

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

*На правах рукописи*



**Буренин Кирилл Викторович**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ  
СОТОВ**

Специальность: 05.20.01 – «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
заслуженный деятель науки  
и техники Российской Федерации  
доктор технических наук,  
профессор **Некрашевич В.Ф.**

**Рязань 2017**

## АННОТАЦИЯ

Целью диссертационного исследования является обоснование параметров измельчителя перговых сотов.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований. Отражены научные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе дан анализ существующих средств извлечения перги из пчелиных сотов. Определены задачи исследования.

Во втором разделе приведены программа и методики исследований физико-механических свойств гранул перги и воскового сырья. Представлены результаты проведенных исследований изучаемых свойств.

В третьем разделе представлены теоретические обоснования параметров измельчителя.

В четвертом разделе приведена программа и методика исследований. В результате исследований уточнены параметры измельчителя перговых сотов. Представлены результаты исследований.

В пятом разделе представлен экспериментальный образец измельчителя перговых сотов. Определен экономический эффект применения измельчителя перговых сотов.

Сделано заключение и по результатам проведенных исследований приведены рекомендации производству.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>6</b>
<b>1 АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРГИ ИЗ ПЧЕЛИНЫХ СОТОВ</b>	<b>11</b>
1.1 Перга в жизни пчел и человека	11
1.2 Анализ способов извлечения перги	15
1.3 Анализ средств механизации извлечения перги	20
1.4 Анализ выполненных исследований по измельчению перговых сотов	28
1.5 Постановка задач исследований	33
<b>2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛ ПЕРГИ И ВОСКОВОГО СЫРЬЯ</b>	<b>34</b>
2.1 Программа и методика исследований	34
2.1.1 Методика определения габаритных размеров и массы гранул перги	34
2.1.2 Методика определения коэффициентов трения гранул перги от влажности и воскового сырья от температуры	37
2.1.3 Методика определения влияния влажности перги, времени и температуры охлаждения на прочность гранул перги	39
2.2 Результаты исследований	41
2.2.1 Результаты исследований габаритных размеров и массы гранул перги	41
2.2.2 Результаты исследований коэффициентов трения гранул перги от влажности и от температуры воскового сырья	42
<b>ВЫВОДЫ</b>	<b>45</b>
<b>3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ</b>	<b>47</b>
3.1 Конструктивно-технологическая схема измельчителя перговых сотов	47
3.2 Обоснование параметров заслонки измельчителя перговых сотов	49
3.3 Теоретические исследования траектории движения куска пергового сота после удара штифтом	52

3.4 Теоретические исследования траектории движения гранулы перги по нижнему штифту	61
3.5 Условие прохождения гранулы перги через прутковую решетку	67
ВЫВОДЫ	71
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ	73
4.1 Программа исследований	73
4.2 Методика исследований	73
4.3 Результаты исследований	84
4.3.1 Результаты исследования зависимости массового выхода фракций измельченной воскоперговой массы после удара штифта от частоты вращения вала измельчителя	84
4.3.2 Результаты исследования крошимости гранул перги в зависимости от диаметра и количества штифтов, а также частоты вращения вала измельчителя	85
4.3.3 Результаты исследования влияния частоты вращения вала измельчителя на среднюю длину гранул перги	88
4.3.4 Результаты исследования крошимости гранул перги и количество воска на перге в зависимости от параметров прутковой решетки при различной частоте вращения вала	89
4.3.5 Результаты исследований гранулометрического состава гранул перги и воскового сырья	98
4.3.6 Результаты исследований аэродинамических свойств (скорость витания) гранул перги и воскового сырья	99
ВЫВОДЫ	101
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ	103
5.1 Экспериментальные исследования измельчителя перговых сотов	103

5.2 Результаты исследований	106
5.3 Результаты исследования температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при разной температуре окружающей среды на крошимость перговых гранул	107
5.4 Экономический эффект применения измельчителя перговых сотов	109
ВЫВОДЫ	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	118
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	120
ПРИЛОЖЕНИЯ	135

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** На сегодняшний день одной из важных задач, которые стоят перед отечественными товаропроизводителями, является снабжение экологически чистыми и высококачественными продуктами питания Российского рынка. Одним из направлений решения этой задачи является развитие пчеловодства. Медоносные пчелы в перекрестном опылении повышают урожайность, улучшают посевные качества семян, а также товарный вид овощей и плодов. Они являются источником удивительных и ценных продуктов: мед, воск, пчелиный яд, прополис, маточное молочко, пыльцевая обножка и перга. Одной из важных ступеней в развитии пчеловодства и достижения конкурентоспособности на мировом рынке данной отрасли является кормообеспеченность пчел. Для увеличения числа пчелосемей необходимо обеспечить их требуемым количеством кормов. Пчелам нужны как углеводы, так и белки. К белковым кормам относится перга.

В цветочную пыльцу, которую медоносные пчелы укладывают в ячейки сотов, добавляются секреты желез, заливаются медом, и после консервации образующейся молочной кислотой она превращается в то, что принято называть пергой. Благодаря тому, что перга богата белками, углеводами, витаминами, незаменимыми жирными аминокислотами, а также другими биологически активными веществами люди обратили на нее внимание, чтобы использовать её уникальные свойства в таких отраслях, как медицина, косметология, а также в пищевой промышленности. Она способствует излечению различных заболеваний: атеросклероза, желудочно-кишечных расстройств, нервных и психических расстройств, сердечнососудистых заболеваний. Перга особенно важна для укрепления организма ребенка, при частичной потере зрения и малокровии (анемии).

В России около 3,5 млн. пчелосемей и из них только примерно от 300 тыс. получают пергу, а от остальных пчелосемей перга отправляется в отходы при перетопке сотов, снижая при этом выход воска.

Существующее оборудование для получения перги сравнительно дорогое, так как предназначено в основном для промышленного производства.

При небольшом количестве пчелосемей в основном используются малоэффективные способы получения перги, требующие значительных затрат времени. При этом получают малую часть перги. Для увеличения доходности и рентабельности небольших пасек, повышения производства перги, снижения затрат энергии, уменьшения себестоимости производства перги, требуется создание соответствующего оборудования именно для пасек, имеющих не так много ульев.

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в изучение вопроса измельчения перговых сотов и извлечения перги внесли отечественные ученые. Изучением этого вопроса занимались Бышов Н.В., Бибиков П.В., Бондарь Л.К., Бронников В.И., Донченко Ю.В., Дудов И.А., Каширин Д.Е., Кирьянов Ю.Н., Мамонов Р.А., Некрашевич В.Ф и другие. И, несмотря на большое количество научных работ, и исследований, вопрос измельчения перговых сотов, извлечения перги и получения гранул перги более высокого качества остается актуальным и требует более детального изучения.

Дальнейшее совершенствование процесса измельчения перговых сотов и извлечения перги возможно осуществлять на основе результатов исследований как непосредственно связанных с изучаемым вопросом, так и на основе анализа работ, близких по тематике. Такие исследования проведены в работах ученых: Винокурова С.В., Коваленко М.В., Космовича Е.К., Курдюмова В.И., Курочкина А.А. Ларина А.В., Мельникова С.В., Хмырова В.Д. и других.

Работа выполнена в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ, тема 6 «Совершенствование энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. рег. 01201174434) в рамках раздела 6.4 «Технологии и технические средства для производства подкормок пчелам и переработки продукции пчеловодства (воска, перги, прополиса)»

**Цель исследований.** Обоснование параметров измельчителя перговых сотов.

**Объект исследований.** Измельчитель перговых сотов.

**Предмет исследований.** Параметры измельчителя перговых сотов.

**Научная новизна** диссертационной работы:

- теоретически обоснованные параметры измельчителя перговых сотов;
- результаты экспериментальных исследований измельчителя перговых сотов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретически рассмотрено удаление продукта из измельчителя через решетку с отверстиями квадратного сечения, обеспечивающую проход гранул перги. Представлен измельчитель перговых сотов, который можно использовать на пасеках с небольшим количеством пчелосемей для получения гранул перги. Новизна подтверждена патентами на полезную модель № 141008 «Измельчитель перговых сотов» и № 152375 «Измельчитель перговых сотов». На основании исследований получен патент на изобретение № 2553236 «Способ извлечения перги». В результате экспериментальных исследований получено 34,6 кг перги в КФХ «Богдановская пасека» Старожиловского района Рязанской области.

**Методология и методы исследования.** Основной метод исследования – анализ и синтез работы измельчителя перговых сотов. При исследовании свойств перги и воскового сырья использовались общеизвестные методики и разработанные на их базе частные. При проведении лабораторных и экспериментальных исследований использовались современные электронные и механические устройства, установки и приборы, а также специально разработанные и изготовленные. Обработка экспериментальных данных, полученных в исследованиях, проводилась методом математической статистики с использованием персонального компьютера и компьютерных программ: Microsoft Excel 2007, Mathcad 14.0, Statistica 8.0.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретически обоснованные параметры измельчителя перговых сотов;
- результаты экспериментального уточнения параметров измельчителя перговых сотов.



