува перговых сотов нагретым и атмосферным воздухом при их конвективной сушке в осциллирующем режиме / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров // Перспективные разработки в области механизации сельского хозяйства: Сб. науч. тр. - Рязань, 2001. - С. 15-17.

143. Некрашевич, В.Ф. Определение теплофизических свойств воскового сырья / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Р.А. Мамонов, Н.Е. Лузгин, Н.А. Грунин, М.В. Урляпов, А.И. Ушаков // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. Том II. – С.115-119.

144. Некрашевич, В.Ф. Перга: технология, оборудование и экономические аспекты её производства / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, А.Г. Чепик, Т.В. Торженева, М.В. Коваленко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1. – С. 139-143.

145. Некрашевич, В.Ф. Разработать, исследовать и внедрить технологию извлечения перги из перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, А.А. Григорян. – Отчет о научно-исследовательской работе по теме №7: подраздел 7.4.1. Рязань, – 1989. – 62с.

146. Некрашевич, В.Ф. Результаты выбора способа скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, М.В. Коваленко // «Молодежь и инновации – 2013» материалы междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых. - г. Горки, РБ, 2013. – С. 295-297.

147. Некрашевич, В.Ф. Результаты испытания барабанной сушилки пыльцевой обножки / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.Е. Бубенчиков // Научно-практические инициативы и инновации для развития регионов

России: Материалы национальной научной конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2015. – С. 78-83.

148. Некрашевич, В.Ф. Результаты исследования прочностных свойств гранул перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. – Барнаул: РИО АГАУ, 2014. Кн. 3. – С. 42-44.

149. Некрашевич, В.Ф. Результаты исследования прочностных свойств перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко, К.В. Буренин // Современная наука глазами молодых ученых: достижения, проблемы, перспективы: Материалы межвузовской научно- практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. Часть 1. – С. 33-37.

150. Некрашевич, В.Ф. Результаты лабораторных исследований влияния окружной скорости штифта на процесс разрушения пчелиных сотов в вертикальном измельчителе / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, К.В. Буренин, В.В. Миронов // Инновационное развитие агропромышленного комплекса России: Материалы национальной научно- практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 163-167.

151. Некрашевич, В.Ф. Совершенствование средств механизации первичной переработки продукции пчеловодства/ В.Ф. Некрашевич, А.А. Курочкин, А.М. Афанасьев // Инновационная техника и технология – 2016. – № 1. – С. 19-23.

152. Некрашевич, В.Ф. Определение теплофизических характеристик воскового сырья / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Р.А. Мамонов и др. // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сборник трудов научных чтений / под ред. Н.В. Бышова. – Вып. 11. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – С. 137-142.

153. Некрашевич, В.Ф. Способ выделения воскоперговой массы из рамок / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, А.М. Афанасьев //

Вестник совета молодых ученых. – Рязань: Издательство РГАТУ. – 2015. – №1 – С. 162-165

154. Некрашевич, В.Ф. Сравнительная оценка заготовки обножки и перги / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженева, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун, М.С. Потапов // Пчеловодство. – 2015. - № 5. - С. 60–62.

155. Некрашевич, В.Ф. Средства механизации измельчения пчелиных сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Е.И. Буренина, К.В. Буренин, В.В. Миронов // Инновационное развитие агропромышленного комплекса России: Материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2016, Часть 2. – С. 157-162.

156. Некрашевич, В.Ф. Сушка перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров // Пчеловодство. – 2003. – № 1. – С. 51-52.

157. Некрашевич, В.Ф. Теория движения материала в барабанной сушилке пыльцевой обножки и перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, В.Д. Левин // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. – 2014. - № 4. - С. 73-76.

158. Некрашевич, В.Ф. Теория процесса взаимодействия нижнего штифта, гранулы перги и днища вертикального измельчителя перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, М.Ю. Костенко, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Инновационная техника и технология. – 2016. – № 2. – С. 19-24.

159. Некрашевич, В.Ф. Теория процесса сепарации гранул перги через отверстия выгрузной решетки измельчителя пчелиных сотов / В.Ф. Некрашевич, М.Ю. Костенко, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. – 2016. - № 3. - С. 61–65.

160. Некрашевич, В.Ф. Теория центробежной скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, А.С. Попов, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. – 2014. - № 2. - С. 41-44.

161. Некрашевич, В.Ф. Технологическая линия извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко, Н.Б. Нагаев, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Пчеловодство. – 2015. - № 9. - С. 56–59.

162. Некрашевич, В.Ф. Технология промышленной переработки перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева // Пчеловодство. – 2011. - № 3. - С. 48-50.
163. Некрашевич, В.Ф. Технология, средства механизации и экономика производства перги / Некрашевич В.Ф., Мамонов Р.А., Торженева Т.В., Коваленко М.В. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – 102 с.
164. Некрашевич, В.Ф. Центробежная скарификация перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко // Пчеловодство. – 2013. - № 8. - С. 54-55.
165. Некрашевич, В.Ф. Энергосберегающая технология и средства механизации извлечения перги из пчелиных сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко, Т.В. Торженева, К.В. Буренин // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию института механики и энергетики. Энергоэффективные и энергосберегающие технологии и системы. – Саранск, 2012. – С. 128-132.
166. Некрашевич, В.Ф. Оптимальный угол течения воска / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Р.А. Мамонов, Н.А. Грунин, К.В. Буренин, Д.А. Епифанцев // Пчеловодство. – 2014. - № 10. - С. 45-48.
167. Никифорова Н.В. Эффективность опыления тепличных томатов / Н.В. Никифорова // Пчеловодство. – 1982. - №1. – С.14.
168. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. - Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304с.
169. Омаров, Ш.М. Апитерапия при заболеваниях желудочно-кишечного тракта / Ш.М. Омаров // Пчеловодство. - 1995. - № 12. - С. 16-18.
170. Осипов, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В.А. Осипов. - М.: Энергия, 1969. - 392 с.
171. Патент на изобретение № 2309797 РФ, МПК В02С 2/04. Измельчитель перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 04.04.2006; опубл. 10.11.2007, бюл. № 31. – 6с.

172. Патент на изобретение № 2391610 РФ, МПК F26B 9/06. Установка для сушки перги / Д.Е. Каширин. – Заявл. 16.03.2009; опубл. 10.06.2010, бюл. № 16. – 7с.

173. Патент на изобретение 2366874 РФ, МПК F26B5/02. Акустическая сушилка / Сибгатуллин Ж. Ж., Ахметова Л.Т., Шабалин А.В., Шарин И.А. (РФ) – Оpub. 10.09.2009, бюл. №25.

174. Патент на изобретение № 2086245 РФ, МПК A61K35/64. Способ получения лечебно-профилактического продукта «шифа» из перги / Ж.Ж. Сибгатуллин, С.Н. Румянцев, Н.М. Жариков, А.М. Валеева, Т.А. Ильясов (РФ) – Заявл. 17.03.1992; опубл. 10.08.1997, бюл. № 16. – 7с.

175. Патент на изобретение № 2140169 РФ, МПК A23L1/076; A61K35/64. Способ производства лекарственной субстанции – перги и установка для осуществления способа / Ж.Ж. Сибгатуллин, И.А. Шарин, Л.Т. Ахметова (РФ) – Заявл. 10.03.1998; опубл. 27.10.1999, бюл. № 6. – 10с.

176. Патент на изобретение № 2171715 РФ, МПК B02C 13/284. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 05.07.1999; опубл. 10.08.2001, бюл. № 22. – 4с.

177. Патент на изобретение № 2185726 РФ, A01K59/00. Способ извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров (РФ)– Заявл. 08.12.2000; опубл. 27.07.2002, бюл. № 21.

178. Патент на полезную модель № 81657 РФ, B02C13/02. Измельчитель перговых сотов / Ю.Н. Кирьянов, К.В. Богомоллов (РФ). № 2008143934/22; Заявлено 05.11.2008; Опубликовано 27.03.2009. Бюл. № 9.

179. Патент на изобретение № 2275563 РФ, МПК F26B 3/04; F26B 21/04. Установка для сушки перги в сотах / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 29.11.2004; опубл. 27.04.2006, бюл. № 12. – 5с.

180. Патент на изобретение № 2275800 РФ, МПК A01K 59/00. Установка для извлечения перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 28.12.2004; опубл. 10.05.2006, бюл. № 13. – 6с.

181. Патент на изобретение № 2280981 РФ, А01К59/02. Установка для скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Д.Е. Каширин, А.В. Ларин (РФ) - Заявл. 15.02.2005; Оpubл. 10.08.2006, бюл.№22.

182. Патент на изобретение № 2297763 РФ, МПК А01К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 05.12.2005; опубл. 27.04.2007, бюл. № 12. – 4с.

183. Патент на изобретение № 2302729 РФ, МПК А01К 59/00; В07В 1/40. Вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сот / Д.Е. Каширин, Н.Г. Кипарисов, А.М. Лавров (РФ) – Заявл. 14.11.2005; опубл. 20.07.2007, бюл. № 20. – 6с.

184. Патент на изобретение № 2326531 РФ, МПК А01К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Ларин, М.Е. Троицкая (РФ) – Заявл. 19.12.2006; опубл. 20.06.2008, бюл. № 17. – 4с.

185. Патент на изобретение № 2360407 РФ, МПК А01К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 02.04.2008; опубл. 10.07.2009, бюл. № 19. – 5с.

186. Патент на изобретение № 2367150 РФ, МПК А01К 59/00. Установка для извлечения перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 19.05.2008; опубл. 20.09.2009, бюл. № 26. – 7с.

187. Патент на изобретение № 2397639 РФ, МПК А01К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 17.04.2009; опубл. 27.08.2010, бюл. № 24. – 5с.

188. Патент на изобретение № 2412590 РФ, МПК А01К 59/00. Установка для извлечения и очистки перги из сотов / Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 07.12.2009; опубл. 27.02.2011, бюл. № 6. – 9с.

189. Патент на изобретение № 2452175 РФ, А01К 59/00. Агрегат для извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженкова, С.В. Некрашевич, Р.А. Мамонов (РФ) – Заявл. 22.11.2010; опубл. 10.06.2012, бюл. № 16.

190. Патент на изобретение № 2464781 РФ, А01К 59/00. Способ извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева (РФ) – Заявл. 22.11.2010; опубл. 27.05.2012, бюл. № 15.

191. Патент на изобретение № 2472340 РФ, А01К 59/00. Способ скарификации перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко (РФ) - Заявл. 08.06.2011; опубл. 20.01.2013, бюл. № 2.

192. Патент на изобретение № 2488269 РФ, А01К 59/02. Способ извлечения перги из сотов. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева (РФ) - Заявлено 14.06.2012; опубл. 27.07.2013, бюл. № 21.

193. Патент на изобретение № 93302 РФ, МПК В02С 13/02. Измельчитель перговых сотов /Д.Е. Каширин (РФ) – Заявл. 26.01.2010; опубл. 27.04.2010, бюл. № 12. – 2с.

194. Патент на изобретение №227556 РФ, МПК F26B21/04. Установка для сушки перги в сотах / Д.Е. Каширин (РФ) – Оpubл. 27.04.2006, бюл. №12.

195. Патент на изобретение № 2498178 РФ, F26B9/06. Устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.В. Журавлев (РФ). № 2012122841/06; Заявлено 01.06.2012; Опубликовано 10.11.2013 Бюл. № 31.

196. Патент на изобретение №2549380 РФ, МПК F26B15/04. Устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.В. Журавлёв (РФ) – Оpubл. 27.04.2015, бюл. №12.

197. Патент на изобретение №2553236 РФ, А01К 59/00. Способ извлечения перги. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин (РФ) - Заявлено 21.03.2014; опубл. 10.06.2015, бюл. №16 .

198. Патент на изобретение №2569482 РФ, А01К 59/02. Способ отделения воскоперговой массы от ульевого рамки. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, М.В. Коваленко, Е.И. Буренина, А.Г. Чепик, Г.А. Шабуров (РФ) - Заявлено 02.06.2014; Оpubл. 27.11.2015, бюл. № 33.

199. Патент на изобретение №2578782 РФ, МПК F26B9/06. Установка для сушки перги / Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, Д.Н. Бышов, М.А. Милютин, А.А.Полякова (РФ) – Опубликовано 27.03.2016, бюл. №9.

200. Патент на изобретение №2615832 РФ, А01К 59/00. Комбинированный агрегат для откачки мёда, скарификации перговых сотов и выделения воскоперговой массы из сотов. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, А.М. Афанасьев (РФ) - Заявлено 22.04.2016; опубл. 11.04.2017, бюл. №11.

201. Патент на полезную модель № 144486 РФ, А01К 59/00. Агрегат для извлечения пегги. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин, Е.И. Буренина (РФ) - Заявлено 29.10.2013; опубл. 20.08.2014.

202. Патент на полезную модель № 50644 РФ, F26B 11/04. Барабанная сушилка для сыпучих термочувствительных материалов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов (РФ) - Заявлено 03.06.2005; Опубл. 20.01.2006, бюл. № 2.

203. Патент на полезную модель № 128066 РФ, А01К 59/00. Агрегат для извлечения перги. / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженева, С.В. Некрашевич, Р.А. Мамонов (РФ) - Заявлено 02.10.2012; опубл. 20.05.2013, бюл. № 14.

204. Патент на полезную модель № 141008 РФ, В02С 13/18. Измельчитель перговых сотов. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева, И.И. Трухин, К.В. Буренин (РФ)- Заявлено 28.01.2014; опубл. 27.05.2014, бюл. № 15.

205. Патент на полезную модель № 147422 РФ, А01К 59/00. Кассета для центробежной скарификации перговых сотов. / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, М.В. Коваленко, К.В. Буренин (РФ) - Заявлено 02.06.2014; Опубл. 10.11.2014, бюл. № 31.

206. Патент на полезную модель № 152375 РФ, А01К 59/00. Измельчитель перговых сотов. \ В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин (РФ) - Заявлено 16.12.2014; Опубл. 27.05.15, бюл. № 15.

207. Патент на полезную модель № 25785 МПК 7 F 26 В 9/02. Установка для сушки перги в сотах / В.Ф. Некрашевич, С.В. Винокуров (РФ) - Заявлено 24.04.2002; опубл. 20.10.2002, бюл. № 29. – 2с.
208. Патент на полезную модель № 50434 РФ. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.Н. Кривобоков, А.В. Ларин (РФ) – Заявл. 03.06.2005; опубл. 20.01.2006, бюл. № 02. – 2с.
209. Патент на изобретение № 17213 ВУ, А91К59/00, В02С13/20. Измельчитель перговых сотов / П.В. Пестис, С.Н. Ладутко, Н.В. Халько, М.В. Пестис, А.Н. Халько, В.К. Пестис (ВУ). № а 20101374; Заявлено 24.09.2010; Опубликовано 30.06.2013.
210. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Учеб. : В 2-х т. Т. 1 – СПб.: Мифрил. Гл. ред. физ-мат. лит., 1996. – 416 с.
211. Плявниекс, В.Ю. Косое соударение двух тел /В.Ю. Плявниекс. – В кн.: Вопросы динамики и прочности, Рига: Зинатне, 1969, вып. 19. – С.69-82.
212. Прокофьева, Л.В. Аспекты стратегии развития пчеловодства в России / Л.В. Прокофьева, Ю.В. Докукин, Я.Л. Шагун, В.И. Лебедев // Пчеловодство. – 2017. – № 2. – С. 6-7.
213. Пустильник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений Е.И. Пустильник. - М.: Наука 1968. - 288 с.
214. Романков, П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности. / Романков П.Г., Курочкина М.И., Мозжерии Ю.Я. и др. – Л.: Химия, 1989. – 560с.
215. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. - М.: Наука, 1971. - 192 с.
216. Саргсян, А.Е. Сопротивление материалов, Теории упругости и пластичности / А.Е. Саргсян. - М.: Высшая школа, 2000. – 287 с.
217. Смирнов, В.В. Сбор и заготовка перги в приморье /В.В. Смирнов. – Пчеловодство. – 1987. – №4. – С.4
218. Страускене, А.Э. Что мы знаем о перге / А.Э. Страускене, К.В. Кадзяускене // Пчеловодство. – 1990. – №7. – С. 30.

219. Стройков, С.А. О переваривании пчелами естественного белкового корма /С.А. Стройков. – М.: труды НИИ пчеловодства, – 1966. – С .44–77.

220. Стройков, С.А. Цветочная пыльца повышает продуктивность пчел / С.А. Стройков // Пчеловодство. – 1972. – №5. – С.19.

221. Таранов, Г.Ф. Корма на зиму / Г.Ф. Таранов, С.Я. Болдырев // Пчеловодство. - 1997. - № 8. - С. 35-37.

222. Тарасов, Д.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибких нитей с учетом пластических деформаций / Д.А. Тарасов, В.В. Коновалов, Ю.В. Родионов, Г.С. Гумаров // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В.А. Немтинова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – Том. 1. – С. 49-58.

223. Терюшков, В.П. Численное моделирование движения материала по наклонной лопасти барабанных устройств / В.П. Терюшков, А.И. Бобылев, В.В. Коновалов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В.А. Немтинова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – Том. 1. – С. 40-49.

224. Ульянич, Н.В. / Лечение продуктами пчеловодства. // Киев, 1999. - 282 с.

225. Утолин, В.В. Способы и средства механизации приготовления тестообразных подкормок для пчел и их компонентов / В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин, Е.С. Лузгина // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Сборник научных трудов – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2016.– С. 233-237.

226. Федоров, Н.Е. Аналитический расчет сушильных установок / Н.Е. Федоров. - М.: Пищевая промышленность, 1967. - 304 с.
227. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко и др. - М.: Пищевая промышленность, 1971. - 440 с.
228. Фомина, В.А. Перга в кардиологии / В.А. Фомина, В.Г. О कोरोков, Л.А. Шишкина, В.С. Агафонова, Е.А. Глазкова, Е.С. Солдатов // Пчеловодство. – 1994. – №2. – С.58.
229. Френнелъ, М.М. Пчелы – косметике / М.М. Френнелъ // Пчеловодство. - 1985. - № 9. - С. 30.
230. Фролов, В.М. Апии-фитотерапия желудочных заболеваний / В.М. Фролов, Н.А. Пересадин // Пчеловодство. - 1993. - №7. - С. 40-42.
231. Фролов, Д.И. Прочностной анализ модели рабочего органа при влиянии на него центробежной силы / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2015. - № 2. – С. 34-39.
232. Харитоновна, М.Н. Влияние методов стабилизации на качество перги / М.Н. Харитоновна // Пчеловодство. – 2011. – №7. – С.50-51.
233. Харитоновна, М.Н. Методы сушки и качество перги / М.Н. Харитоновна // Пчеловодство. – 2011. – №8. – С.56-57.
234. Хисматуллина, Н.З. / Апитерапия – Пермь: Мобиле, 2005. – 296 с.
235. Хмыров В.Д. Результаты определения зависимости угла трения пчелиного сота по нержавеющей стали от температуры / В.Д. Хмыров, Е.И. Буренина, В.В. Миронов, А.М. Афанасьев // Журнал «Инновационная техника и технология». – 2017. – №1. – С. 5-8.
236. Хмыров, В.Д. К вопросу прессования воскового сырья в процессе вытопки / В.Д. Хмыров, Т.В. Гребенникова, П.Ю. Хатунцев, А.Н. Тимофеев // Вестник «Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева». – Рязань. – 2015. – №4. – С. 102-106.
237. Чанышев, З.Г. Влияние отбора пыльцы на развитие и продуктивность семей пчел / З.Г. Чанышев // Пчеловодство и апитерапия. - 2004. - № 3. - С. 32-33.

238. Чепик, А.Г. Повышение эффективности пчеловодства с использованием инновационных технологий (на примере получения перги). Коллективная монография / Чепик А.Г., Некрашевич В.Ф., Торженева Т.В., Мамонов Р.А., Кузнецова Э.В. – Рязань: Изд. ООО «Типография «Лист», 2014. – 236 с.

239. Чепик, А.Г. Экономика и организация инновационных процессов в пчеловодстве и развитие рынка продукции отрасли / А.Г. Чепик, В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженева // Монография. – Рязань: Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Рязанский гос. ун-т им. С. А. Есенина", 2010. – 212 с.

240. Чудновский, А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А.Ф. Чудновский. - М.: Физматгиз, 1962. - 407 с.

241. Bogdanov, S. Quality and standards for pollen and beeswax / S. Bogdanov // XXXVIIth Apimondia international apicultural congress. Ljubljana. - 2003. - P. 604.

242. Kafadar, IH. Royal jelly and bee pollen decrease bone loss due to osteoporosis in an oophorectomized rat model / IH. Kafadar, A. Güney, CY. Türk, M. Oner, S. Silici // Eklem Hastalik Cerrahisi. - 2012. - №23(2):100. - P. 5.

243. Lindenfelser, L.A. // Ann. Bee J. – 1967.– V.107.– N.3,4.– P.90 – 130.

244. Masanek, J. Pylově nahrazky / J. Masanek // Včelařství. - 1976. - 29, 2. - C.33-34.

245. Stoiculescu, D. Păstura: Hrană naturală edeală pentru hrănirea puitutui / D. Stoiculescu // Apic. in Romania. - 1985. - 60, 2. - C. 11-12.

246. Zasz, J. Sušiareň pelu / J. Zasz // Učelär. - 1980. - 54, 12: C. 276-277.

247. Zepissier, M. Ze pollen - recolte et sechage / M. Zepissier // Z'aleille de France. - 1978.- 616: C. 205-207.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Результаты исследования свойств пчелиных сотов, перги и восковой основы.

Таблица А.1 – Значения статического и динамического коэффициентов трения гранул перги различной влажности по нержавеющей стали.

Влажность перги, %				
	1	2	3	Среднее значение
Статический коэффициент трения				
8,8	0,388	0,420	0,392	0,4
10,92	0,407	0,418	0,408	0,411
12,59	0,458	0,471	0,469	0,466
13,25	0,441	0,453	0,450	0,448
14,81	0,492	0,488	0,493	0,491
16,87	0,466	0,475	0,472	0,471
18,2	0,509	0,494	0,497	0,5
Динамический коэффициент трения				
8,8	0,276	0,285	0,279	0,28
10,92	0,318	0,327	0,321	0,322
12,59	0,365	0,358	0,357	0,36
13,25	0,311	0,318	0,313	0,314
14,81	0,315	0,322	0,320	0,319
16,87	0,407	0,395	0,404	0,402
18,2	0,409	0,406	0,415	0,41

Таблица А.2. – Теплофизические свойства перги при температуре $T = 25^{\circ}\text{C}$.

Влажность W , %	Теплоемкость c , кДж/(кг·К)	Температуропроводность, $\alpha \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)
12,35	1,861	1,08	0,231
13,62	1,889	1,11	0,242
15,44	1,914	1,14	0,251
17,67	1,956	1,22	0,273
19,6	2,011	1,3	0,299

Приложение А (продолжение)

Таблица А.3 – Процент уносимых частиц фракции воскового сырья от скорости воздушного потока.

	Размер фракции воскового сырья, мм							
	0,5 мм	1,5 мм	2,5 мм	3,5 мм	4,5 мм	5,5 мм	6,5 мм	7,5 мм
Скорость воздушного потока, м/с	Процент уносимых частиц воскового сырья, %							
0	0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	38,54	0	-	-	-	-	-	-
1	72,39	19,22	0	-	-	-	-	-
1,5	86,55	45,41	14,39	0	-	-	-	-
2	94,44	69,17	32,89	12,71	0	-	-	-
2,5	100	87,83	47,26	23,05	11,62	0	-	-
3	-	-	58,13	34,7	27,18	11,61	0	-
3,5	-	100	71,63	48,91	42,41	31,53	8,39	-
4	-	-	81,31	63,9	61,43	49,65	24,46	0
4,5	-	-	92,4	82,4	78,73	64,32	36,71	7,13
5	-	-	100	88,67	87,19	79,02	50,12	16,44
5,5	-	-	-	94,37	92,83	88,21	57,49	26,96
6	-	-	-	100	98,75	92,37	64,64	35,44
6,5	-	-	-	-	100	98,08	73,4	43,97
7	-	-	-	-	-	100	76,66	51,15
7,5	-	-	-	-	-	-	-	57,63
8	-	-	-	-	-	-	-	66,06
8,5	-	-	-	-	-	-	-	74,12
9	-	-	-	-	-	-	96,29	81,16
9,5	-	-	-	-	-	-	100	87,25
10	-	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-
11,5	-	-	-	-	-	-	-	97,53
12	-	-	-	-	-	-	-	98,11
12,5	-	-	-	-	-	-	-	100

Приложение А (продолжение)

Таблица А.4 – Процент уносимых частиц перги от скорости воздушного потока.

	Размер фракции перги, мм						
	1,5 мм	2,5 мм	3,5 мм	4,5 мм	5,5 мм	6,5 мм	7,5 мм
Скорость воздушного потока, м/с	Процент уносимых частиц перги, %						
0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-
1,5	-	-	-	-	-	-	-
2	0	-	-	-	-	-	-
2,5	4,42	-	-	-	-	-	-
3	9,95	-	-	-	-	-	-
3,5	14,92	-	-	-	-	-	-
4	23,76	-	-	-	-	-	-
4,5	34,26	0	-	-	-	-	-
5	55,25	2,91	0	-	-	-	-
5,5	72,93	10,55	2,16	-	-	-	-
6	100	10,81	5	0	-	-	-
6,5	-	23,13	13,72	2,02	-	-	-
7	-	44,43	20,48	4,06	-	-	-
7,5	-	61,24	31,03	7,16	0	-	-
8	-	77,17	50,29	13,69	0,62	-	-
8,5	-	100	67,46	32,06	1,92	-	-
9	-	-	80,51	49,58	3,5	-	-
9,5	-	-	100	61,52	7,53	0	-
10	-	-	-	74,5	10,67	0,39	0
10,5	-	-	-	87,65	18,72	1,26	0,7
11	-	-	-	100	35,55	3,26	2,23
11,5	-	-	-	-	53,14	8,12	5,85
12	-	-	-	-	62,37	17,53	17,15
12,5	-	-	-	-	75,63	35,43	35,45
13	-	-	-	-	88,55	59,87	60,56
13,5	-	-	-	-	96,33	78,95	83,98
14	-	-	-	-	100	94,33	96,91
14,5	-	-	-	-	-	100	100

Приложение Б

Результаты экспериментальных исследований центробежного скарификатора пчелиных сотов.