**Вклад автора** заключается в постановке задач исследований, в обосновании параметров измельчителя перговых сотов, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Степень достоверности научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов по теоретическим и экспериментальным исследованиям, а также применением современных методик, устройств и средств исследования и обработки результатов экспериментов. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на 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») «Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения», ФГБОУ ВПО РГАТУ (г. Рязань, 19-21 ноября 2013г.); на международной научно-практической конференции «Пчела и человек», ФГБНУ «НИИ пчеловодства» (г.Рыбное 4-6 декабря 2013 г.); на научно-практической конференции – форум «Пчела и человек», Дом науки ФГБНУ ВСТИСП (г. Москва, 6-7 октября 2014 г.); на научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития пчеловодства России», ФГБОУ ВПО РГАТУ (г.Рязань, 4-5 декабря 2014г.); на международной научно-практической конференции – форум «Пчела и человек», Дом науки ФГБНУ ВСТИСП (г. Москва, 20-21 марта 2015 г.); на 66-ой международной научно-практической конференции «Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона», ФГБОУ ВО РГАТУ (г.Рязань, 14 мая 2015г.); на выставке инновационных разработок и технологических стартапов в рамках VII Всероссийского молодежного форума «Сельское хозяйство – территория возможностей», Крокус Экспо (г.Москва, 8 октября 2015 г.), на международной научно – практической конференции «Апитерапия сегодня», ФГБНУ «НИИ пчеловодства» (г. Рыбное, 1-3 октября 2015 г.), на национальной конференции

«Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России» (г. Рязань, 12 декабря 2016 г.), на 68-ой международной научно-практической конференции «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», ФГБОУ ВО РГАТУ (г. Рязань, 26-27 апреля 2017г.), а также в опубликованных 14 научных работах, в том числе 7 в изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в 1 патенте РФ на изобретение и 2 патентах РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 3,92 печ.л., из которых 2,55 печ.л. принадлежат лично автору.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 135 наименований и приложений. Работа изложена на 119 страницах основного текста, содержит 8 таблиц и 56 рисунков.

# 1 АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРГИ ИЗ ПЧЕЛИНЫХ СОТОВ

## 1.1 Перга в жизни пчел и человека

Одной из тех отраслей сельского хозяйства, которая может повысить уровень животноводства и земледелия является пчеловодство [16, 25, 29, 30, 33, 35, 36, 38, 43, 51, 100].

Медоносные пчелы играют огромную роль в перекрестном опылении, улучшении качества семян и плодов энтомофильных сельскохозяйственных растений, а также в повышении урожайности. От пчел получают ряд ценных продуктов: прополис, мед, пергу, воск и другие [6, 16, 25, 29, 30, 31, 33, 36, 38, 43, 51, 100, 111, 122, 123, 124].

Кормообеспеченность пчелиных семей оказывает огромное влияние на развитие пчеловодства. Мед, перга и пыльца растений в значительном количестве требуются для нормальной жизнедеятельности пчелиной семьи. От меда пчелы получают углеводы, а от пыльцы и перги – белки. В состав перги и пыльцы входят все необходимые для развития и роста пчел вещества, поэтому их роль как белкового корма исключительно велика [9, 16, 30, 33, 36, 38, 111, 123, 124].

Перга – это цветочная пыльца, которая собрана медоносной пчелой, уложенная в ячейки сотов, залитая медом и законсервированная образующейся молочной кислотой [29, 50, 110, 120, 127, 128, 133].

В перге значительно больше витаминов, чем в цветочной пыльце. Так, витамина С – 140-205 мг%, В1 — 0,4-1,5 мг%, В2 — 0,54-1,9 мг%, В6 — 0,5-0,9 мг%, Р — 60 мг%, А — 50 мг%, Е — 170 мг%, Д — 0,2-0,6 мг%. Минеральные соли в перге составляют 4-7 мг%, органические кислоты — 1-5 мг%, ферменты и гормоны определяются в очень малых количествах [110, 133].

Перга способна сохраняться без качественных изменений несколько лет [8, 24, 29].

Пергу делают взрослые пчелы и кормят ею личинок. Поразительно то, что готовят пчелы этот продукт очень разумно, заботясь о будущем потомстве и

собирая пыльцу для них не одного вида, а делая своеобразный коктейль со своим набором микроэлементов. Поэтому такой корм имеет особенную ценность [24, 29, 38, 39, 41, 50, 110, 112, 113, 123, 124, 130, 131, 134, 135].

Пчелы готовят пергу следующим образом: взрослая особь с пыльцой-обножкой, входя в пространство между рамок улья, выгружает свою ношу, складывая принесенные пылинки в восковые ячейки. После чего пчелы уплотняют пыльцу в ячейках ударами своей головы, связывают верхний ее слой своей слюной, которая, как утверждают ученые, имеет необычный состав и специальные ферменты, а другие пчелы заливают, получившийся слой медом [24, 29, 38, 39, 41, 50, 110, 112, 113, 130, 131, 134, 135].

Перга лучше усваивается и переваривается личинками пчел, так как она в отличие от пыльцы стерильна. Питательная ценность у неё в 3 раз выше пыльцы и в 9 раз выше любого другого заменителя пыльцы. Так же перга превосходит пыльцу в 3 раза по антибиотическим свойствам [8, 24, 29, 38, 39, 41, 110, 112, 113, 130, 131, 135].

Поедая пергу, личинки формируют все необходимые им системы жизнедеятельности, так как в ней содержится много витаминов, разнообразных минеральных веществ, необходимых для нормального роста и развития пчел. За 3 дня личинки увеличиваются в массе в 1500 раз! Такой биологической активностью на сегодняшнее время не обладает ни один продукт в мире [8, 24, 29, 38, 39, 41, 110, 112, 113, 130, 131, 135].

Благодаря исследованиям, проведенным на Украинской опытной станции пчеловодства можно обосновано сказать, что пчелиные семьи, получившие медо-перговую подкормку, вырастили со своими отводками с 26 апреля по 28 августа в среднем 202400 личинок и произвели по 3,3 кг воска, а контрольные семьи, которые не получали подкормку, вырастили за это же время только 116890 личинок и выдали по 0,75 кг воска [16, 33, 113]. Семьи, которые получили медо-перговую смесь, заложили большее количество маточников и сохраняли рядом с ними более постоянную температуру.

Доказано, что у обеспеченных пергой пчел к весне выход меда и воска резко увеличивается. Пчелы, которые проводят зиму с большим запасом перги, весной выращивают большее количество расплода и более продуктивны, в отличие от семей, которые зимовали без неё, либо получили соты с пергой лишь в день выставления из зимовника. Если в пчелином гнезде отсутствует перга, то клуб пчел разрыхляется раньше и в нем уменьшается содержание углекислого газа. Недостаток её в гнезде провоцирует беспокойство, из-за чего особи быстро изнашиваются [8, 9, 29, 31, 42, 100, 130, 131].

При дефиците перги обеспеченность личинок снижается. Вследствие чего в этих семьях рождаются менее жизнестойкие, мелкие особи с недоразвитыми гипофорингеальными жировым телом и восковыделительными железами. Нехватка в рационе пчелиной семьи белкового корма – это одна из причин появления инвазионных и инфекционных болезней [8, 9, 29, 42, 100, 130, 131].

Белковая подкормка особенно необходима при использовании пчел в теплицах [13, 25, 48, 103]. В данных условиях на одну пчелиную семью требуется скормливать не менее 4-5 кг перги.

В нашей стране есть районы с недостатком, либо с избытком пыльценосных растений. Поэтому стоит задача в перераспределении перги из благоприятных областей в места с нехваткой белкового корма.

Решить данную проблему можно посредством внедрения промышленной технологии получения и хранения перги.

Благодаря работе, выполненной в институте пчеловодства, можно утверждать, что от каждой пчелиной семьи можно взять по 200-300 грамм перги только из сотов, которые идут на выбраковку [49].

Благодаря своим свойствам перга находит применение в медицине, косметике, пищевой и витаминной промышленности, а также служит добавкой в кондитерские изделия и соусы. Вкус перги заметно отличается в зависимости от свежести и вида пыльцы, но часто напоминает поливитамины [39, 44, 45, 56, 105, 118, 120, 129, 132].

Для человека этот продукт – прекрасная пищевая добавка, так как в нем много питательных и биологически активных веществ [38, 41, 42, 49, 120, 126].

С учетом всех примеров успешного использования перги для профилактики и лечения разных болезней, можно твердо сказать, что перга способствует в излечении следующих заболеваний: анемия, атеросклероз, гипертрофия простаты, желудочно-кишечного тракта, нарушение деятельности эндокринной системы, нервные и психические расстройства, болезни печени, почек, сердечнососудистые расстройства [11, 14, 30, 37, 82, 117, 119, 120].

Перга особенно важна для укрепления организма ребенка, при частичной потере зрения и при малокровии (анемии) [102, 107, 120].

Также следует отметить, что она не вызывает аллергию в отличие от пыльцы растений, которая часто является причиной такого заболевания [120].

Перга насыщена минеральными элементами, такими как калий (40%), магний (25%), железо (17%), кальций (17%), а также витаминами А, С, Р, Е. При этом калий устанавливает построение сердечной мышцы и ее функционирование, обмен веществ, а также вывод из организма токсинов. Магний определяет построение и функционирование нервной системы. В свою очередь железо устанавливает работу кровеносной системы, состав крови, а также активность гемоглобина. Кальций отвечает за построение костной системы, за состав и прочность костей [44, 105, 120, 130, 131, 132].

В перге много разных полезных веществ, которые благотворно влияют на здоровье не только пчелы, но и человека. Так, в пыльце одуванчика и осоты много каротиноидов (до 2,1 и 1 мг/г соответственно), которые, попадая в организм человека, преобразуются в витамин А (ретинол), он позволяет предотвращать ослабление зрения. Ежедневное употребление около 5-6 грамм перги в течение 3-х недель позволяет накопить необходимые запасы данного витамина в организме на то время, когда попадание каротиноидов вместе с другими источниками питания ограничено [44, 101, 113, 120].

В перге присутствуют стерины, которые преобразуются в человеческом организме в витамин D (кальциферол), нужный, в частности, для выделения

гормона, который несет ответственность за формирование костей и их прочность. При потреблении перги около 1,5-2 г в сутки человек может всецело удовлетворить потребность организма в этом витамине и таким образом укрепить кости и мышцы. Особенно это важно для людей в пожилом возрасте, у которых повышена хрупкость костей [44, 105, 120, 130, 131, 132].

Много в перге и витамина Е (токоферола). Он защищает липиды мембран от окислительного разрушения, что очень важно при попадании на кожу прямых солнечных лучей. Недостаток этого витамина выражается в появлении невродов и апатии, а также в ослаблении мышц скелета. Вероятно, с действием витамина Е связано повышение потенции при употреблении перги. Для обеспечения ежедневной потребности в данном витамине человеку вполне достаточно принимать 5 г перги в сутки [44, 105, 120, 130, 131, 132].

В России выпускаются лекарственные и косметические препараты на основе или с добавлением перги: «Апимин-А» (вырабатывается из перги), «Черника» (драже из ягод черники, перги, мёда, пчелиного воска), «Витас» (в состав входят мед, перга, маточное молочко), различные шампуни, гели, маски для лица из меда и перги. Во многих зарубежных странах: Япония, Румыния, Норвегия, Швеция, Аргентина, Германия, – выпускается аналогичная продукция [14, 44, 105, 120, 130, 131, 132].

Проанализировав все вышеизложенное, можно утверждать, что перга является одним из ценнейших продуктов пчеловодства и ее необходимо заготавливать в промышленных масштабах без ущерба для пчелиной семьи [22, 27, 41, 80].

## **1.2 Анализ способов извлечения перги**

В Российской Федерации до появления полностью механизированной линии по извлечению перги из пчелиных сотов в промышленных цехах и на ряде пчелопасек предпринимались попытки получения перги с применением различных технологий. При этом подробно были изучены вопросы, относящиеся к биологии

развития пчелосемей с тем, чтобы при отборе пчелиных сотов не было отрицательного влияния на их жизнедеятельность и продуктивность по основным, дополнительным и сопряженным продуктам отрасли, а также по активности в весенне-летний период [80].

Существует два наиболее распространенных способа заготовки перги – это заготовка непосредственно в пчелиных сотах и заготовка отдельно от восковой основы сота (рис. 1.1) [50, 63, 77, 80].



Рисунок 1.1 – Классификация способов заготовки перги.

При заготовке перги непосредственно в сотах необходимо строгое соблюдение температуры и влажности воздуха, что бывает достаточно сложно обеспечить. Также при данном способе хранения присутствует высокая степень повреждения сотов восковой молью [27].



Некоторые авторы советуют осуществлять консервацию перги прямо в сотах. При этом соты присыпают сахарной пудрой, а затем укладывают в полиэтиленовые пакеты и в таком виде они хранятся до весны [27].

Однако несмотря на свою простоту, из-за ряда существенных недостатков данный метод не может быть использован в промышленных условиях:

- применение перги для приготовления подкормок уже невозможно;
- исключается использование перги для нужд человека;
- при постановке ранней весной в улей пчелиных сотов есть высокая вероятность гибели расплода и переохлаждения гнезда.

С учетом вышеизложенных недостатков консервации перги в сотах можно сделать вывод, что заготавливать пергу отдельно от восковой основы пчелиного сота является наиболее целесообразным.

Для выделения перги из сотов разными авторами предлагаются различные методы механического разрушения восковой основы сота и последующего применения воскоперговой массы как непосредственно, так и после растворения в воде [63, 70].

Так ряд пчеловодов просто режут соты с пергой на полосы по рядам, а после вытряхивают из них гранулы перги [28, 112, 113]. Но таким образом можно получить лишь небольшое количество данного продукта.

Некоторые авторы предлагают срезать ножом стенки ячеек пергового сота до средостения, а затем массу, которая получилась протирать через сито и применять ее вместе с восковыми частицами [24, 26, 27]. Использование данного метода характеризуется потерей части перги, которая остается в углублениях доньшек ячеек, а также воска, который пчелы выбрасывают, когда едят пергу. Но внизу улья, а также в его щелях скапливаются восковые частицы с размельченной пергой и это способствует появлению вредителей пчел и сотов. Таким вредителем является восковая моль.

И.Д. Бойко рекомендует пчелиные соты пропускать через мясорубку, а затем воскоперговую массу, которая в итоге получилась, консервировать с помощью сахарной пудры [9, 33, 35, 70]. В таком виде она может содержаться в

закрытых банках несколько месяцев. При потребности на 1 килограмм данной смеси добавляется 1 литр воды, затем раствор процеживается и его можно использовать для подкормки пчел.

При использовании перги таким образом в корм попадают засоряющие его экскременты личинок, остающиеся внизу ячеек после выхода каждого поколения пчел. При этом контакт с водой может спровоцировать неуправляемое размножение бактерий, которое приведет к тому, что продукт будет испорчен.

Такие же недостатки присутствуют и у способа, который основан на замачивании сотов в воде. При этом качество перги заметно снижается, это связано с тем, что уменьшается количество важных водорастворимых веществ.

Идентичные недочеты имеет метод, когда водой заливают срезанные ячейки сота, затем воду и всплывшие частицы воска удаляют, а пергу, которая осталась на дне высушивают и используют.

Е.К. Космович сушил соты с пергой, тем самым защищая их от восковой моли. При этом перга становится более прочной и отходит от стенок ячеек или коконов. Затем соты подвергаются воздействию холода в течение 30 – 40 минут при температуре минус 3-4 °С, что делает восковую основу хрупкой. Далее их перетирают до полного разрушения воска. При отрицательной температуре воск разрушается на мелкие кусочки, а подсушенная перга в ячейках практически не разламывается. Воск из такой массы отвеивают, либо отделяют его посредством просеивания через сито. Перговые гранулы, на которых восковая оболочка еще сохранилась, повторно отправляют на сушку, вследствие этого они уменьшаются в объеме и отделяются от оболочек [33, 35, 40]. Необходимо отметить, что при вторичном перетирании, часть гранул превращается в пыль.

Отдельные исследователи рекомендуют добывать (вынимать) пергу непосредственной из всех ячеек сота. Данные методы состоят из следующих этапов. В начале для снижения силы, которая удерживает в ячейке гранулу перги, восковую основа сота подогревают. Далее с помощью вакуума, либо используя различные устройства, осуществляют извлечение гранул перги. Затем полученный продукт консервируют или перерабатывают [1, 4].

И.А. Дудов и Ю.В. Донченко предлагают паром нагревать и увлажнять соты, а затем с помощью пергоудалителя, представляющего собой ряд трубок, в которых создается разрежение с помощью вакуумного насоса, извлекать перговые гранулы [2].

П.В. Бибииков и Л.К. Бондарь предложили устройство, которое позволяет поочередно высверливать пергу из восковых ячеек сота [4].

Проведя анализ предложенных способов для извлечения перги, можно указать их следующие существенные недостатки:

- при температуре перговых гранул более 45°C разрушаются термолabile компоненты, что приводит к снижению ценности продукта [16, 67, 74];
- разогрев паром пчелиных сотов зачастую приводит к неуправляемому росту бактерий, что в дальнейшем портит гранулы и восковую основу сота [16];
- иногда консистенция перги не допускает перемещать её по трубопроводу с помощью вакуума;
- у всех предложенных способов отмечается крайне малая производительность;
- не одна из технологий, перечисленных выше, не позволяет решить проблему очистки гранул от примесей.

Следует отметить, что указанные выше способы являются примитивными и не могут быть использованы при заготовке большого объема продукта.

Известен 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 дальнейшей пневматической сепарацией измельченной массы при скорости 7,5...8 м/с воздушного потока и сушку в вакууме. Перед началом извлечения перги из сотов удаляют остатки меда, после чего проводят глубокое охлаждение отделенных от рамок кусков пчелиных сотов до замерзания перги при температуре от -18 до -19 °С в течение 5...6 ч, охлажденные куски сотов с пергой измельчают до образования отдельных гранул перги и воскового сырья, полученные после пневматической сепарации замороженные перговые гранулы вторично измельчают до порошкообразного состояния, а затем осуществляют сушку в вакууме. Перговые гранулы вторично

измельчают до среднего размера частиц 0,3...1,5 мм и сушат в вакууме слоем 12...15 мм на теплоподводящей поверхности, которая разогрета до температуры 48...50 °С, в течение 1,8...2 часов до 13...14% влажности перги [88, 90].

Также существует механизированная технология извлечения перги, предложенная В.Ф. Некрашевичем, В.И. Бронниковым и С.А. Стройковым. Данная технология состоит из следующих последовательно выполняемых операций: заготовка пчелиных сотов с осушиванием от остатков пчелиного меда; скарификация сотов с пергой; сушку в сотах перги; отделение воскоперговой массы от рамки; охлаждение этой массы и ее измельчение с последующим разделением измельченной воскоперговой массы на восковое сырье и пергу, а также досушивание, если полученный продукт получается повышенной влажности [3, 45, 46, 63, 64, 72, 81, 93, 94, 97].

По результату анализа существующих способов извлечения перги можно считать технологию извлечения перги В.Ф. Некрашевича, В.И. Бронникова и С.А. Стройкова наиболее перспективной. Данная технология в значительной степени повышает количество извлекаемой перги, снижает затраты труда на ее производство, а также позволяет получить готовый продукт высокого качества, который с каждым годом пользуется все бóльшим спросом как у пчеловодов, так и обычного потребителя. При механизированном осуществлении операций этой технологии оказалось, что трудности появляются в процессе измельчения пчелиных сотов и дальнейшем отделении перги.

### **1.3 Анализ средств механизации извлечения перги**

Существуют различные механизированные средства для извлечения перги.