Таблица Б.1. – Влияние угловой скорости вращения сота $\omega_{\text{скар}}$ (X_1) и толщины удерживающей пластины $h_{\text{рез}}$ (X_2) на скорость сушки перги $C_{\text{ср}}$

№ опыта	№ рандомизации	$\omega_{\text{скар}}, \text{с}^{-1}$ (X_1)	$h_{\text{рез}}, \text{мм}$ (X_2)	1	2	3	$C_{\text{ср}}, \text{\%/ч}$
1	7	29,31	0,5	0,337	0,336	0,333	0,335
2	8	37,67	0,5	0,381	0,375	0,377	0,378
3	2	29,31	1,5	0,306	0,306	0,309	0,307
4	6	37,67	1,5	0,386	0,392	0,390	0,389
5	9	33,49	0,5	0,366	0,368	0,368	0,367
6	3	33,49	1,5	0,344	0,340	0,342	0,342
7	5	29,31	1	0,328	0,327	0,324	0,326
8	4	37,67	1	0,400	0,397	0,399	0,399
9	1	33,49	1	0,367	0,364	0,363	0,365

Таблица Б.2. – Влияние массы пчелиных сота M_c (X_1) и толщины удерживающей пластины $h_{\text{рез}}$ (X_2) на энергоемкость процесса центробежной скарификации $N_{\text{скариф}}$

№ опыта	№ рандомизации	$M_c, \text{г}$ (X_1)	$h_{\text{рез}}, \text{мм}$ (X_2)	1	2	3	$N_{\text{скариф}}, \text{Вт-ч/сот}$
1	7	701,25	0,5	109	110	108	109
2	8	1074,11	0,5	114	111	111	112
3	2	701,25	1,5	173	176	173	174
4	6	1074,11	1,5	178	182	177	179
5	9	887,68	0,5	110	111	112	111
6	3	887,68	1,5	179	178	174	177
7	5	701,25	1	121	128	123	124
8	4	1074,11	1	128	126	127	127
9	1	887,68	1	130	123	122	125

Приложение В

Результаты экспериментальных исследований центробежного выделения воскоперговой массы пчелиных сотов.

Таблица В.1. – Результаты исследования влияние массы сота $m_{\text{ВПМ}} (X_1)$ и его температуры $t_{\text{сот}} (X_2)$ на требуемую частоту выделения воскоперговой массы из сота $n_{\text{выд}}$.

№ опыта	№ рандомизации	$t_{\text{сот}}, ^\circ\text{C}$ (X_1)	$m_{\text{ВПМ}},$ г (X_2)	1	2	3	$n_{\text{выд}},$ мин^{-1}
1	7	-2	300	459,8	468,9	472,3	467,0
2	8	-2	600	393,6	402,1	405,8	400,5
3	2	42	300	434,2	422,5	426,7	427,8
4	6	42	600	363,5	359,2	361,8	361,5
5	9	-2	450	435,7	434,2	433,6	434,5
6	3	42	450	401,2	386,3	396,4	394,6
7	5	20	300	443,8	446,3	446,4	445,5
8	4	20	600	378,1	377,7	376,7	377,5
9	1	20	450	413,3	409,8	412,3	411,8

Приложение Г

Результаты экспериментальных исследований влияния температуры охлаждения и влажности перги на время выдержки сотов, при которой достигается прочность в поперечном сечении гранул перги в 40 кПа.

Таблица Г – Результаты исследований влияния влажности перги и температуры охлаждения на время выдержки сотов.

Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин		Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин
15,9	0	60,3		14,7	-3	44,3
17,4	-11	61,8		15,3	-3	51,3
18,2	-5	74,3		18,2	-7	72,1
15,9	-3	57,4		15,9	-19	43,6
18,9	-19	59,3		19,7	-19	61,6
21,1	0	98,5		14,1	-11	32,9
19,7	-7	80,4		14,1	-5	34,9
14,7	-11	42,1		21,1	-3	92,7
20,6	-13	74,1		19,7	0	91,2
14,7	-15	37,6		15,9	-15	46,6
18,9	0	86,3		18,2	-19	56,6
15,3	-7	47,8		23,3	0	103,9
20,6	-3	90,7		14,1	-13	30,4
14,1	-3	36,8		17,4	-15	57,3
17,4	-5	68,9		15,3	-11	44,4
14,7	-19	33,5		20,6	-19	63,6
17,4	0	74,3		18,9	-7	76,3
23,3	-19	61,4		21,1	-11	78,2
18,2	-3	77,9		18,9	-3	82,3
23,3	-3	96,3		15,9	-11	50,5
15,3	-19	38,5		18,2	-11	66,1
18,9	-15	64,8		23,3	-15	70,9
23,3	-11	80,4		14,7	0	46,2
19,7	-5	83,2		21,1	-19	63,8
14,1	-19	28,3		21,1	-15	71,1

Приложение Д

Результаты экспериментальных исследований измельчения пчелиных сотов

Таблица Д.1 – Влияние диаметра прутка $d_{\text{реш}}$ (X_1) и размера отверстий выгрузной решетки $L_{\text{реш}}$ (X_2) на выход целых гранул перги $K_{\text{гр перги}}$.

№ опыта	№ рандомизации	$d_{\text{реш}}$, мм (X_1)	$L_{\text{реш}}$, мм (X_2)	1	2	3	$K_{\text{гр перги}}$, %
1	7	1,5	10	96,36	96,29	96,31	96,32
2	8	2,7	10	96,77	96,81	96,76	96,78
3	2	1,5	14	96,98	96,97	97,02	96,99
4	6	2,7	14	97,49	97,33	97,23	97,35
5	9	2,1	10	96,74	96,69	96,67	96,7
6	3	2,1	14	97,22	97,19	97,16	97,19
7	5	1,5	12	96,88	96,87	96,8	96,85
8	4	2,7	12	97,15	97,18	97,09	97,14
9	1	2,1	12	97,05	97,02	97,05	97,04

Таблица Д.2 – Влияние площади выгрузной решетки F (X_1) и угловой скорости вращения вала измельчителя $\omega_{\text{изм}}$ (X_2) на выход целых гранул перги $K_{\text{гр перги}}$.

№ опыта	№ рандомизации	F , см ² (X_1)	$\omega_{\text{изм}}$, с ⁻¹ (X_2)	1	2	3	$K_{\text{гр перги}}$, %
1	7	27	157,0	95,27	95,28	95,23	95,26
2	8	81	157,0	97,61	97,64	97,58	97,61
3	2	27	209,33	91,66	91,69	91,66	91,67
4	6	81	209,33	96,18	96,14	96,19	96,17
5	9	54	157,0	96,54	96,54	96,51	96,53
6	3	54	209,33	95,78	95,83	95,76	95,79
7	5	27	183,16	93,96	93,98	93,85	93,93
8	4	81	183,16	96,82	96,87	96,83	96,84
9	1	54	183,16	96,23	96,19	96,27	96,23

Приложение Е

Результаты экспериментальных исследований сушилки гранул перги.

Таблица Е.1 – Влияния угла наклона α (X_1) и частоты вращения барабана n_6 (X_2) на скорости движения гранул перги в сушилке U .

№ опыта	№ рандомизации	α , град (X_1)	n_6 , мин ⁻¹ (X_2)	1	2	3	U , м/ч
1	7	0	1,7	1,832	1,794	1,847	1,823
2	8	0	3,7	2,964	2,913	3,078	2,985
3	2	2	1,7	3,115	3,386	3,279	3,26
4	6	2	3,7	7,528	7,343	7,239	7,37
5	9	0	2,7	2,515	2,377	2,503	2,465
6	3	2	2,7	4,910	4,694	4,892	4,832
7	5	1	1,7	2,491	2,784	2,714	2,663
8	4	1	3,7	5,273	4,905	5,314	5,164
9	1	1	2,7	3,339	3,421	3,632	3,464

Таблица Е.1 – Влияния угла наклона α (X_1) и частоты вращения барабана n_6 (X_2) на пропускную способность сушилki Π_6 .

№ опыта	№ рандомизации	α , град (X_1)	n_6 , мин ⁻¹ (X_2)	1	2	3	Π_6 , кг/ч
1	7	0	1,7	6,421	6,416	6,357	6,398
2	8	0	3,7	13,211	13,129	12,354	12,898
3	2	2	1,7	13,407	12,921	12,867	13,065
4	6	2	3,7	28,522	29,190	28,973	28,895
5	9	0	2,7	9,835	10,068	10,247	10,05
6	3	2	2,7	18,923	20,556	20,191	19,89
7	5	1	1,7	10,142	9,486	10,207	9,945
8	4	1	3,7	20,076	19,639	18,632	19,449
9	1	1	2,7	13,473	13,885	13,733	13,697

Приложение Е (продолжение)

Таблица Е.3. – Влияния угла наклона α (X_1) и частоты вращения барабана n_6 (X_2) на удельные затраты энергии $Q_{уд}$.

№ опыта	№ рандомизации	α , град (X_1)	n_6 , мин ⁻¹ (X_2)	1	2	3	$Q_{уд}$, кВт-ч/кг
1	7	0	1,7	3,48	3,50	3,55	3,51
2	8	0	3,7	3,57	3,58	3,62	3,59
3	2	2	1,7	3,39	3,44	3,46	3,43
4	6	2	3,7	3,62	3,68	3,59	3,63
5	9	0	2,7	3,51	3,49	3,47	3,49
6	3	2	2,7	3,64	3,58	3,58	3,6
7	5	1	1,7	3,41	3,42	3,52	3,45
8	4	1	3,7	3,57	3,64	3,62	3,61
9	1	1	2,7	3,33	3,40	3,38	3,37

Приложение Ж

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU⁽¹¹⁾50 644⁽¹³⁾ U1

(51) МПК

F26B 11/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2005117131/22, 03.06.2005

(24) Дата начала действия патента: 03.06.2005

(45) Опубликовано: 20.01.2006 Бюл. № 02

Адрес для переписки:

390044, г.Рязань, ул. Костычева, 1, РГСХА,
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(ли):

ФГОУ ВПО Рязанская государственная
сельскохозяйственная академия имени
профессора П.А. Костычева (RU)

(54) БАРАБАННАЯ СУШИЛКА ДЛЯ СЫПУЧИХ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Формула полезной модели

Барабанная сушилка для сыпучих термочувствительных материалов, содержащая вращающийся корпус с встроенной насадкой с радиальными перегородками, расположенными в сушильном пространстве, сообщенный с системой подачи теплоносителя, загрузочное и разгрузочное устройства, установленные на противоположных торцевых сторонах корпуса, отличающаяся тем, что насадка выполнена в виде четырех сетчатых радиальных перегородок, соединенных в центре корпуса одним общим ребром и расположенных под углом 90° каждая последующая относительно предыдущей.

RU

50644 U1

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 452 175** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01K 59/00 (2006.01)
B02C 13/14 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010147625/13, 22.11.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.11.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.11.2010

(45) Опубликовано: 10.06.2012 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2275800 C1, 10.05.2006. RU 2171715 C2,
10.08.2001. RU 50434 U1, 20.01.2006. RU
2367150 C1, 20.09.2009. Механизированное
извлечение перги. - Журнал «Пчеловодство»,
№8, 2008. CN 2759167 Y, 22.02.2006. RU
2203737 C2, 10.05.2003.

Адрес для переписки:

390044, г.Рязань, ул. Костычева, 10, кв.73,
В.Ф. Некрашевичу

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Торженева Татьяна Владимировна (RU),
Некрашевич Сергей Владимирович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Некрашевич Владимир Федорович (RU)

(54) АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ

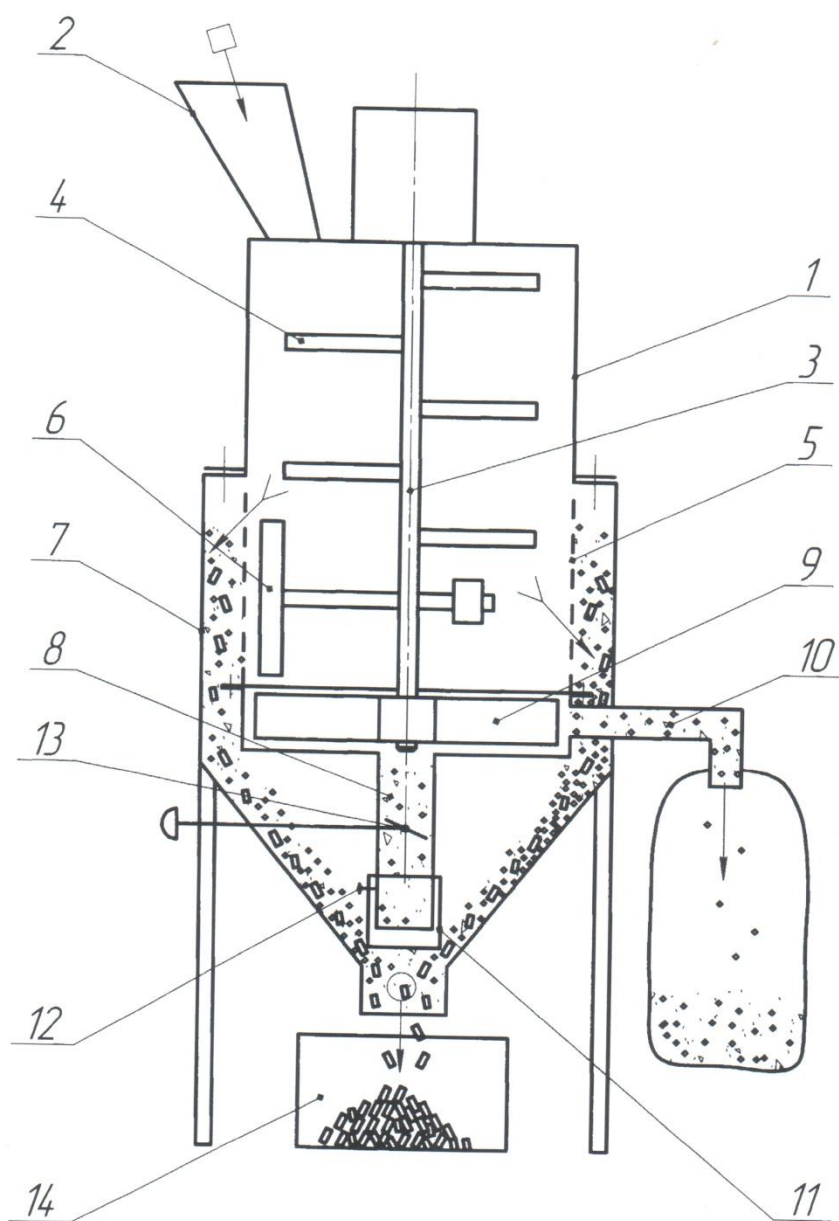
(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, а именно к пчеловодству. Предложенный агрегат для извлечения перги содержит размещенные в одном корпусе узлы агрегата - измельчитель перговых сотов, пневмосепаратор и привод. Измельчитель перговых сотов выполнен в виде вертикальной цилиндрической рабочей камеры, внутри которой расположен ротор, который снабжен радиально установленными штифтами. Рабочая камера выполнена перфорированной по нижней части цилиндрической поверхности. Пневмосепаратор выполнен в виде циклона с размещенным внутри него аспирационным каналом, сообщающим полость рабочей