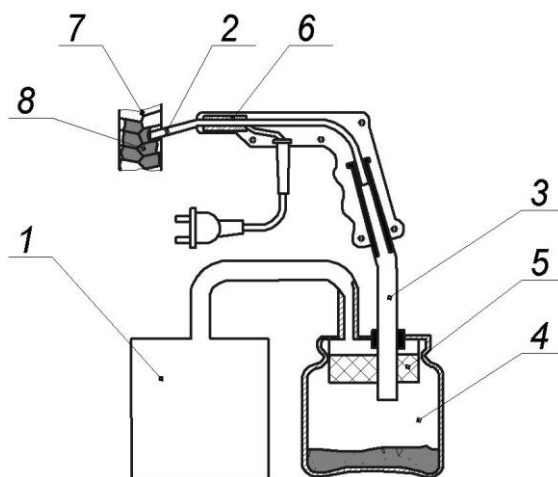
По способу извлечения их можно разделить на 2 вида:

- извлечение перги без разрушения пчелиного сота;
- извлечение перги с разрушением пчелиного сота.

Для извлечения перги без разрушения восковой основы сота были предложены различные устройства [1, 4, 86].

Так И.А. Дудовым и Ю.В. Донченко было изготовлено устройство, состоящее из приемной емкости с трубопроводом, который соединен с источником вакуума и заборным наконечником с нагревательным элементом (рис. 1.2) [1, 33, 35, 36].

Чтобы получить пергу, разогретую до 50-55 °С, наконечник при включенном источнике вакуума помещают в ячейку сота. В отверстие наконечника с большой скоростью поступает воздух, который захватывает перговую гранулу и переносит её по трубопроводу в приемную емкость. Полученный продукт оставляют в этой же емкости или упаковывают в другую [1, 33, 35, 36].



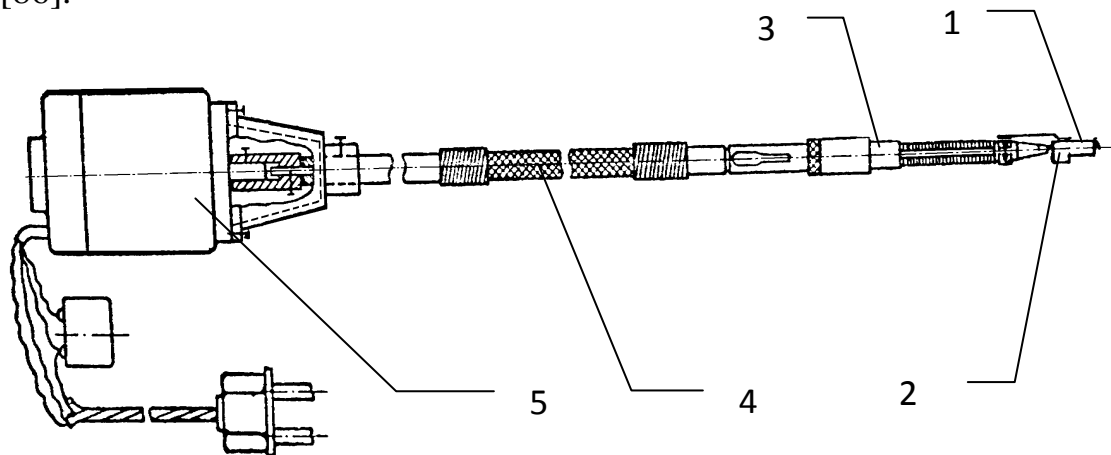
1 – источник вакуума; 2 – заборный наконечник; 3 – трубопровод; 4 – приемная емкость; 5 – заградительный фильтр; 6 – нагревательный элемент; 7 – восковая основа пчелиного сота; 8 – перговая гранула.

Рисунок 1.2 – Схема вакуумного устройства для получения перги.

П.В. Бибилов и Л.К. Бондарь разработали устройство, которое состоит из шнека, помещенного в цилиндрический кожух, где присутствует окно для вывода гранул, и гибкого вала, на конце которого находится электропривод (рис.1.3). Для получения перги шнек с кожухом данного устройства помещают в ячейку сота. В процессе работы шнек захватывает пергу и через расположенное в кожухе окно она падает в лоток [4, 33, 35, 36].

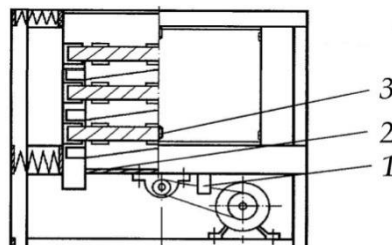
Также следует отметить вибрационную установку, предложенную Д.Е. Кашириным (рис.1.4). Она содержит расположенный на несущей раме

посредством упругой подвески корпус с разгрузочной трубой и вибровозбудителем. Нижняя часть корпуса выполнена в виде несущей плиты, а внутри корпуса боковые стенки поярусно выполнены с пазами для установки в них соторамок. Под каждой соторадкой установлен выгрузной сборник, выполненный в виде плоскости, наклоненной в двух плоскостях к выгрузной трубе [86].



1 – шнек в кожухе; 2 – выгрузная горловина; 3 – цанговый наконечник; 4 – гибкий вал; 5 – электропривод.

Рисунок 1.3 – Схема шнекового устройства для получения перги.



1 – вибровозбудитель; 2 – несущая плита с пазами для рамок; 3 – перговая рамка.

Рисунок 1.4 – Вибрационная установка для получения перги.

Работа установки происходит следующим образом: предварительно осушенные от остатков меда и высушенные до влажности перги 12-13% соты устанавливают в поярусно расположенные пазы, внутри корпуса. После установки всех сотов, в работу включают электродвигатель, который через клиноременную передачу раскручивает вибровозбудитель, создающий вибрацию корпуса. Под действием вибрации перговые гранулы выходят из ячеек сота и поступают на выгрузные сборники, которые направляют перговые гранулы в

загрузочные окна разгрузочной трубы. После отделения перговых гранул от восковой основы сота вибровозбудитель отключают и рабочий корпус освобождают от опустошенных сотов [86].

Основными недостатками вышеперечисленных устройств является малая производительность и низкий выход готового продукта.

Для измельчения перговых сотов разработаны различные конструктивно-технологические схемы устройств, классификация которых представлена на рисунке 1.5 [60, 62, 71, 80, 84, 85, 87, 89, 91, 92, 99].

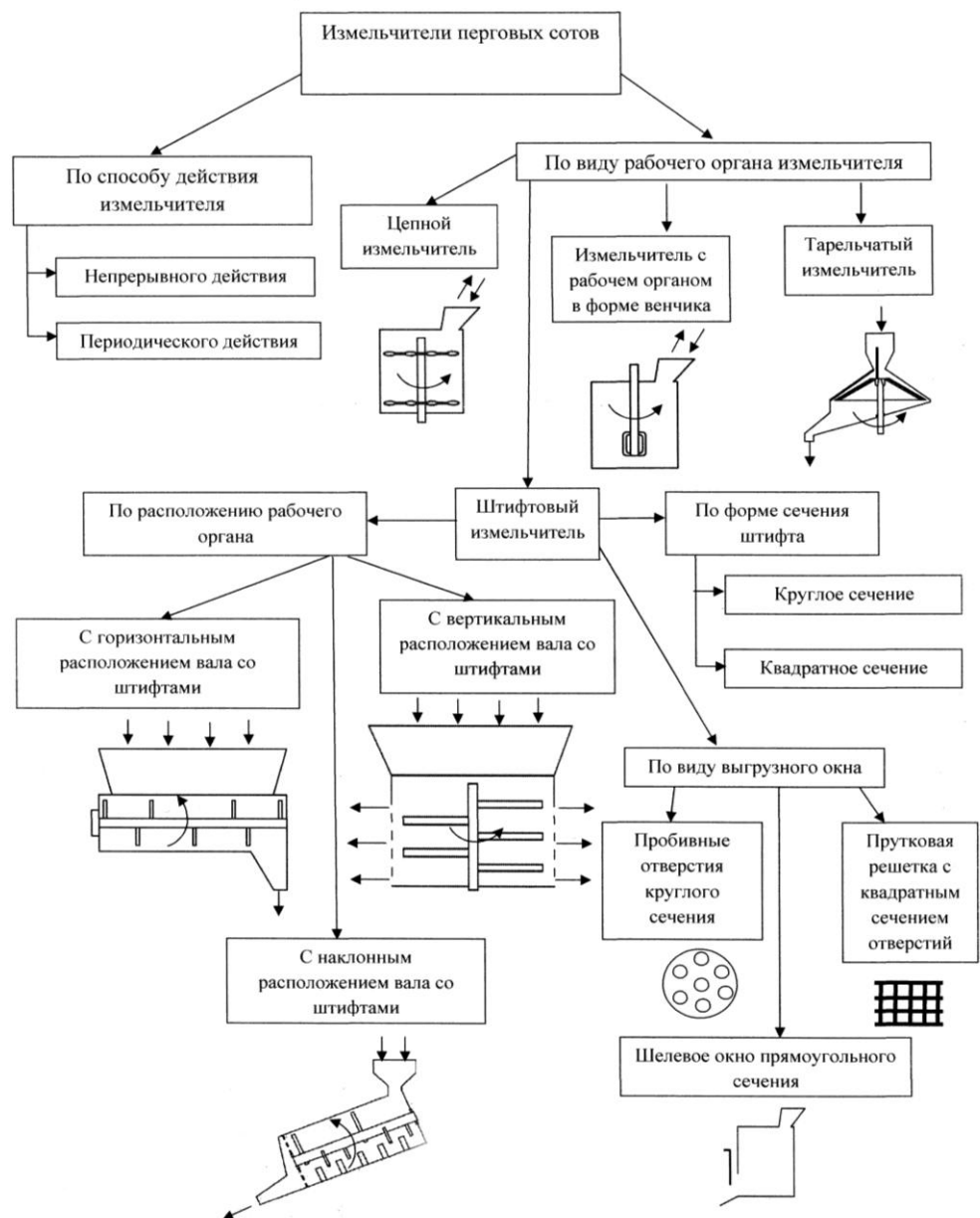
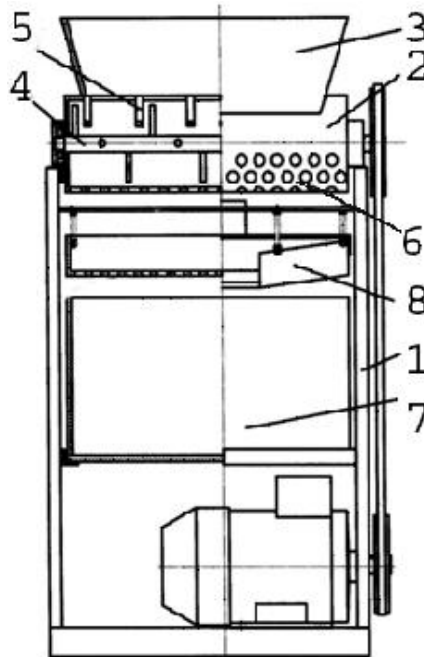


Рисунок 1.5 – Классификация устройств для измельчения перговых сотов.

Штифтовый измельчитель с горизонтальным расположением рабочего органа реализован в установке, представленной на рисунке 1.6 [34, 35, 62, 89].

Куски перговых сотов подаются в загрузочную горловину 3, где попадают на неподвижные штифты 5. Затем под ударным воздействием штифтов, закрепленных на валу 4, куски перговых сотов разламываются и опускаются внутрь цилиндрической рабочей камеры 2. Измельчение происходит до того момента, пока получившаяся воскоперговая масса не пройдет сквозь круглые отверстия решета 6 рабочей камеры [34, 35, 89].

Недостатком данной установки является то, что гранулы перги при прохождении через решето измельчителя ломаются штифтами вращающегося вала. Это приводит к ухудшению качества и частичной потере готового продукта.

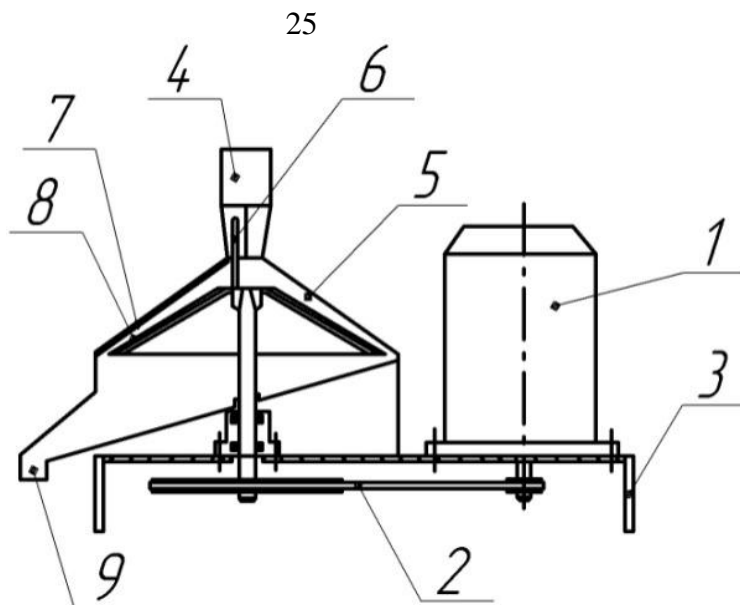


1 – рама; 2 – цилиндрическая рабочая камера; 3 – загрузочная горловина; 4 – вал со штифтами; 5 – неподвижные штифты; 6 – решето; 7 – бункер; 8 – выгрузной лоток.

Рисунок 1.6 – Установка для получения перги с горизонтальным штифтовым рабочим органом.

Измельчитель с тарельчатым конусообразным рабочим органом реализован в установке, представленной на рисунке 1.7 [62, 87].





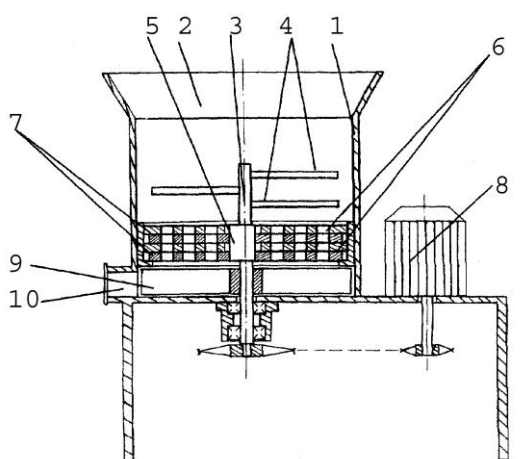
1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – рама; 4 – загрузочный патрубок; 5 – рабочая камера; 6 – биту; 7 – конусный корпус измельчителя; 8 – тарельчатый рабочий орган; 9 – выгрузной патрубок.

Рисунок 1.7 – Установка для получения перги с конусообразным рабочим органом.

Куски перговых сотов загружают в загрузочный патрубок 4. Первичное измельчение происходит под действием сил сжатия при защемлении кусков сотов между вертикально установленным, эксцентрически вращающимся битером 6 и ребренной стенкой загрузочного патрубка 4. Дальнейшее измельчение происходит под действием сил сжатия при защемлении кусков сотов в зазоре между неподвижным корпусом измельчителя 7 и вращающимся конусом рабочего органа 8 с ребрами. Образовавшаяся таким образом воскоперговая смесь под действием центробежной силы и силы тяжести опускается в нижнюю часть камеры и поступает в выгрузной патрубок 9.

Недостатком данного измельчителя является сложность конструкции, которая обеспечивает двойное измельчение перговых сотов, что, как правило, ведет к переизмельчению материала.

Измельчитель штифтовый с вертикальным расположением рабочего органа реализован в установке, представленной на рисунке 1.8 [33, 35, 62, 85].



1 – рабочая камера; 2 – загрузочная горловина; 3 – ротор; 4 – штифты; 5 – эксцентрик; 6 – чередующиеся неподвижные сита; 7 – подвижные сита; 8 – привод измельчителя; 9 – крылач; 10 – выгрузное окно;

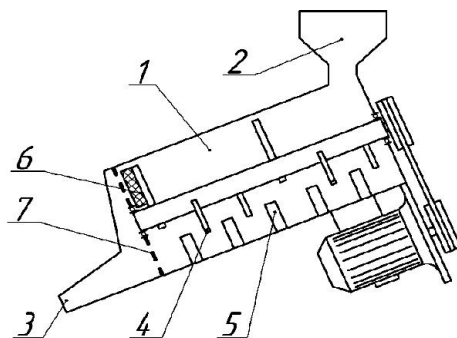
Рисунок 1.8 – Установка для получения перги с вертикальным штифтовым рабочим органом и ситами.

Измельчитель работает следующим образом. Измельчаемый материал подается в загрузочную горловину 2, где попадает под ударное воздействие штифтов 4 вращающегося вала ротора 3. Из-за такого воздействия куски перговых сотов разрушаются до получения отдельных перговых гранул, которые не связаны восковой основой. Перговые гранулы попадают на поверхность верхнего неподвижного сита 6 и при совпадении отверстий подвижных 7 и неподвижных сит 6, падают в каналы, которые образованы отверстиями данных сит. После чего перговые гранулы попадают в пространство под ситами измельчителя, откуда с помощью крылача 9 выходят через выгрузную горловину 10. Недостаток – при попадании восковых частиц и нагреве сит отверстия залипают.

Измельчитель штифтовый с наклонным расположением рабочего органа реализован в установке, представленной на рисунке 1.9 [62, 63, 71, 80].

Работа данного измельчителя осуществляется следующим образом. Предварительно подготовленные куски перговых сотов помещают в загрузочную горловину 2, откуда под действием силы тяжести поступают в рабочую камеру 1. Под ударными воздействиями штифтов 4, находящихся на валу, и сопротивления,

оказываемого со стороны штифтов 5, расположенных на внутренней стороне рабочей камеры 1, восковая основа сотов разбивается, при этом освобождаются гранулы перги. Затем с помощью эластичной пластины 6 проталкиваются через эксцентрично раззенкованные наклонные отверстия решета 7. Далее воскоперговая смесь под действием гравитационных сил выгружается через выгрузное окно 3.



1 – камера измельчителя; 2 – загрузная горловина; 3 – выгрузное окно; 4 – подвижные штифты; 5 – неподвижные штифты; 6 – эластичная пластина; 7 – решето.

Рисунок 1.9 – Установка для получения перги с наклонным штифтовым рабочим органом.

Также существуют измельчители периодического действия (рис. 1.5), к таким можно отнести цепной измельчитель и измельчитель с рабочим органом в виде венчика. Их конструкции и принцип действия практически одинаковы. В камеру измельчения загружают куски перговых сотов, затем включают двигатель, который через передачу приводит в действие рабочий орган, установленный внутри камеры измельчения. Далее происходит измельчение посредством воздействия вала с цепью или же рабочим органом в виде венчика на куски перговых сотов. Затем измельчитель выключают и вручную выгружают измельченную воскоперговую массу на сито для отделения перги. Недостатком таких измельчителей является то, что материал переизмельчается и часть перги безвозвратно теряется в виде крошки при дальнейшей отделении, также процесс эксплуатации связан с большими затратами времени и ручного труда на загрузку и выгрузку.