камеры с циклоном, жестко скрепленным с ней и охватывающим перфорированный участок камеры. Рабочая камера расположена над циклоном. Аспирационный канал выполнен в виде трубы. На его нижнем конце установлена с возможностью перемещения по трубе и фиксации в рабочем положении муфта. Над аспирационным каналом, на общем валу с ротором рабочей камеры смонтированы вентилятор и отводной патрубок для выноса воскового сырья. Под циклоном установлена емкость для перги. Изобретение обеспечивает удобство эксплуатации, повышение качества получаемой перги, упрощает и облегчает конструкцию. 1 з.п. ф-лы, 1 ил.

Приложение Ж (продолжение)

RU 2 452 175 C1



Фиг. 1

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 464 781** (13) **C2**(51) МПК
A01K 59/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010147685/13, 22.11.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.11.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.11.2010

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2012 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 27.10.2012 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: Механизированное извлечение перги //
Пчеловодство. - 2008, №8, с.50-51. SU 857723
A, 23.08.1981. EP 1152090 A1, 07.11.2001. SU
1192757 A, 23.11.1985. RU 93302 U1, 27.04.2010.
CN 2759167 Y, 22.02.2006. Сушка перговых
сотов // Пчеловодство. - 2003, №1, с.51-52.

Адрес для переписки:

390044, г.Рязань, ул. Костычева, 1, РГАТУ,
Патентный отдел

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Некрашевич Сергей Владимирович (RU),
Торженова Татьяна Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнический
университет имени П.А. Костычева" (RU)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому
хозяйству. Для извлечения перги
скарифицируют поверхностный слой перги,
сушат пергу в сотах путем конвекции припутем пневмосепарации выравнивают на
наклонной поверхности дозатора по высоте,
соизмеримой с размером гранул перги, с
образованием непрерывного потока.
Изобретение обеспечивает уменьшение

RU 2 464 781 C2

Формула изобретения

Способ извлечения перги, включающий скарификацию поверхностного слоя перги, сушку перги в сотах путем конвекции при температуре 40-42°C до влажности 14-15%, их охлаждение, измельчение и последующее выделение перги из измельченного вороха путем пневмосепарации, отличающийся тем, что воскоперговый ворох, поступающий в аспирационную установку, предварительно выравнивают на наклонной поверхности дозатора по высоте, соизмеримой с размером гранул перги, автоматически организуя непрерывный поток.

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 472 340** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
A01K 59/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011123184/13, 08.06.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.06.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.06.2011

(45) Опубликовано: 20.01.2013 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: ТУНИКОВ Г.М., КРИВЦОВ Н.И.,
ЛЕБЕДЕВ В.И., КИРЬЯНОВ Ю.Н.
Технология производства и переработки
продукции пчеловодства. - М.: Колос, 2001,
с.132-135. RU 2280981 C1, 10.08.2006. SU
361779 A, 09.02.1973. SU 1386129 A1,
07.04.1988. RU 2185726 C1, 27.07.2002. SU
1814509 A3, 07.05.1993. SU 238280 A,
03.07.1969. КОРОЛЕВ В., КОВА В. 750
ответов на вопросы (см. прод.)

Адрес для переписки:
390044, г.Рязань, ул. Костычева, 1, РГАТУ,
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Фёдорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Коваленко Михаил Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева" (RU)

(54) СПОСОБ СКАРИФИКАЦИИ ПЕРГОВЫХ СОТОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому
хозяйству. Для скарификации перговых
сотов 3, включающей поверхностное
разрушение твердых оболочек крышечек
гранул перговых сотов, устанавливают
перговые соты 3 вертикально в кассеты 1
ротора, на внешней стороне которых
закреплено полотно 2. При вращении ротора
под действием центробежных сил полотно 2
кассет вместе с перговыми сотами 3 изгибаются
под дуге окружности, причем соты 3

деформируются с образованием трещин в
крышечках гранул и кольцевых зазоров между
восковыми стенками ячеек 5 перговых сотов 3
и боковыми стенками гранул. После
скарификации одной стороны перговых сотов 3
их вынимают из кассет 1, переворачивают
на 180° и устанавливают в кассеты 1 с
повтором цикла скарификации с другой
стороны сотов 3. Изобретение обеспечивает
сохранение целостности перговых гранул, их
вкуса и содержащихся в них витаминов. 6 ил.

Приложение Ж (продолжение)

RU 2 472 340 C1

деформированы и имеют трещины 9. То есть целостность восковой ячейки 5 пергового сота 3 нарушается. В образовавшиеся трещины 9 между восковыми стенками 7 восковой ячейки 5 и гранулами 6 перги поступает воздух.

5 За счет разрыва и трещин 9 восковых стенок 7 происходит уменьшение влажности гранул 6 перги, т.е. происходит скарификация.

Перговые соты 3 имеют восковые ячейки 5 с двух сторон.

Для уменьшения влажности гранул 6 перги с другой стороны пергового сота 3 необходимо выполнить следующее.

10 Перговый сот 3 достают из кассеты 1 переворачивают на 180° и устанавливают в кассету 1 центробежного ротора (ротор не показан). Проводят скарификацию перговых сотов 3 с другой стороны.

15 При скарификации перговых сотов 3 проводят подсушивание перговых гранул 6 за счет образования трещин и разрывов восковых стенок ячеек и крышечек перговых гранул при температуре окружающего воздуха 40...42° и уменьшения влажности гранул 6 перги до 14...15%.

20 Перговые соты 3 при влажности гранул 6 перги 14...15% можно хранить длительное время. При этом не происходит большой потери полезных и биологически активных веществ в гранулах перги при хранении. Сохраняются витамины в гранулах перги, и остается приятный вкус.

Формула изобретения

25 Способ скарификации перговых сотов, включающий поверхностное разрушение твердых оболочек крышечек гранул перговых сотов, отличающийся тем, что перговые соты устанавливают вертикально в кассеты ротора, на внешней стороне которых закреплено полотно, при вращении ротора под действием центробежных сил полотно вместе с перговыми сотами изгибаются по дуге окружности, при этом соты
30 деформируются с образованием трещин в крышечках гранул и кольцевых зазоров между восковыми стенками ячеек перговых сотов и боковыми стенками гранул, после скарификации перговых сотов с одной стороны, перговые соты вынимают из кассет и, перевернув их на 180°, устанавливают в кассеты, повторяя цикл скарификации с
35 другой стороны сотов.

40

45

50

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 128 066 (13) U1

(51) МПК
A01K 59/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012142041/13, 02.10.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.10.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.10.2012

(45) Опубликовано: 20.05.2013 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

390044, г.Рязань, ул. Костычева, 10, кв.73,
В.Ф. Некрашевичу

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Торженева Татьяна Владимировна (RU),
Некрашевич Сергей Владимирович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Некрашевич Владимир Федорович (RU)

(54) АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ

(57) Формула полезной модели

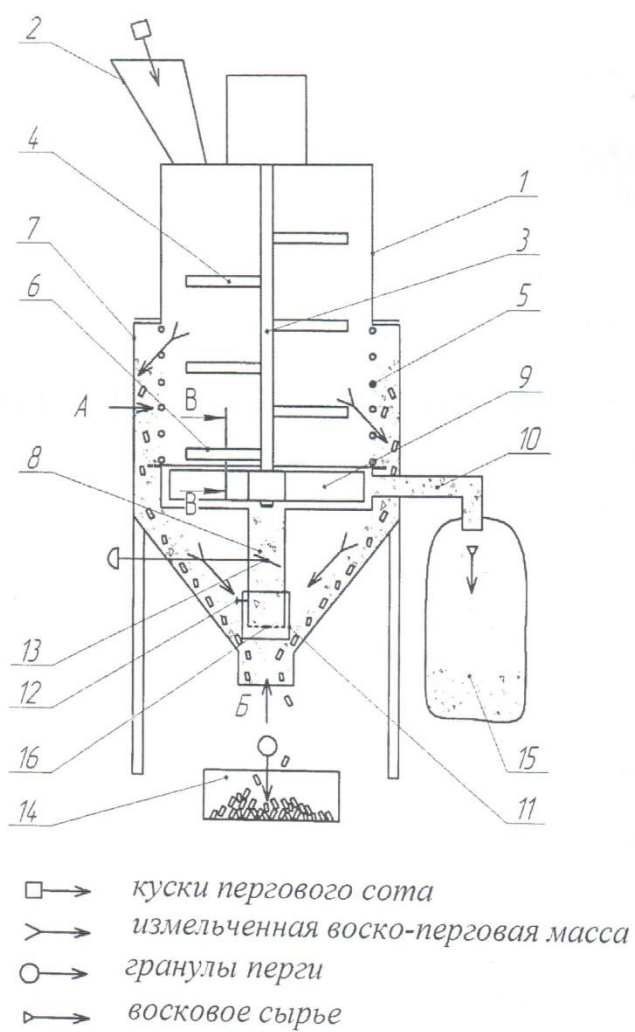
1. Агрегат для извлечения перги, содержащий размещенные в общем корпусе измельчитель перговых сотов в виде цилиндрической рабочей камеры с перфорацией по нижней части цилиндрической поверхности и расположенным внутри ротором с радиально установленными штифтами, пневмосепаратор в виде циклона, жестко скрепленного с цилиндрической рабочей камерой, имеющий аспирационный канал, над верхним концом которого на общем валу с ротором установлен центробежный вентилятор, а на нижнем конце расположена муфта, отличающийся тем, что нижний штифт ротора выполнен в виде лопатки, установленной с возможностью подъема осаждающейся измельченной воскоперговой массы с днища камеры, перфорация нижней части цилиндрической рабочей камеры выполнена с отверстиями квадратной формы, а на нижней торцевой поверхности аспирационного канала установлена решетка с отверстиями, диаметры которых меньше описанного диаметра поперечного сечения гранул перги.

2. Агрегат по п.1, отличающийся тем, что нижняя часть цилиндрической рабочей камеры выполнена в виде одной или нескольких съемных решеток.

3. Агрегат по п.1, отличающийся тем, что отверстия съемных решеток квадратной формы образованы скрепленными прутками, диаметры которых соизмеримы с вписанным диаметром поперечного сечения гранул перги.

4. Агрегат по п.1, отличающийся тем, что длина стороны квадрата отверстия съемной решетки в просвете не меньше максимальной длины гранул перги.

Приложение Ж (продолжение)



Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 488 269** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01K 59/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

На основании пункта 1 статьи 1366 части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации патентообладатель обязуется заключить договор об отчуждении патента на условиях, соответствующих установившейся практике, с любым гражданином Российской Федерации или российским юридическим лицом, кто первым изложил такое желание и уведомил об этом патентообладателя и федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности.

(21)(22) Заявка: 2012124630/13, 14.06.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.06.2012

(45) Опубликовано: 27.07.2013 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1386129 A1, 07.04.1988. SU 1230566 A1, 15.05.1986. SU 361779 A, 09.02.1973. SU 952181 A, 28.08.1982.

Адрес для переписки:

390044, г.Рязань, ул. Костычева, 10, кв.73,
В.Ф. Некрашевичу

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Торженева Татьяна Владимировна (RU),
Некрашевич Сергей Владимирович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Некрашевич Владимир Федорович (RU)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ ИЗ СОТОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к пчеловодству. Для извлечения перги из сотов сушат соторамок с пергой, отделяют перговые соты от ульевых рамок, охлаждают их, измельчают до образования воскоперговой массы и отделяют пергу от восковых частиц посредством пневмосепарации. Операцию отделения

перговых сотов от ульевых рамок осуществляют путем нагрева соторамок до температуры 40-55°C с последующим использованием центробежной силы вращающегося ротора с вертикально закрепленными в его держателях рамками. Изобретение обеспечивает повышение качества перги, сокращает затрачиваемое на выполнение операции время. 1 з.п. ф-лы.

RU 2 488 269 C1

RU 2 488 269 C1

Приложение Ж (продолжение)

RU 2 488 269 C1

труда, т.е. разрезания ножом сотов в рамке, при этом не исключалась возможность повреждения проволоки в рамках.