Проанализировав конструкции существующих измельчителей было выявлено, что некоторые из них либо обладают низкой производительностью, либо переизмельчают гранулы перги, либо попросту дорогостоящие для приобретения [60, 62, 71, 80, 84, 85, 87, 89, 91, 99].

Одной из самых перспективных для измельчения перговых сотов является схема штифтового измельчителя непрерывного действия с вертикальным рабочим органом. Так как рабочий процесс в нем осуществляется непрерывно с возможностью дозированной загрузки и получением на выходе воскоперговой массы с требуемым гранулометрическим составом для дальнейшей очистки [57, 62, 80, 81, 91, 92].

#### **1.4 Анализ выполненных исследований по измельчению перговых сотов**

Измельчение – это процесс уменьшения размеров частиц твердого тела до требуемых размеров путем механического воздействия [10, 47, 101, 108, 109].

Энергоемкость процесса измельчения зависит от формы, физико-механических свойств кусков, их размеров, влажности, однородности и т. д. В связи с этим конечной целью теоретических исследований данных процессов, которые ставят большинство ученых, является выведение (в общем виде) зависимостей между энергией, которая расходуется, и отдельными характеристиками материала, который измельчается [10, 47, 101, 108, 109].

Карей и Стерманд изучали теорию свободного измельчения. Эта теория рассматривала измельчение как процесс раскалывания каждого тела в отдельности, а затраты энергии на данный процесс рассматривается как сумма энергий, которые нужны для измельчения каждой частицы [10, 47, 101, 108, 109].

Известнейшими гипотезами, которые устанавливают эти зависимости, являются теории дробления Риттингера и Кирпичева — Кика [10, 47, 101, 108, 109]. Теория Риттингера (1867) определяет взаимосвязь между работой, которая затрачивается на измельчение материала, и образованной при этом вновь поверхностью кусков, то есть

$$A = k\Delta S,$$

где  $A$  — работа, которая затрачивается на измельчение, Н·м;

$k$  — коэффициент пропорциональности, Н/м;

$S$  — величина образованной вновь поверхности, м<sup>2</sup>.

Экспериментальное подтверждение этой гипотезы Риттингер не привел, но предоставил методику, позволяющую определить величины образованной вновь поверхности. Поэтому измельчению подвергались кубической формы куски, разрушение которых осуществлялось по взаимно перпендикулярным плоскостям [10, 47, 101, 104, 108, 109].

Теория Кирпичева — Кика определяет зависимость между работой  $A$ , которая расходуется на измельчение, и объемом разрушаемых тел  $V$  [10, 47, 101, 108, 109].

Профессор В. Л. Кирпичев в 1874 г. впервые выразил закон подобия для тел, которые находятся в упругом состоянии. Согласно этому закону

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2},$$

Профессор Кик в 1885 г. издал работу. В ней закон подобия В. Л. Кирпичева был распространен на область пластических деформаций хрупких материалов, что было вполне допустимо [10, 47, 101, 108, 109]. Согласно опубликованным материалам работа, которая затрачивалась на измельчение, выражается следующей формулой

$$A = \frac{\delta^2 V}{2E},$$

где  $\delta$  — напряжение, которое возникает при разрушении материала, Н/м<sup>2</sup>;

$V$  — объем куска, который измельчается, м<sup>3</sup>;

$E$  — модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>.

Если учесть, что физико-механические свойства определенного материала являются постоянной величиной, то закон Кирпичева — Кика может быть выражен следующим образом [10, 47, 101, 108, 109]

$$A = k_k V = k_k D^3,$$

где  $k_k$  – коэффициент пропорциональности;

$V$  – объем кубического куска с ребром  $D$ , м<sup>3</sup>.

Основным недостатком приведенных теорий является то, что каждая из них принимает во внимание только часть энергии, которая затрачивается при измельчении: первая — на непосредственное получение новых поверхностей, которые возникают за пределом упругости (пластичности); вторая — на упругую деформацию материала, который измельчается. В связи с этим в дальнейшем было принято мнение о том, что каждая из этих гипотез справедлива для разных этапов измельчения: теория Риттингера не берет во внимание затраты энергии на упругую деформацию материала, и следовательно она справедлива для процесса помола, где осуществляется интенсивное появление новых поверхностей; наоборот, теория Кирпичева — Кика считает, что основная часть работы измельчения расходуется на упругую деформацию материала, которая происходит при измельчении.

П. А. Ребиндер в 1940 г. представил формулу расхода энергии при измельчении материала, объединяющую рассмотренные выше теории [10, 47, 101, 108, 109]

$$A = \sigma \Delta F + k \Delta V,$$

где  $\sigma$  и  $k$  — коэффициенты пропорциональности;

$\Delta F$  — вновь образованная поверхность при разрушении тела;

$\Delta V$  — объем деформированного материала, м<sup>3</sup>.

Данная формула является частным случаем закона сохранения энергии, согласно которому процесс измельчения характеризуется переходом одного вида энергии твердого тела в другой. До разрушения тело обладает потенциальной энергией, т. е. находится под действием внешних сил в состоянии упругой деформации. В результате разрушения потенциальная энергия переходит в кинетическую, причем энергия деформации превращается в тепло и рассеивается в окружающую среду [10, 47, 101, 108, 109].

Недостатком этой формулы является то, что отсутствуют методики для определения коэффициентов  $\sigma$  и  $k$ .

На основании теории Кирпичева – Кикка Л. Б. Левенсон представил следующий упрощенный вариант определения энергии, которая затрачивается на измельчение материала. Если за место напряжения  $\delta$  в выражение работы упругих деформаций поместить разрушающее напряжение (предел прочности)  $\sigma_p$ , то получим работу, которая затрачивается на разрушение всего деформируемого объема куска материала до продукта с частицами размером, которые приближаются к нулю. В связи с этим степень измельчения теоретически доходит до бесконечности. Фактически объем, который подлежит измельчению, можно взять равным

$$A = \frac{\sigma_p^2(D^3 - d^3)}{2E},$$

Данная формула предлагалась для определения расхода энергии, которая затрачивалась на измельчение материала.

Еще в 1923 г. на основании своих опытов Хоултейн сделал вывод о том, что при измельчении материалов энергия тратится на получение новой поверхности, на теплоту трения материала по рабочим поверхностям измельчителя, на теплоту деформации материала без разрушения. По его мнению, ни одна из теорий, которые были предложены, не принимать во внимание точно этих расходов энергии. Ни одна простая формула не может быть использована ко всем материалам и методам дробления. Вероятно, средний из обоих методов наиболее близок к правде [10, 47, 101, 108, 109].

Ф. Бонд в 1951 г. представил гипотезу процесса измельчения, где математически объединил теорию Риттингера и Кирпичева — Кика. Он также предполагал, что полная работа обязана включать работу деформации и получения новых поверхностей, предложил также считать работу, которая затрачивается на дробление одного куска, пропорциональной среднему геометрическому из объема и поверхности куска [10, 47, 101, 108, 109].

$$A = A_d + A_{\Pi} = k_B \sqrt{D^3 D^2} = k_B D^{2.5},$$

Проведя анализ представленных гипотез, нужно отметить, что ни одна из них не может быть универсальной: одни берут в расчет расход энергии на

преодоление упругих деформаций в материале (теория Кирпичева— Кика), другие связывают расход энергии с финальными результатами процесса, а именно степенью измельчения (теория Риттингера и Бонда). Условностью рассмотренных гипотез может быть исследование процесса разрушения тел правильной геометрической формы под действием сжимающих нагрузок, которые равномерно распределены. У Ребиндера рассматривается степень измельчения и работа деформации, но при этом не указаны методы для нахождения количества циклов повторения знакопеременных усилий для полного разрушения материала.

Однако все представленные гипотезы базируются на процессе измельчения тел правильной геометрической формы под действием равномерно рассредоточенных сжимающих нагрузок, но фактически же разрушение материала происходит под влиянием сосредоточенных нагрузок.

Основываясь на вышеупомянутых законах, С.В. Мельников вывел эмпирическую зависимость, которая позволяет узнать энергозатраты на измельчение вне зависимости от способа измельчения [33]

$$A_{\text{изм}} = C_{np}(C_V l g \lambda_u^3 + C_S(\lambda_u - 1)),$$

где  $C_V$  - коэффициент, который выражает энергозатраты на упругие деформации материала, которые отнесены к единице его массы;

$C_S$  - коэффициент, который выражает энергозатраты на образование новых поверхностей, которые отнесены к единице массы;

$C_{np}$  - коэффициент, который учитывает влияние неучтенных факторов;

$\lambda_u$  - степень измельчения.

Точнее всего процесс измельчения перговых сотов определяет эмпирическая формула С.В. Мельникова. Так как кроме свойств материала, который измельчается, она позволяет принять во внимание конструктивные особенности измельчителя [33].



## 1.5 Постановка задач исследований

В результате анализа измельчителей перговых сотов было выявлено, что существующее оборудование либо имеет низкую производительность или высокую стоимость, либо снижает качество гранул перги.

При этом следует отметить, что одной из самых перспективных для измельчения перговых сотов является схема штифтового измельчителя с вертикальным рабочим органом.

По статистическим данным за рубежом количество небольших пасек составляет около 80% от общего количества, данный уровень наблюдается и в России [43, 51, 114, 115, 125].

Пчеловоды с небольшим количеством пчелосемей в настоящее время пользуются кустарные и малоэффективными способами измельчения перговых сотов для получения гранул перги. Из-за этого они получают лишь незначительную часть перги, а полученный продукт имеет низкое качество. Поэтому чтобы повысить рентабельность небольших пасек и увеличить производство перги, требуется создание оборудования именно для пчеловодов с небольшими пасеками. В связи с этим задачами исследований являются:

1. Провести анализ существующих средств получения перги, определить их недостатки и выбрать направление их дальнейшего развития.
2. Уточнить физико-механические свойства гранул перги и воскового сырья.
3. Теоретически обосновать параметры измельчителя перговых сотов.
4. Экспериментально уточнить параметры измельчителя перговых сотов.
5. Определить экономический эффект применения измельчителя перговых сотов.

## 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛ ПЕРГИ И ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

### 2.1 Программа и методика исследований

Чтобы обосновать конструктивно-технологические параметры и режимы работы измельчителя перговых сотов, нужно знать физико-механические свойства гранул перги и воскового сырья. Поэтому задачей экспериментального исследования является определение числовых значений характеристик гранул перги и воскового сырья в условиях, соответствующих режимам работы предлагаемого измельчителя.

В соответствии с поставленной задачей программа исследований предусматривает:

- 1 – определение габаритных размеров и массы гранул перги;
- 2 – определение коэффициентов трения гранул перги от влажности и воскового сырья от температуры;
- 3 – определение влияния влажности перги, времени и температуры охлаждения на прочность гранул перги.

#### 2.1.1 Методика определение габаритных размеров и массы гранул перги

На рисунке 2.1 изображены габаритные размеры гранулы перги:  $d$  – это диаметр перговой гранулы, а  $L$  – длина перговой гранулы. За диаметр перговой гранулы принимался диаметр окружности вписанной в шестигранное поперечное сечение гранулы перги.

В эксперименте применялась перга соответствующая ГОСТ 31776-2012 [22]. Для определения длины гранул перги использовалась специальная установка с индикатором часового типа. Исследования проводились на 50 сотах с пергой, при этом было произведено 500 замеров из пяти разных мест перговых сотов:

внизу, вверху, справа, слева и в середине. На рисунке 2.2 изображена схема и общий вид установки для определения длины перговых гранул в соте [16, 36, 46, 68].

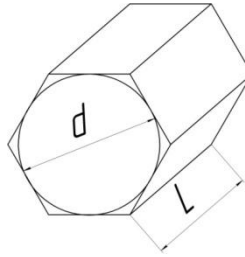


Рисунок 2.1 – Габаритные размеры гранулы перги.

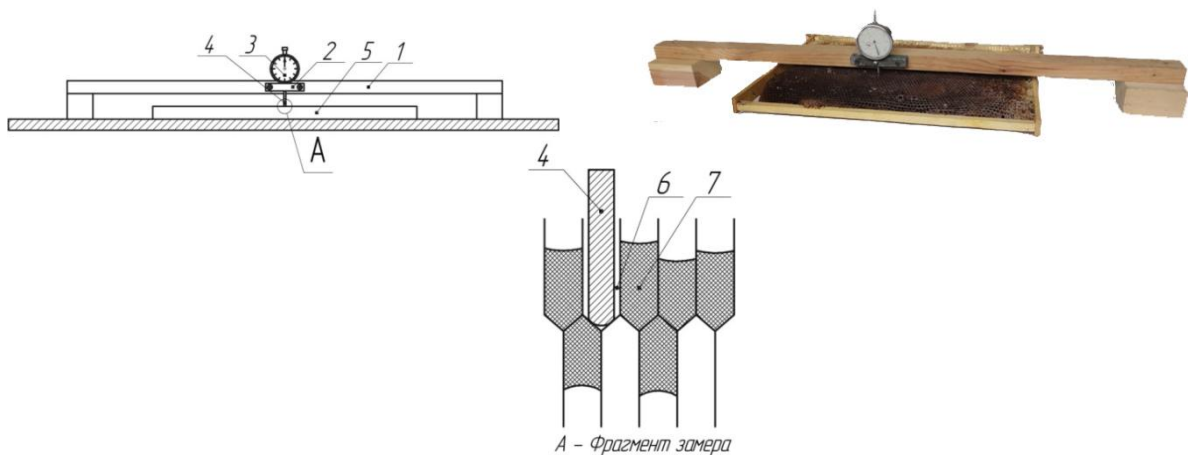
Опыт проходил следующим образом. Над перговым сотом 5 располагали рамку 1, затем в ячейку 6 незаполненную пергой опускали насадку индикатора 4 до упора, далее она опускалась в соседнюю ячейку заполненную пергой 7. Для удобного введения насадки индикатора 4 в ячейки сота её диаметр составлял 4 мм. Показания, полученные с индикатора часового типа 3, фиксировались и в дальнейшем пересчитывались [36, 68].

Длина перговых гранул определялась по формуле

$$l_{гр} = l_{нп} - l_{зп}, \quad (2.1)$$

где  $l_{нп}$  – глубина ячейки незаполненная пергой, мм;

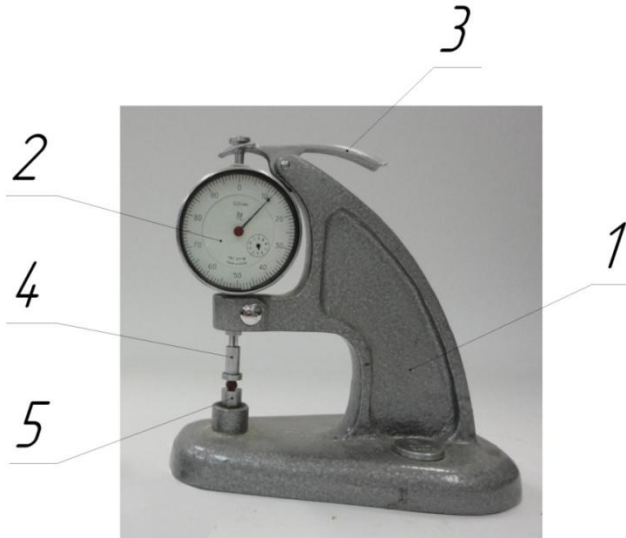
$l_{зп}$  – глубина ячейки, заполненная пергой, мм.



1 – рамка; 2 – крепление; 3 – индикатор часового типа; 4 – насадка индикатора; 5 – пчелиный сот; 6 – ячейка незаполненная пергой; 7 – ячейка заполненная пергой.

Рисунок 2.2 – Схема и общий вид установки для определения длины перговых гранул в соте.

Для определения диаметра были произведены замеры 500 перговых гранул взятые произвольно из разных частей перговых сотов. Замеры проводили с помощью установки представленной на рисунке 2.3.



1 – станина; 2 – индикатор часового типа; 3 – рукоятка; 4 – верхняя подвижная площадка; 5 – нижняя площадка.

Рисунок 2.3 – Установка для определения диаметра и длины гранул перги.

Опыт проводился следующим образом. На станине 1 закреплен индикатор часового типа 2, к которому присоединена верхняя подвижная площадка 4. При нажатии на рукоятку 3 верхняя подвижная площадка 4, прикрепленная к индикатору часового типа 2, поднимается и в получившееся расстояние на площадку 5 помещается гранула перги. Затем рукоятка 3 отжимается и площадка 4 под собственным весом опускается на гранулу перги и далее полученное расстояние между площадками 4 и 5 фиксируется индикатором часового типа 2. Затем гранулы извлекают и опыт повторяют заново.

Для определения массы перговых гранул было проведено взвешивание 200 гранул перги разной длины с влажностью 14,75%. Гранулы брались из разных частей сота. С помощью установки, изображенной на рисунке 2.3, измерялась длина каждой гранулы, измерение происходило аналогичном образом, что и при определении диаметра, но только гранулы устанавливались вертикально, а затем гранулы поочередно взвешивали на технических весах ВЛКТ – 500 для определения массы [6, 36, 68].

## 2.1.2 Методика определения коэффициентов трения гранул перги от влажности и воскового сырья от температуры

От коэффициентов трения зависит кинематический режим работы измельчителя перговых сотов. Поэтому необходимо иметь их численные значения.

Для нахождения внутреннего угла трения необходимо знать угол естественного откоса. Данный угол – это угол между диаметром основания и образующей конуса, который получился при свободном падении сыпучего материала на горизонтальную плоскость [18]. Схема прибора для нахождения угла естественного откоса изображена на рисунке 2.4.

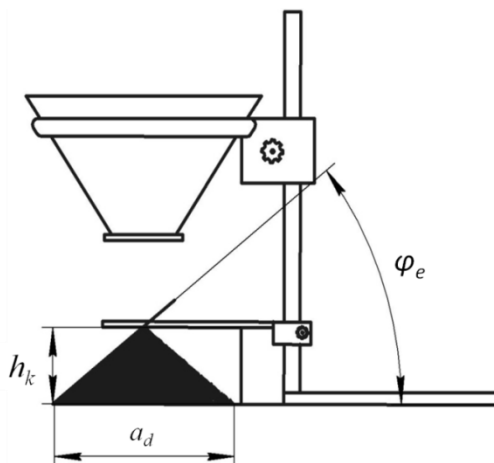


Рисунок 2.4 – Схема прибора для определения угла естественного откоса.

Коэффициент внутреннего трения  $f_{\text{вн}}$  перги и воскового сырья находили по формуле

$$f_{\text{вн}} = \operatorname{tg} \varphi_e = \frac{2 \cdot h_k}{a_d}, \quad (2.2)$$

где  $\varphi_e$  – угол естественного откоса, град;

$h_k$  – высота конуса, м;

$a_d$  – диаметр основания конуса, м.

Углом трения называется угол, при котором происходит равномерное скольжение тел по наклонной плоскости. Углы трения гранул перги и воскового сырья определяли по сплошной поверхности из нержавеющей стали.