Пример выполнения способа отделения перговых сотов от рамки. Подогретые до температуры (40-42)°С перговые соты в ульевых рамках закрепляют в кассеты без удерживающих сеток, после чего 4 кассеты устанавливают в медогонку М4.32РЭ и включают ее на (30-40) секунд. Частота вращения ротора медогонки (350-400) об/мин, радиус от осевой линии до кассет 290 мм. При вращении ротора, под воздействием центробежных сил, перговые соты, обладая значительной массой, деформируются, изгибаясь в сторону от центра вращения, и, прорезаясь проволокой рамки, опускаются в сборник. Проволока рамки остается целой, а рамка исправной. От рамки отделяется (98-99)% перги вместе с восковой основой. Не отделяются от рамки только единичные гранулы не связанные восковой основой с общей массой перги. В процессе выполнения операции установлено, что температуру перговых сотов, особенно темных, можно кратковременно повышать до 55°С, тогда время работы медогонки снижается до (20-30) секунд. При повышении температуры сота выше 55°С восковая основа становится пластичной. Происходит оплавление перговых сотов, что ведет к ухудшению отделения перги из воскоперговой массы. Далее воскоперговую массу извлекают из медогонки и отправляют на последующие операции. Время на отделение воскоперговой массы от рамки по заявленному способу в сравнении с существующим отделением ножами сокращается в десятки раз, при этом рамка с проволокой остается не поврежденной.

25

Формула изобретения

1. Способ извлечения перги из сотов, включающий сушку соторамок с пергой, отделение перговых сотов от ульевых рамок, их охлаждение, измельчение до образования воскоперговой массы и отделение перги от восковых частиц посредством пневмосепарации, отличающийся тем, что отделение перговых сотов от ульевых рамок осуществляют путем нагрева соторамок от 40°С до 55°С с последующим использованием центробежной силы вращающегося ротора с вертикально закрепленными в его держателях рамками.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при температуре сотов 40-42°С операцию выполняют за 30-40 с, при повышении температуры до 55°С время выполнения операции сокращают до 20-30 с.

40

45

50

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU

(11)144486

(13)U1



(51) МПК

A01K59/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 27.08.2014 - действует
Пошлина: учтена за 1 год с 29.10.2013 по 29.10.2014

(21), (22) Заявка: **2013148175/13**,
29.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока
действия патента:
29.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки:
29.10.2013

(45) Опубликовано: **20.08.2014**

Адрес для переписки:
**390044, г.Рязань, ул. Костычева,
1, ФГБОУ ВПО РГАТУ, Отдел
по патентной и
изобретательской работе,
Липину В.Д.**

(72) Автор(ы):
**Некрашевич Владимир Фёдорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Торженова Татьяна Владимировна (RU),
Буренин Кирилл Викторович (RU),
Буренина Елена Ивановна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВПО РГАТУ)
(RU)**

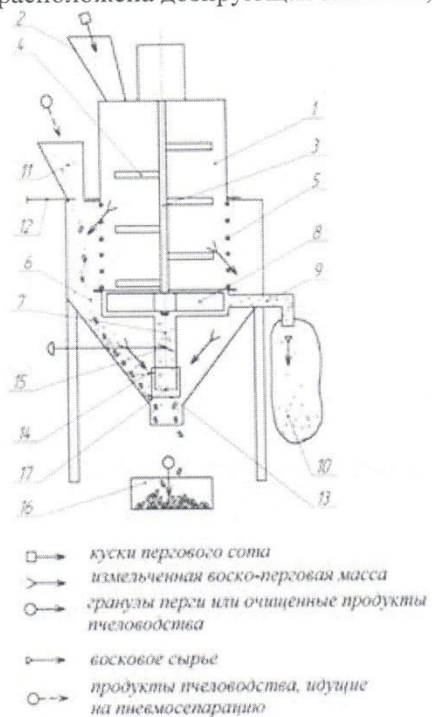
(54) АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ

Формула полезной модели

Агрегат для извлечения перги, содержащий размещенные в общем корпусе измельчитель перговых сотов в виде цилиндрической рабочей камеры с перфорацией по нижней части цилиндрической поверхности и расположенным внутри ротором с радиально установленными штифтами, пневмосепаратор в виде циклона, жестко скрепленного с цилиндрической рабочей камерой, имеющий аспирационный канал, над верхним концом которого на общем валу с ротором установлен центробежный вентилятор, а на нижнем конце расположена муфта, нижний штифт ротора выполнен в виде лопатки, установленной с возможностью подъема осаждающейся измельченной воскоперговой массы с днища камеры, перфорация нижней части цилиндрической рабочей камеры выполнена с отверстиями квадратной формы, а на нижней торцевой поверхности аспирационного канала установлена решетка с отверстиями, диаметры которых меньше описанного диаметра поперечного сечения гранул перги, отличающийся тем, что бункер

Приложение Ж (продолжение)

для подачи на пневмосепарацию продуктов пчеловодства, в горловине которого расположена дозирующая заслонка, установлен на внешней верхней стороне циклона.



Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 147 422⁽¹³⁾ U1(51) МПК
A01K 59/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014122358/13, 02.06.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.06.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.06.2014

(45) Опубликовано: 10.11.2014 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВПО
РГАТУ, отдел по патентной и изобретательской
работе, Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Некрасевич Владимир Фёдорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Торжнова Татьяна Владимировна (RU),
Коваленко Михаил Валерьевич (RU),
Буренин Кирилл Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева"
(ФГБОУ ВПО РГАТУ) (RU)

(54) КАССЕТА ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СКАРИФИКАЦИИ ПЕРГОВЫХ СОТОВ

(57) Формула полезной модели

Кассета для центробежной скарификации перговых сотов, на внешней поверхности которой закреплено полотно, отличающаяся тем, что полотно выполнено из резинового материала и закреплено натянутым.

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU

(11)2553236

(13)C1



(51) МПК

A01K59/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 17.09.2015 - действует
Пошлина: учтена за 3 год с 22.03.2016 по 21.03.2017

(21), (22) Заявка: 2014111011/13, 21.03.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия
патента:
21.03.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.03.2014

(45) Опубликовано: 10.06.2015

(56) Список документов, цитированных в
отчете о
поиске: RU 2326531 C1, 20.06.2008; SU
1386129 A1, 07.04.1988; Н.И. Кривцов, В.И.
Лебедев, Г.М. Туников, Пчеловодство,
Колос, Москва, 2007, С.311-312; Г.М.
Туников, Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев, Ю.Н.
Кириянов, Технология производства и
переработки продукции пчеловодства,
Колос, Москва, 2001, С. 132-135.

Адрес для переписки:
390044, г.Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ
ВПО РГАТУ, отдел по патентной и
изобретательской работе, Лапину В.Д.

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к пчеловодству. Для извлечения перги из сотов отделяют куски перговых сотов от рамок, охлаждают и измельчают до образования отдельных перговых гранул и воскового вороха с последующей пневматической сепарацией измельченной массы при скорости воздушного потока 7,5-8 м/с, затем сушат. Гранулы перги в соте охлаждаются независимо от влажности и температуры до достаточной для переработки сота прочности на сжатие 40 кПа. При этом охлаждают поверхностный слой гранул перги, внутренние слои сохраняют пластичные свойства и способствуют отделению восковой оболочки пергового сота.

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович
(RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Торженева Татьяна Владимировна
(RU),
Буренин Кирилл Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
"Рязанский государственный
агротехнологический университет
имени П.А. Костычева" (RU)

Приложение Ж (продолжение)

W - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

После чего куски перговых сотов отправляют на охлаждение. При рассчитанном времени выдержки поверхностный слой гранул перги достигнет прочности гранул на сжатие в 40 кПа, а внутренние слои при этом сохраняют свои пластичные свойства. Дальнейшее извлечение перги из кусков перговых сотов можно проводить на различном оборудовании, например, используя агрегаты для извлечения перги из перговых сотов. При извлечении перги в агрегатах происходит измельчение перговых сотов до получения целых перговых гранул с охлажденным поверхностным слоем и воскового вороха. Разделение перговых гранул с охлажденным поверхностным слоем от измельченного воскового вороха проводят путем пневмосепарации при скорости воздушного потока 7,5-8 м/с. Пластичные свойства внутренних слоев гранул перги при их деформации способствуют отделению восковой оболочки пергового сота, что обеспечивает более полную очистку перги от восковой основы сота. Пластичные свойства внутренних слоев гранул перги, имеющих охлажденный поверхностный слой, предотвращают нарушение целостности перговых гранул. Полученные перговые гранулы с охлажденным поверхностным слоем отправляют на сушку при температуре 40-42°C до достижения влажности перги 14-15%.

Например. При температуре охлаждения -18°C и влажности перги 20% необходимая прочность в 40 кПа поверхностный слой гранул перги достигается через 63,9 минуты, что практически в 3-4 раза меньше, чем по известному способу извлечения перги из сотов,

принятому за прототип (патент РФ № 2326531, А01К 59/00, заявл. 19.12.2006, опубл.

20.06.2008. Бюл. № 17). При дальнейшей переработке выход перги составляет не менее 98-99%, а содержание воска не превышает 4%, что соответствует требованиям ГОСТ Р 53408-2009.

Экономический эффект достигается за счет сокращения времени и энергии на процессы охлаждения, размораживания и сушки гранул перги, а также за счет повышения качества и количества выхода перговых гранул.

Формула изобретения

Способ извлечения перги из сотов, включающий отделение кусков перговых сотов от рамок, их охлаждение и измельчение до образования отдельных перговых гранул и воскового вороха с последующей пневматической сепарацией измельченной массы при скорости воздушного потока 7,5-8 м/с и сушку, отличающийся тем, что гранулы перги в соте охлаждаются (подмораживаются) независимо от влажности и температуры до достаточной для переработки сота прочности на сжатие 40 кПа, причем охлаждению подвергается поверхностный слой гранул перги, при этом внутренние слои сохраняют пластичные свойства и способствуют отделению восковой оболочки пергового сота, время охлаждения кусков перговых сотов определяется по формуле

$$t_{\text{выд}} = -277,4073 - 1,9408 \cdot T_{\text{охл}} + 31,6739 \cdot W + 0,0014 \cdot T_{\text{охл}}^2 + 0,1799 \cdot T_{\text{охл}} \cdot W - 0,657 \cdot W^2, \text{ мин.}$$

где $T_{\text{охл}}$ - температура среды, в которой охлаждаются перговые соты от 0 до -20°C;

W - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

Приложение Ж (продолжение)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА

ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19)

RU

(11)

[2 615 832](#)

(13)

C1

(51) МПК

• [A01K 59/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.04.2017)

(21)(22) Заявка: [2016115950](#), 22.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия

патента:

22.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.04.2016

(45) Опубликовано: [11.04.2017](#) Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 880378 A1, 15.11.1981. RU 2488269 C1, 27.07.2013. CN 102669012 A, 19.09.2012. CN 103355223 A, 23.10.2012. US 3007255 A1, 07.11.1961. RU 2523007 C1, 20.07.2014.

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ
ВО РГАТУ, Отдел патентной и
изобретательской работе, Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Торженева Татьяна Владимировна (RU),
Афанасьев Александр Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (RU)

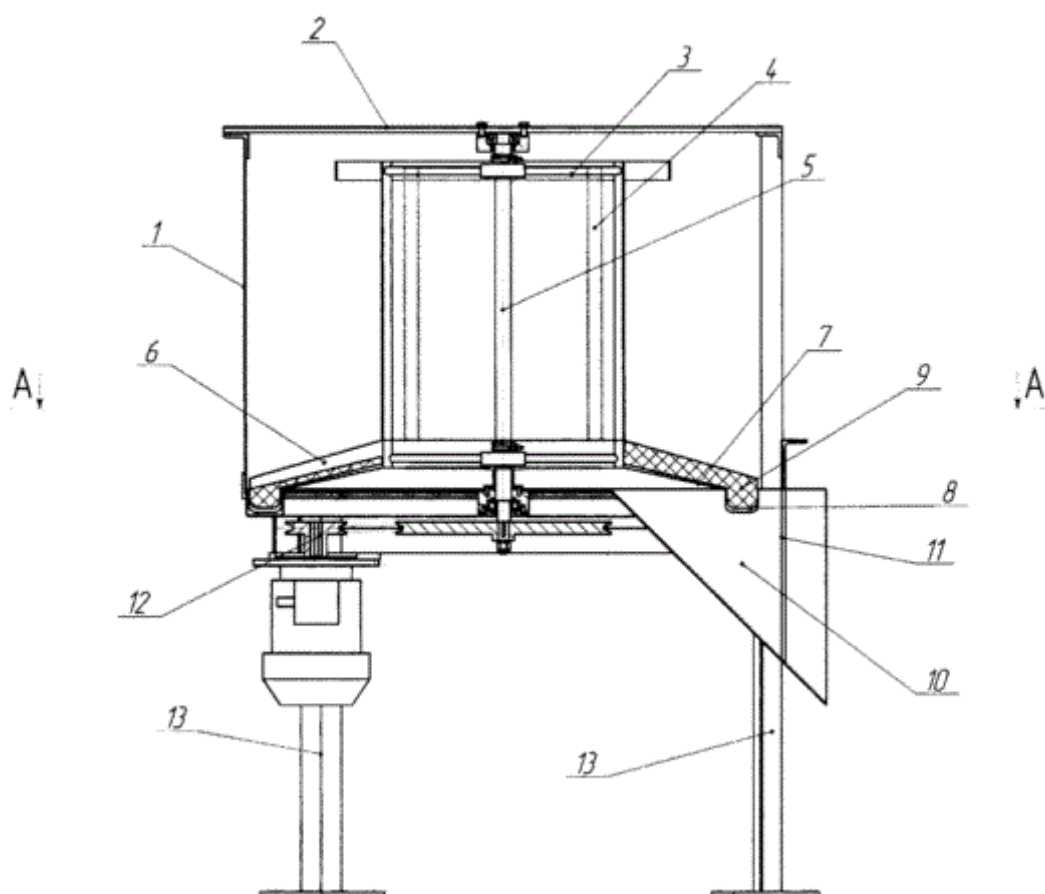
(54) КОМБИНИРОВАННЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ОТКАЧКИ МЁДА, СКАРИФИКАЦИИ
ПЕРГОВЫХ СОТОВ И ВЫДЕЛЕНИЯ ВОСКОПЕРГОВОЙ МАССЫ ИЗ СОТА

(57) Реферат:

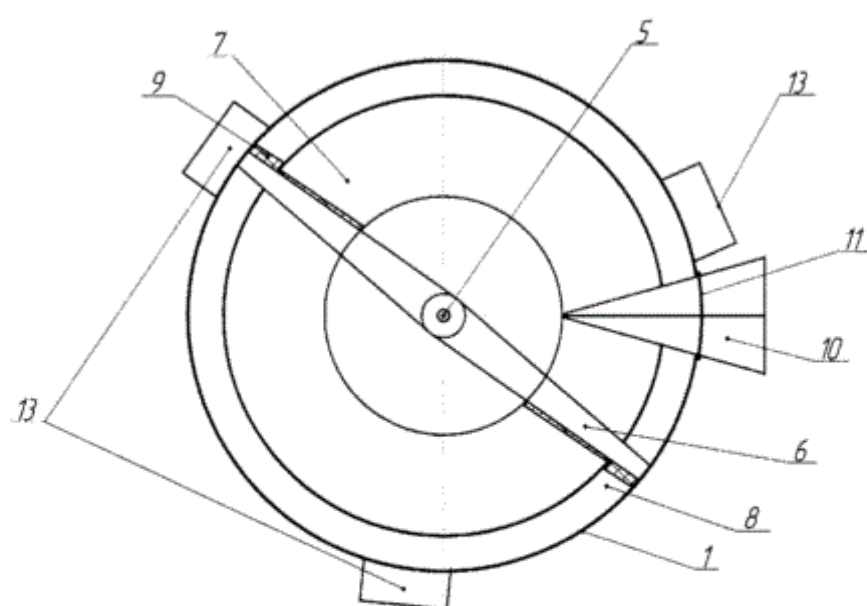
Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к пчеловодству, а именно к механизации процессов откачки меда из сотов, скарификации перговых сотов и выделению воскоперговой массы из пчелиных сотов. Комбинированный агрегат включает цилиндрическую емкость, ротор с приводом, и имеет возможность установки в нем хордиально и поочередно сменных кассет для откачки меда, скарификации перговых сотов и выделения воскоперговой массы из сота. Под кассетами на валу ротора расположены лопасти, выполненные по форме дна и снабженные в нижней части эластичными элементами. Дно цилиндрической емкости выполнено по центру горизонтально, затем с уклоном вниз, а по периферии закончено канавкой. Для удаления меда и выделенной из сота воскоперговой массы в дне, начиная с конца горизонтальной части дна, сделан V-образный вырез, а в нем помещен лоток V-образной формы, снаружи цилиндрического корпуса закрываемый заслонкой. Технический результат, обеспечиваемый изобретением, заключается в повышении функциональных возможностей создаваемого комбинированного агрегата. 4 ил.

Приложение Ж (продолжение)

КОМБИНИРОВАННЫЙ АГРЕГАТ



А-А
Лопасты 6 повернуты



Фиг. 1

Приложение И

Утверждаю
 Директор ГУП РО «Рязанская
 пчела»
 Н.М. Копаева
 24 сентября 2007г.

Утверждаю
 Ректор РГСХА
 Г.М. Тунико
 24 сентября 2007г.

АКТ

испытаний установки для сушки пыльцевой обножки.

Комиссия в составе: заведующий, д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф. и инженер Мамонов Р.А. от кафедры «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора П.А. Костычева» и ведущий инспектор Мещеряков В.П. от ГУП РО «Рязанская пчела» составили настоящий акт о нижеследующем.

В период с 21 мая по 15 июня в проблемной научной - исследовательской лаборатории гранулирования и брикетирования кормов Рязанской ГСХА были произведены производственные испытания сушилки барабанного типа для сушки пыльцевой обножки.

Установка для сушки пыльцевой обножки состоит из вращающегося барабана, на внутренней поверхности которого закреплена вставка, выполненная в виде четырех сетчатых радиальных перегородок; загрузочного бункера; барабанного дозатора и его привода; двух спиральных ТЭНов; вентилятора; разгрузочного бункера; блока питания; терморегулятора. Барабан установлен на бандажи, опирающиеся на четыре опорных ролика. Вращение барабана осуществляется через цилиндрическую зубчатую передачу от мотор-редуктора.

В процессе работы сушилки пыльцевая обножка, поступившая в барабан, омывается теплым воздухом, в результате чего происходит ее нагрев, а имеющаяся в ней влага испаряется.

За время испытаний было высушено 32 килограмма пыльцевой обножки от пчеловодческих хозяйств Старожиловского, Кораблинского и Рыбновского районов Рязанской области. При сушке влажность обножки уменьшилась с 22,6...20,1% до 10...9%, температура агента сушки составляла 53,5...54,5 °С. За первый проход обножки через сушилку съем влаги лежал в

Приложение И (продолжение)

пределе 4,1...4,3 %, а температура нагрева гранул обножки составила 36...38 °С. После повторного пропускания обножки через сушилку сьем влаги лежал в пределе 1,9...2,2 %, а температура гранул обножки увеличивается до 39...40 °С. При последующем пропускании обножки через сушилку ее температура поднималась выше 41 °С. Поэтому возникла необходимость охлаждать обножку после двух проходов её через барабанную сушилку.

Охлаждение обножки осуществлялось двумя способами: выдерживание обножки в условиях окружающей среды и продувание обножки атмосферным воздухом в барабанной сушилке до выравнивания температуры обножки и температуры окружающей среды.

При первом способе время охлаждения составило 2,1...2,5 часа, а влажность уменьшилась в среднем на 0,4...0,5%. При сушке с таким способом охлаждения удельные затраты теплоты на испарение одного килограмма влаги составили 30,97 - 31,48 МДж. Производительность сушильной установки по выходу готовой продукции составила 1,1 кг/ч.

При втором способе время охлаждения составило 0,3...0,4 часа, а влажность уменьшилась на 1,2...1,5%. При сушке с таким способом охлаждения удельные затраты теплоты на испарение одного килограмма влаги составили 28,42 - 29,15 МДж. Производительность сушильной установки по выходу готовой продукции составила 2,8 - 3,1 кг/ч.

В результате производственных испытаний подтвердилась работоспособность данной установки, отказов и поломок не наблюдалось.

От кафедры “Механизация животноводства” Рязанская ГСХА

Заведующий кафедрой

“Механизация животноводства”,

д.т.н., профессор

аспирант кафедры

“Механизация животноводства”

От ГУП РО «Рязанская пчела»

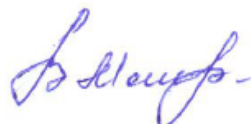
Ведущий инспектор



В.Ф. Некрашевич



Р.А. Мамонов



В.П. Мещеряков

Приложение И (продолжение)

АКТ

Комиссия в составе: заведующий, д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф. и аспирант Мамонов Р.А. от кафедры «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора П.А. Костычева» и руководитель Бирюков О.Е. от ЧП «Бирюков О.Е.» Кораблинского р-на, Рязанской области составили настоящий акт 4 июля 2007 года о нижеследующем.

В период с 18 июня по 29 июня 2007 года на производственной пасеке ЧП «Бирюков О.Е.» Кораблинского района, Рязанской области были произведены производственные испытания сушилки барабанного типа для сушки пыльцевой обножки.

Исследования проводили на обножке собранной пчелами внутривидового типа «Приокский» среднерусской породы пчел, с начальной влажностью 21...18%. Сушку проводили до конечной влажности 10...9%.

Для испытаний сушилки барабанного типа использовался следующий режим работы: скорость сушильного агента 2 м/с, температура сушильного агента 54,5 °С, частота вращения барабана 1,8 об/мин и угол наклона барабана 1,5 градуса.

Процесс сушки осуществлялся следующим образом. Сначала обножка сушилась в сушилке с выбранным режимом работы. После того как температура гранул обножки стала превышать температуру 40 °С её начинали охлаждать до температуры окружающего воздуха 25 °С. Процесс охлаждения осуществлялся путем продувания обножки атмосферным воздухом в барабанной сушилке.

Минимально количество влажной обножки необходимое для осуществления процесса сушки в барабанной сушилке составило 6,8...7,0 кг, а время необходимое для её сушки лежало в пределах 2,2...2,3 часа.

При сушке температура агента сушки составляла 50...54,5 °С, съём влаги за один проход находился в пределах 1,2...4,3 %, температура гранул обножки на выходе из сушильной установки составляла 38...40 °С, коэффициент заполнения барабана β составил 0,15...0,16. Производительность сушилки по выходу готовой продукции составила 2,7 - 2,9 кг/ч. При этом затраты теплоты на 1 кг

Приложение И (продолжение)

испаренной влаги составили 28,65 - 30,97 МДж, а удельные затраты электроэнергии на высушивание 1 кг товарной обножки 1,38 кВт·ч/кг.

За период эксплуатации установки было высушено 26 кг обножки, отказов и поломок не наблюдалось.

От ФГОУ ВПО Рязанская ГСХА,

зав. кафедрой «Механизация животноводства»,

д.т.н., профессор

Аспирант

Руководитель ЧП «Бирюков О.Е.»

В.Ф.Некрасhevич

Р.А. Мамонов

О.Е. Бирюков



Приложение И (продолжение)

АКТ

Комиссия в составе: заведующий лабораторией «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве», д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В., аспирант Коваленко М.В. и аспирант Буренин К.В. от кафедры «Механизация животноводства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени профессора П.А. Костычева» и руководитель Половинкин К.А. от КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района, Рязанской области составили настоящий акт 4 июля 2015 года о нижеследующем.

В период с 2012 по 2014 года на производственной пасеке КФХ «Богдановская пасека» Старожилов

ского района, Рязанской области были произведены производственные испытания комплекта оборудования для получения перги из пчелиных сотов, который включал в себя центробежный скарифikator перговых сотов, сушилку перги в сотах СП-40, агрегат для извлечения перги АИП-30. Охлаждение кусков перговых сотов осуществлялось в бытовом холодильнике «Атлант».

Исследования проводили на сотах, отобранных у среднерусской породы пчел, с начальной влажностью 24...18%. Сушку проводили до конечной влажности перги 14...15%.

Перед сушкой для уменьшения затрат энергии соты скарифировали в центробежном скарификаторе. В роторе закрепляли 4 кассеты с резиновым полотном толщиной 1 мм и устанавливали в них перговые соты. Перговые соты скарифировали при частоте вращения ротора 340 об/мин. Удельные затраты труда на скарификацию сотов составили 0,0125 чел-ч/сот, а затраты энергии 0,008 кВт-ч/сот.

Приложение И (продолжение)

Сушка осуществлялась в ульевых корпусах установленных на сушилку СП-40 при температуре 40-42 °С. Время сушки скарифичированных сотов составило 19-20 часов, а удельные затраты 1,66 кВт-ч/сот (5,23 кВт-ч/кг перги).

Трудоемкость отделения воскоперговой массы от рамок ручным способом составила 0,0185 чел-ч/сот.

После охлаждения кусков перговых сотов в холодильнике до температуры 4...5 °С их измельчали в агрегате АИП-30.

В процессе извлечения производительность агрегата составила 32 сота в час (8,8 кг/ч), количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а количество восковых примесей в перге – 4,9%, трудоемкость 0,025 чел-ч/сот (0,081 чел-ч/кг перги), удельная энергоемкость процесса 0,0375 кВт-ч/кг.

За период эксплуатации оборудования было переработано 720 сотов. Получено 224,6 кг перги. Потеря перги при сепарации в агрегате АИП-30 составила 1,8% от общего количества перги. Отказов и поломок оборудования за период испытания не наблюдалось.

От ФГБОУ ВПО РГАТУ,

заведующий лабораторией

«Инновационные и энергоресурсосберегающие

технологии и средства механизации

в растениеводстве и животноводстве»,




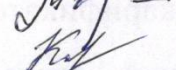
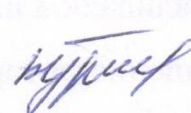
д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

к.э.н., доцент

аспирант

аспирант

 В.Ф.Некрашевич
 Р.А. Мамонов
 Т.В. Торженова
 М.В. Коваленко
 К.В. Буренин

Руководитель КФХ «Богдановская пасека»



К.А. Половинкин

Приложение И (продолжение)

Утверждаю

ИП глава КФХ

Н.Г. Фионин

2015 г.



Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВПО РГАТУ

Н.В. Бышов

2015 г.



АКТ

испытаний установки для скарификации перговых сотов

Комиссия в составе: заведующий лабораторией «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве», д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В. и аспирант Коваленко М.В. от кафедры «Механизация животноводства» федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени профессора П.А. Костычева» (ФГБОУ ВПО РГАТУ) и ИП глава КФХ Фионин Н.Г. составили настоящий акт о нижеследующем.

В 2011 - 2013 годах в лаборатории «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» Рязанского ГАТУ были произведены производственные испытания центробежного скарификатора перговых сотов. Данная установка используется в промышленной технологии извлечения перги, разработанной на кафедре «Механизация животноводства» Рязанского ГАТУ.

Установка для скарификации перговых сотов состоит из рамы, привода, электродвигателя, ротора, в который устанавливаются кассеты с натянутым резиновым полотном.

Приложение И (продолжение)

В процессе работы центробежного скарификатора на перговые соты действует центробежная сила. Воскоперговая масса сотов выгибается до натянутого в кассете полотна, что приводит к образованию зазоров между гранулами перги и восковыми стенками ячеек сотов.

В ходе испытания центробежного скарификатора были использованы соты со средней влажностью 19-20 %, взятые с пасеки расположенной в Рязанском районе Рязанской области.

За время испытаний было проскарифифицировано 217 перговых сотов. Центробежную скарификацию производили с частотой вращения ротора 340 об/мин. Время одного цикла скарификации составило 3 минуты. В результате последующей сушки скарифифицированных сотов по сравнению с нескарифифицированными время сократилось на 31 %, а соответственно затраты труда и энергии. От полученной перги после переработки сотов прибыль составила 60,2 тысячи рублей.

От кафедры «Механизация животноводства» ФГБОУ ВПО РГАТУ

Заведующий лабораторией

«Инновационные и энергоресурсосберегающие

технологии и средства механизации

в растениеводстве и животноводстве»,

д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

к.э.н., доцент

аспирант

От ИП главы КФХ

В.Ф. Некрашевич

Р.А. Мамонов

Т.В. Торженева

М.В. Коваленко

Н.Г. Фионин



Приложение И (продолжение)



Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВПО РГАТУ

Н.В. Бышов

2015 г.

АКТ

испытаний установки для скарификации перговых сотов

Комиссия в составе: заведующий лабораторией «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве», д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В. и аспирант Коваленко М.В. от кафедры «Механизация животноводства» федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени профессора П.А. Костычева» (ФГБОУ ВПО РГАТУ) и пчеловод Афонин В.Г. (Кораблинский район Рязанской области) составили настоящий акт о нижеследующем.

В 2011 - 2014 годах в лаборатории «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» Рязанского ГАТУ были произведены производственные испытания центробежного скарификатора перговых сотов. Данная установка используется в промышленной технологии извлечения перги, разработанной на кафедре «Механизация животноводства» Рязанского ГАТУ.

Установка для скарификации перговых сотов состоит из рамы, привода, электродвигателя, ротора, в который устанавливаются кассеты с натянутым резиновым полотном.

Приложение И (продолжение)

В процессе работы центробежного скарификатора на перговые соты действует центробежная сила. Воскоперговая масса сотов выгибается до натянутого в кассете полотна, что приводит к образованию зазоров между гранулами перги и восковыми стенками ячеек сотов.

За время испытаний было скарифичировано 198 перговых сотов. Время скарификации сотов составило 30 секунд на каждую сторону сота, а частота вращения ротора 340 об/мин. Средняя крошимость гранул при центробежном способе скарификации составила 10,66 %, что меньше в 1,9 раза по сравнению со скарификацией прорезанием и в 1,4 раза по сравнению с прокалыванием. Фактическая производительность скарификатора составила 80 сотов в час, удельные энергозатраты – 0,009 кВт-ч/сот.

В результате производственных испытаний подтвердилась работоспособность данной установки, отказов и поломок не наблюдалось. Время на сушку перги в сотах сократилось на 31 % по сравнению с нескарифичированными сотами и составило 19 часов.

От кафедры «Механизация животноводства» ФГБОУ ВПО РГАТУ

Заведующий лабораторией

«Инновационные и энергоресурсосберегающие

технологии и средства механизации

в растениеводстве и животноводстве»,


д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

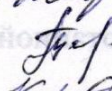
к.э.н., доцент

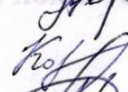
аспирант

пчеловод

 В.Ф. Некрашевич

 Р.А. Мамонов

 Т.В. Торженова

 М.В. Коваленко

 В.Г. Афонин

Приложение И (продолжение)

Утверждаю

Генеральный директор

ООО Агротехнопарк «АВИК»

И.В. Крикотненко

2016 г.



Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ

Н.В. Бышов

2016 г.



АКТ

испытаний агрегата для извлечения перги из пчелиных сотов

Комиссия в составе: профессор кафедры «Технические системы в АПК», д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В., аспирант Буренин К.В. от Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) и начальник цеха от ООО Агротехнопарк «АВИК» Крикотненко А.В. составили настоящий акт о нижеследующем.

Сотрудниками ФГБОУ ВО РГАТУ был разработан агрегат для извлечения перги из пчелиных сотов и комплект рабочих чертежей, выполненный по патентам на полезные модели № 141008 и №152375.

Агрегат состоит из рабочей камеры с загрузочным бункером, внутри которого расположена автоматически закрываемая заслонка, штифтового измельчителя с решеткой и электродвигателя. К боковой поверхности рабочей камеры присоединена приставка, выполняющая функцию выгрузного канала измельченной воскоперговой массы. На внешней стороне приставки прикреплен патрубок с заслонкой для присоединения внешней пневматической системы. Таким образом патрубок с заслонкой выполняют функцию аспирационного канала. Под нижней частью приставки расположен рассев и приемная емкость.

Приложение И (продолжение)

Работа агрегата осуществляется следующим образом. Подготовленные к переработки куски перговых сотов при включенном электродвигателе подают в загрузочный бункер. При нажатии куском сота на заслонку он проваливается в рабочую камеру, и заслонка автоматически возвращается в исходное положение, что предохраняет и защищает оператора от возможного выброса измельчаемого продукта. Измельченная до определенной степени воскоперговая масса через решетку попадает в приставку. Так как патрубок с заслонкой, расположенные над приставкой, выполняют функцию аспирационного канала, то там под действием воздушного потока, создаваемого внешней пневматической системой, происходит разделение воскоперговой массы, при котором легкие частицы воскового сырья уносятся в приемную камеру пневмосистемы, а более тяжелые гранулы перги поступают в приемную емкость. Поворотом заслонки аспирационного канала можно регулировать скорость воздушного потока.

Внешней пневматической системой может служить обычный бытовой пылесос. Если же использовать таковой не предоставляется возможности, то для разделения воскоперговой массы на гранулы перги и восковое сырье можно использовать рассев.

На основании конструкторской документации ООО Агротехнопарк «АВИК» изготовил производственный образец агрегата для извлечения перги.

В период с 01.06.2015 по 01.10.2015 были произведены производственные испытания данного агрегата для извлечения перги из пчелиных сотов.

За время испытаний было переработано более 200 пчелиных сотов, которые были получены от пчеловодческих хозяйств Старожиловского, Кораблинского и Рыбновского районов Рязанской области.

При извлечении перги в качестве внешней пневматической системы агрегата был использован бытовой пылесос марки LG V-C3044RD. В процессе извлечения были получены следующие результаты:

Приложение И (продолжение)

производительность 16 сот в час (6,5 кг перги/ч), количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а количество восковых примесей в перге – 4,9%, трудоемкость 0,0625 чел-ч/сот (0,154 чел-ч/кг перги), удельная энергоемкость процесса 0,0385 кВт-ч/кг (с учетом затрат энергии на пневмосепарирование 0,0877 кВт-ч/кг). Потеря перги при пневмосепарации составила 2,4% от общего ее количества.

В результате производственных испытаний подтвердилась работоспособность данного агрегата, отказов и поломок не наблюдалось.

В ходе испытаний агрегата для извлечения перги было установлено, что заслонка аспирационного канала, изменяющая скорость воздушного потока, иногда забивается восковой массой. Поэтому было предложено усовершенствовать конструкцию устройства для изменения скорости воздушного потока в аспирационном канале.

От ФГБОУ ВО РГАТУ

профессор кафедры

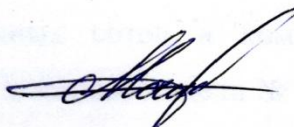
«Технические системы в АПК»

д.т.н., профессор



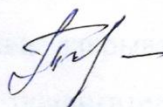
В.Ф. Некрашевич

к.т.н., доцент



Р.А. Мамонов

к.э.н., доцент



Т.В. Торженнова

аспирант

К.В. Буренин

От ООО Агротехнопарк «АВИК»



А.В. Крикотненко

Приложение И (продолжение)

Утверждаю

Руководитель КФХ «Богдановская пасека»



К.А. Половинкин

2016 г.

Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ



Н.В. Бышов

2016 г.

АКТ

испытаний комплекта оборудования для получения перги из пчелиных сотов

Комиссия в составе: профессор кафедры «Технические системы в АПК», д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В., аспирант Буренин К.В. от Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) и руководитель Половинкин К.А. от КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района, Рязанской области составили настоящий акт о нижеследующем.

В период с 01.11.2015 по 22.12.2015 на производственной пасеке КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района, Рязанской области были произведены производственные испытания комплекта оборудования для получения перги из пчелиных сотов, который включал в себя центробежный скарифikator перговых сотов, сушилку перги в сотах СП-40, агрегат для извлечения перги АИП-10. Охлаждение кусков перговых сотов осуществлялось в бытовом холодильнике «Атлант». При извлечении перги в качестве внешней пневматической системы агрегата для извлечения перги был использован бытовой пылесос марки LG V-C3044RD.

Исследования проводили на сотах, отобранных у среднерусской породы пчел, с начальной влажностью 24...18%. Сушку проводили до конечной влажности перги 14...15%.

Перед сушкой для уменьшения затрат энергии соты скарифировали в центробежном скарификаторе. В роторе закрепляли 4 кассеты с резиновым

Приложение И (продолжение)

полотном толщиной 1 мм и устанавливали в них перговые соты. Перговые соты скарифицировали при частоте вращения ротора 340 об/мин. Удельные затраты труда на скарификацию сотов составили 0,0125 чел-ч/сот, а затраты энергии 0,008 кВт-ч/сот.

Сушка осуществлялась в ульевых корпусах установленных на сушилку СП-40 при температуре 40-42 °С. Время сушки скарифицированных сотов составило 19-20 часов, а удельные затраты энергии 1,66 кВт-ч/сот (5,23 кВт-ч/кг перги).

Трудоемкость отделения воскоперговой массы от рамок ручным способом составила 0,0185 чел-ч/сот.

После охлаждения кусков перговых сотов в холодильнике до температуры 4...5 °С их измельчали в агрегате АИП-10. Отбор воскового сырья из пылесоса осуществляли после переработки 6 сотов.

В процессе извлечения производительность агрегата составила 6,1 кг перги в час, количество извлекаемой перги из сотов составило 97,1%, а количество восковых примесей в перге – 4,1%, трудоемкость 0,164 чел-ч/кг перги, удельная энергоемкость процесса 0,0409 кВт-ч/кг.

За период эксплуатации оборудования было переработано 107 сотов. Получено 34,6 кг перги. Потеря перги при сепарации в агрегате АИП-10 с применением внешней пневматической системы составила 1,7% от общего количества перги. Отказов и поломок оборудования за период испытания не наблюдалось.

От ФГБОУ ВО РГАТУ,

профессор кафедры
«Технические системы в АПК»,
д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

к.э.н., доцент

аспирант

Руководитель КФХ «Богдановская пасека»



В.Ф.Некрашевич



Р.А. Мамонов



Т.В. Торженнова



К.В. Буренин



К.А. Половинкин

Приложение И (продолжение)

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
АГРОТЕХНОПАРК «АВИК»**

14500, Московская область, г. Луховицы, ул. Жуковского, д.21, тел (496)634-41-04, факс (496)636-17-63 e-mail:krikotnenko.e@mail.ru, ИНН 5072002366 КПП 507201001 ОГРН 115272000471

15.08.2017 № _____

АКТ

**испытаний агрегата для центробежной скарификации сотов и выделения
воскоперговой массы из сотов АЦСВ-80**

Комиссия в составе: д.т.н., профессор Некрашевич В.Ф., к.т.н., доцент Мамонов Р.А., к.э.н., доцент Торженева Т.В., аспиранты Буренина Е.И. и Афанасьев А.М. от федерального бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) и генеральный директор ООО Агротехнопарк «АВИК» Крикотненко И.В. составили настоящий акт о нижеследующем.

Сотрудниками ФГБОУ ВО РГАТУ был разработан агрегат для центробежной скарификации сотов и выделения воскоперговой массы из сотов АЦСВ-80, и комплект рабочих чертежей, выполненный по патентам № 2472340, 147422, 2488269 и 2569482 РФ.

Агрегата АЦСВ-80 состоит из цилиндрической рабочей камеры, ротора, рамы, электродвигателя, клиноременной передачи, двух комплектов кассет для скарификации сотов и выделения воскоперговой массы из них.

Для изменения частоты вращения ротора электропривод агрегата был оснащен преобразователем частоты DELTA VFD 007L.

На основании конструкторской документации ООО Агротехнопарк «АВИК» изготовил производственный образец агрегата для центробежной скарификации сотов и выделения воскоперговой массы из сотов АЦСВ-80.

В период с 03.08.2017 по 15.08.2017 были проведены испытания агрегата АЦСВ-80 в производственных условиях.

За время испытаний агрегата было переработано 108 пчелиных сотов с начальной влажностью перги 18,8-20,1 %.

Приложение И (продолжение)

Для проведения центробежной скарификации сотов в ротор установки устанавливались четыре кассеты с резиновыми пластинами. Сначала 30 сотов скарифицировали центробежным способом в агрегате АЦСВ-80 при частоте вращения ротора 340 мин^{-1} и толщиной резиновой пластины в кассетах 1 мм. Затем, скарифицированные и нескарифицированные соты через один ставились в ульевые корпуса, которые устанавливались в сушилку СП-40.

Фактическая производительность агрегата по скарификации составила 80 сотов в час, удельные затраты энергии – $0,008 \text{ кВт}\cdot\text{ч/сот}$, трудоемкость скарификации центробежным способом составила $0,0126 \text{ чел}\cdot\text{ч/сот}$.

Время сушки перги в скарифицированных сотах составляет около 18 часов, а время сушки перги нескарифицированных сотов около 24 часов. Таким образом, центробежная скарификация сотов позволила сократить время сушки перги в сотах на 33 %.

При достижении влажности перги в сотах 14-15 % их извлекали из сушилки СП-40 и сразу устанавливали в ротор агрегата АЦСВ-80. Температура сотов соответствовала $40...42^\circ\text{C}$. Частота вращения ротора при выделении воскоперговой массы составляла 400 мин^{-1} .

Производительность агрегата АЦСВ-80 по выделению воскоперговой массы сотов составила 140 сотов/ч. Время цикла выделения воскоперговой массы из четырех сотов находилось в пределах 1,6...1,7 минуты, а удельные затраты энергии – $0,005 \text{ кВт}\cdot\text{ч/сот}$. Трудоемкость отделения воскоперговой массы из сотов центробежным способом составила $0,0125 \text{ чел}\cdot\text{ч/сот}$.

За время испытаний отказов и поломок агрегата не наблюдалось.

Для изменения частоты вращения ротора электропривод агрегат был оснащен преобразователем частоты DELTA VFD 007L.

От ФГБОУ ВО РГАТУ

д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

к.э.н., доцент

аспирант

аспирант

В.Ф. Некрашевич

Р.А. Мамонов

Т.В. Торженева

Е.И. Буренина

А.М. Афанасьев

Генеральный директор

ООО Агротехнопарк «АВИК»

И.В. Крикотненко



Приложение К

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

Бюро Отделения механизации, электрификации и автоматизации
Россельхозакадемии

Москва, ГНУ ВИМ

18.12.2008 г.

1. Положительно оценить проводимые научные исследования, разработки и полученные результаты по созданию инновационных технологий и средств механизации в пчеловодстве, выполняемые кафедрой «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО РГАТУ.

2. Предложить кафедре «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО РГАТУ провести сравнительный анализ использования отечественных и зарубежных технологических и технических средств в механизации пчеловодства; провести расчет экономической эффективности новых научных разработок ФГОУ ВПО РГАТУ согласно «Рекомендациям по организационно-экономическому механизму ресурсосбережения в селосом хозяйстве», (разработанной ГНУ ВНИИЭСХ Россельхозакадемии, и включить в систему машин по механизации пчеловодства следующие технологии и технические средства:

- технологию и линию извлечения перги из пчелиных сотов с оборудованием: скарифikator и сушилка перговых сотов, агрегат для извлечения перги;
- технологию и барабанную сушилку пыльцевой обножки;
- технологию и водяную воскотопку - воскопресс;
- технологию и линию очистки и прессования прополиса в брикеты брикетировщиком непрерывного действия;
- технологию и линию приготовления тестообразных универсальных подкормок пчелам в защитной оболочке из воска.

3. Просить Минсельхоз России включить в конкурсную тематику, выполняемую для нужд министерства, НИР по созданию инновационных технологий и технических средств механизации и автоматизации трудоемких процессов в пчеловодстве, предусмотрев меры по их реализации в рамках «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008-2012 годы» и новой «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 г.».

4. НТС по механизации животноводства Отделения (пред. акад. Морозов Н.М.) по согласованию с Отделением зоотехнии РАСХН и Депнаучтехполитики МСХ РФ рассмотреть вопрос о возможности организации в ФГОУ ВПО РГАТУ инновационной лаборатории по механизации производственных процессов в пчеловодстве и определения организации для изготовления опытных образцов, малой серии и промышленного изготовления машин.

Вице-президент



Ю.Ф. Лачуга

Приложение К (продолжение)

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕХАНИЗАЦИИ АГРОХИМИЧЕСКОГО И МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(ГНУ ВНИМС)

390025, г. Рязань, ул. Щорса, 38/11; тел. (4912) 98 56 07, факс (4912) 98 57 04

08.12.09. № 60/611
на _____ от _____

Ректору ФГОУ ВПО РГТУ
профессору Туникову Г.М.

Уважаемый Геннадий Михайлович!

ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» извещает Вас о том, что с использованием основных отличительных признаков патентов № 50434, 76251, 2171715 вашего вуза и представленной конструкторской документации налажен промышленный выпуск агрегатов АИП-50 для извлечения перги из пчелиных сотов согласно постановлению бюро секции механизации электрификации и автоматизации Российской академии сельскохозяйственных наук от 18 декабря 2008 года.

Директор



А.С. Евстропов

Приложение К (продолжение)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕХАНИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ АГРОХИМИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(ФГБНУ ВНИМС)**

390025, г. Рязань, ул. Щорса, 38/11; тел. (4912) 985607, факс (4912) 985704

11.12.2014. № 545

на № _____ от _____

Справка

**о принятии к использованию результатов
экспериментально-теоретических исследований авторского коллектива
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»**

**Некрашевича Владимира Федоровича,
Мамонова Романа Александровича,
Торженовой Татьяны Владимировны,
Буренина Кирилла Викторовича**

Дана настоящая профессору Некрашевичу Владимиру Федоровичу, доценту Мамонову Роману Александровичу, доценту Торженовой Татьяне Владимировне и аспиранту Буренину Кириллу Викторовичу в том, что ФГБНУ ВНИМС приняло результаты экспериментально-теоретических исследований и техническую документацию для производства и реализации агрегатов для извлечения перги из пчелиных сотов АИП-50 и АИП-30 (патенты РФ № 50434, 76251, 2464781, 2452175, 128066, 144486) и ежегодно, начиная с 2008 года производит по заказам от 8 до 12 агрегатов в год.

И.о. директора



М.А. Гайбарян

Приложение К
(продолжение)

ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА –
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»
(ИТОСХ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

390025, г. Рязань, ул. Щорса. 38/11; тел. (4912) 985607; факс (4912) 985607

24.07.2018г. № 01/245

на № _____ от _____

Ректору ФГБОУ ВО РГАТУ

председателю диссертационного совета

Д220.057.03 д-р. техн. наук, профессору

Н.В. Бышову

Справка

Настоящая справка предоставляется в Диссертационный совет Д 220.057.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» - разработчику агрегатов для извлечения перги из пчелиных сотов АИП-50 и АИП-30 о том, что ИТОСХ - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (изготовитель) по результатам научно-технических разработок и документации была поставлена на производство и изготовлена серия агрегатов АИП-50 и АИП-30 с 2009 по 2017 гг., которые реализованы организациям и частным лицам в следующие регионы Российской Федерации и страны ближнего зарубежья: Республику Башкортостан, Татарстан, Алтайский край; Курскую, Тверскую, Воронежскую, Рязанскую и др. области; Республику Беларусь, Украину .

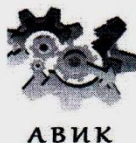
Врио директора



Н.Н. Новиков

Исполнитель: ведущий инженер ЭПО Бражникова Т.А. (тел. 8 (4912) 98-56-48)

Приложение К (продолжение)



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

АГРОТЕХНОПАРК «АВИК»

14500, Московская область, г. Луховицы, ул. Жуковского, д.21, тел (496)634-41-04, факс (496)636-17-63 e-mail:krikotnenko.e@mail.ru, ИНН 5072002366 КПП 507201001 ОГРН 115272000471

14.01.2016 № 6

Ректору федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»
Бышову Н.В.

ООО Агротехнопарк «АВИК» доводит до Вашего сведения, что наша организация, начиная с 2011 года по настоящее время по заказу пчеловодов производит центробежные скарификаторы СЦ-60, отделители массы от рамок ОЦ-4 и агрегаты для извлечения перги АИП-10 по плану 100 агрегатов в год. Примерная сумма реализации 1,8-2,0 млн. рублей в год.

Генеральный директор ООО Агротехнопарк «АВИК»



Крикотненко В.И.

Приложение К (продолжение)

МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ул. Федосеевская, дом 36, г. Казань, 420014



ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
АВЫЛ ХУЖАЛЫГЫ
ҺӘМ АЗЫК-ТӨЛЕК
МИНИСТРЛЫГЫ
Федосеевская ур., 36 йорт, Казан ш., 420014

Тел.: (843) 221 76 00, факс: (843) 221 76 79, agro@tatar.ru, www.agro.tatar.ru

05.08.2016 № 06-391
На № _____ от _____

Ректору ФГБОУ ВО
«Рязанский государственный
агротехнологический университет
им. П.А. Костычева»
д.т.н., профессору Н.В. Бышову

Уважаемый Николай Владимирович!

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан поддерживает работу авторского коллектива, направленную на решение проблемы получения перги, которая сегодня является одним из ценнейших продуктов пчеловодства.

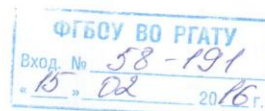
Агрегаты для извлечения перги из пчелиных сот АИП-30 и АИП-50, разработанные в Рязанском государственном агротехнологическом университете им. П.А. Костычева под руководством д.т.н., профессора В.Ф. Некрашевича внедрены в производственный процесс более 20 фермерских хозяйств Республики Татарстан.

Опытно промышленная проверка агрегатов АИП проводилась и в фермерских, и в личных подсобных хозяйствах Арского, Апастовского, Кукморского, Тетюшского и Лаишевского муниципальных районов Республики Татарстан. В результате проведенной проверки получены качественно новые результаты – гранулы перги получаются целыми и хорошо очищенными от воска, количество извлекаемой перги из сот – 97...99 %, при этом подтверждена высокая надежность работы агрегатов.

Заместитель министра сельского хозяйства
и продовольствия Республики Татарстан



Т.Г. Тагирзянов



Приложение К (продолжение)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
«ОБЛАСТНОЙ КЛИНИЧЕСКИЙ КАРДИОЛОГИЧЕСКИЙ
ДИСПАНСЕР»

390026, Г.Рязань, ул. Стройкова, 96 тел.: (4912) 76-97-24, факс 97-51-77
www.rokkd.com, e-mail: post@rokkd.com ИНН/КПП 6228019955/623401001

«10» февраля 2016 г.

Ректору федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»
Н.В. Бышову

Справка

Дана настоящая о том, что ГБУ РО «Областной клинический кардиологический диспансер», начиная с 1995 года, использует для лечения больных пергу в количестве 40-50 кг. ежегодно, получаемую по технологии, разработанной в вашем университете. Лечение проводится более, чем у 100 пациентов. Результаты положительные.

Главный врач
д.м.н. профессор



Д.Р.Ракита

Приложение Л



Приложение Л (продолжение)

Серебряная медаль
сорокового международного форума по пчеловодству «Апимондия» за
разработку
«Промышленная технология и линия извлечения перги из пчелиных сотов»
Г. Мельбурн (Австралия), 2007 г.





VIII МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ САЛОН ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ

ДИПЛОМ

награждается

ФГОУ ВПО Рязанская ГСХА им. проф.
П. А. Костычева

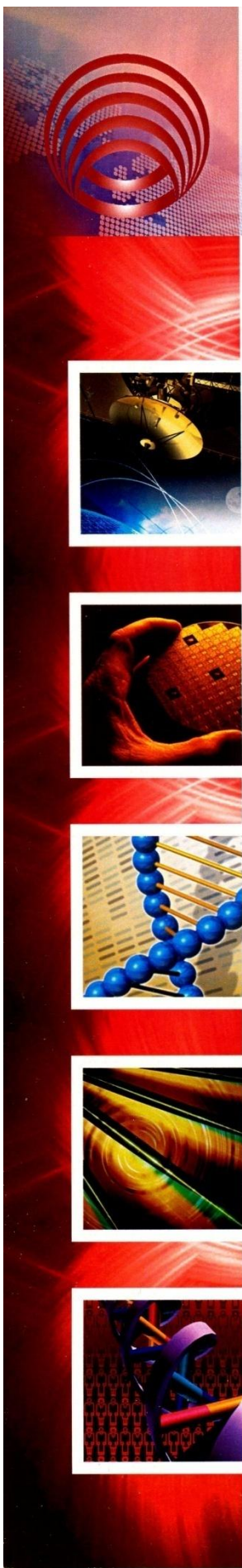
за разработку

Барабанная сушилка для сушки пыльцевой
обножки

Министр образования и науки
Российской Федерации

А. А. Фурсенко

МОСКВА, ВВЦ, 2008



Приложение Л (продолжение)



МИНИСТЕРСТВО ТЭК И ЖКХ

РОССИЙСКОЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
АГЕНТСТВО

РЯЗАНСКИЙ ЦНТИ –
ФИЛИАЛ ФГБУ «РЭА»
МИНЭНЕРГО РОССИИ

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Некрашевич В.Ф.

Мамонов Р.А.

Торженова Т.В.

*за разработку агрегата
для извлечения перги АИП-30
и участие*

**В III МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ВЫСТАВКЕ
«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ-2012»
10-11 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА**



КОЛОМИЙЦЕВА Л.В.