Угол трения перги и воскового сырья по нержавеющей стали определяли на установке (рис. 2.5), состоящей из 2-х пластин, шарнирно соединенных между собой. Одна из пластин 1 имеет возможность изменять угол наклона относительно горизонтально расположенной неподвижной пластины 2. Опыт проводили следующим образом: на верхнюю пластину 1 насыпали небольшое количество гранул перги или воскового сырья, затем за прикрепленный к пластине 1 трос 7 с помощью лебедки 4 медленно поднимали пластину 1, увеличивая угол её наклона. Угол наклона подвижной пластины 1 фиксировался только тогда, когда гранулы перги или частицы воскового сырья приходили в движение [33, 69, 121].

Значение коэффициента трения  $f$  определялось по формуле

$$f = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}, \quad (2.3)$$

где  $\alpha$  – угол наклона верхней пластины, град;

$h$  – высота поднятия пластины, м;

$l$  – длина проекции наклонной пластины на неподвижную, м.

В опыте использовались продукты, полученные из разных районов Рязанской области. Эксперимент проводился при различной относительной влажности перги и температуре воскового сырья от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  и его влажности 4,5%. в трехкратной повторности.



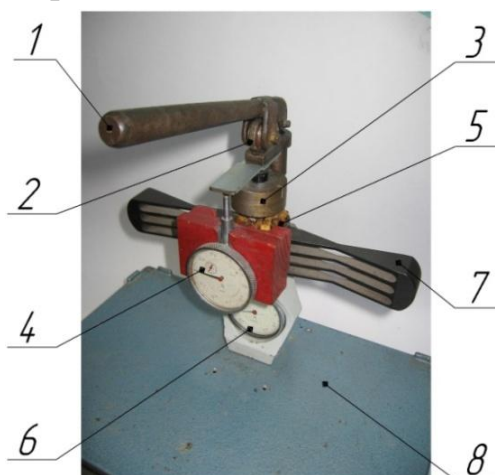
1 – наклонная пластина, 2 – неподвижная пластина, 3 – штатив, 4 – лебедка, 5 – перекидной ролик, 6 – бункер, 7 – трос, 8 – угломер (транспортер).

Рисунок 2.5 – Общий вид установки для определения коэффициента трения.

### 2.1.3 Методика определения влияния влажности перги, времени и температуры охлаждения на прочность гранул перги

Для определения разрушающих напряжений в поперечном сечении гранул перги применялась лабораторная установка, которая изготовлена на базе образцового динамометра ДОСМ-3-0,1, который позволяет одновременно фиксировать деформацию материала и усилие, создаваемое при этом (рис. 2.6) [75].

Опыты проводились следующим образом. Для каждого опыта брались гранулы перги. Определялась их влажность. Затем выбиралось равное количество перговых гранулы, суммарная длина которых была одинакова. Затем гранулы помещались на площадку 5 и с помощью рукоятки 1 прижимную пластину 3 подводили к ним. Верхний индикатор 4 устанавливали в нулевое положение. После этого при нажатии на рукоятку 1, прижимная пластина 3, связанная с ней, начинала оказывать давление на гранулы перги. Деформация гранул отслеживалась по показаниям верхнего индикатора 4. При 10% деформации гранул перги усилие, оказываемое на образцовый динамометр 7, фиксировалось посредством нижнего индикатора 6 [75].



1 – рукоятка; 2 – ползун; 3 – прижимная пластина; 4 – верхний индикатор;  
5 – площадка; 6 – нижний индикатор; 7 – образцовый динамометр ДОСМ-3-0,1;  
8 – станина.

Рисунок 2.6 – Общий вид установки для определения усилия деформации гранул перги.

При проведении опыта велась видео фиксация показаний индикаторов 4 и 6. После этого полученные видео материалы покадрово просматривались в программе Pinnacle Studio. По результатам покадрового рассмотрения было видно, какое усилие приходилось на 10% деформацию.

Перед опытами был протарирован образцовый динамометр ДОСМ – 3 – 0,1 с помощью лабораторных грузиков. Пересчет показаний с индикатора 6 производился по полученному тарировочному графику.

Затем гранулы перги подвергали охлаждению. После чего опыт повторяли заново. Следует отметить, что исследования проводились при разной влажности перги, а охлаждение осуществлялось при разном времени выдержки и при разной температуре.

Так как в процессе опытов было замечено, что при 10% деформации при усилиях около 40 кПа в поперечном сечении у гранул не образуется трещин, и они не разрушаются на отдельные части (пластинки пыльцевой обножки, из которой они состоят). Поэтому эта прочность, которая возникала при воздействии на гранулы перги усилия в 40 кПа, была взята за минимально допустимую и дальнейший анализ проводился именно с этими значениями, полученными в результате опытов. Таким образом, из каждого опыта брались значения влажности перги, температуры охлаждения и времени выдержки при прочности в 40 кПа. Проанализировав результаты исследований, было установлено, что полученные значения описываются формулой

$$t_{\text{выд}} = -277,4073 - 1,9408 \cdot T_{\text{охл}} + 31,6739 \cdot W + 0,0014 \cdot T_{\text{охл}}^2 + 0,1799 \cdot T_{\text{охл}} \cdot W - 0,657 \cdot W^2, \quad (2.4)$$

где  $t_{\text{выд}}$  – время охлаждения гранул перги, мин;

$T_{\text{охл}}$  - температура среды, в которой охлаждаются гранулы перги от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

Результаты значений влажности перги, температуры охлаждения и времени выдержки при прочности в 40 кПа представлены в приложении Б.

С использованием результатов данного опыта был получен патент на изобретение РФ «Способ извлечения перги» [95].



## 2.2 Результаты исследований

### 2.2.1 Результаты исследований габаритных размеров и массы гранул перги

По результатам исследований была построена гистограмма длины гранул перги (рис. 2.7) [16, 36, 46, 68].

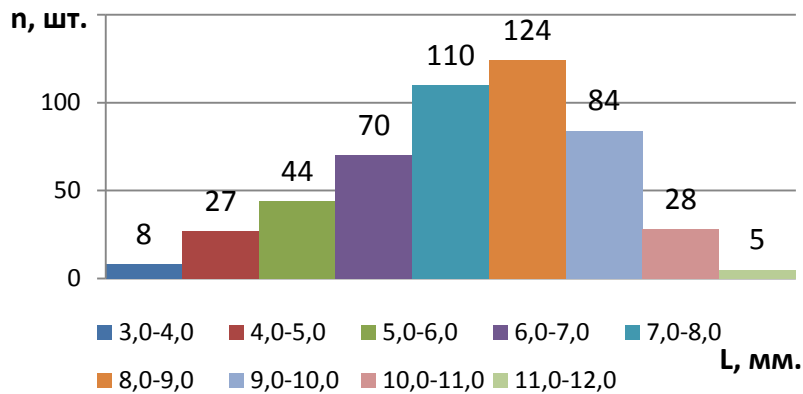


Рисунок 2.7 – Гистограмма длины гранул перги в соте.

По гистограмме (рис. 2.7) можно сделать следующие выводы: длина перговой гранул изменяется от 3,8 до 11,9 мм (от 0,0038 до 0,0119 м), у 77,6% исследованных перговых гранул длина находится в пределах от 6 до 10 мм (от 0,006 до 0,010 м), а среднестатистическая длина перговых гранул – 7,2 мм (0,0072 м).

Результаты, которые были получены в процессе проведения измерений по определению диаметра перговых гранул, представлены на гистограмме (рис. 2.8) [68].

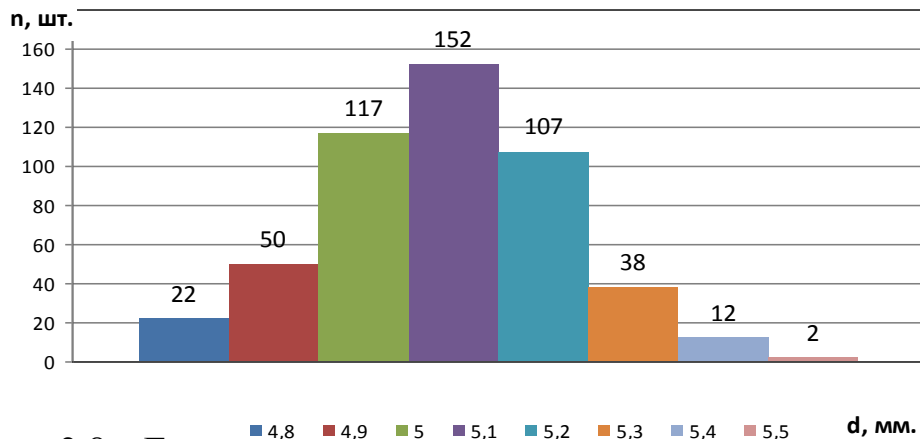


Рисунок 2.8 – Гистограмма диаметра гранул перги.

Проанализировав гистограмму (рис. 2.8) можно сказать, что диаметр гранул перги находится в пределах от 4,8 мм до 5,5 мм (от 0,0048 до 0,0055 м), а среднестатистическое значение диаметра перговых гранул составило 5,09 мм (0,00509 м).

Диаметр перговых гранул зависит от размера ячеек пчелиных сотов, в которые уложена пыльца. С увеличением срока службы сотов их размер уменьшается, что приводит к уменьшению поперечного сечения перговых гранул [68]. Замечено, что диаметр гранул перги в темных сотах меньше, чем в светлых.

Результаты исследования по определению массы перговых гранул от их длины представлены на рисунке 2.9 [68].

Анализируя полученную зависимость можно сказать, что масса гранул перги увеличивается с 0,157 до 0,334 грамма с изменением длины гранул от 3 до 11 мм (от 0,003 до 0,011 м). Длина гранул перги зависит от длины ячеек восковой основы сотов. Перга в большинстве случаев занимает от 1/2 до 3/4 высоты ячейки сота.

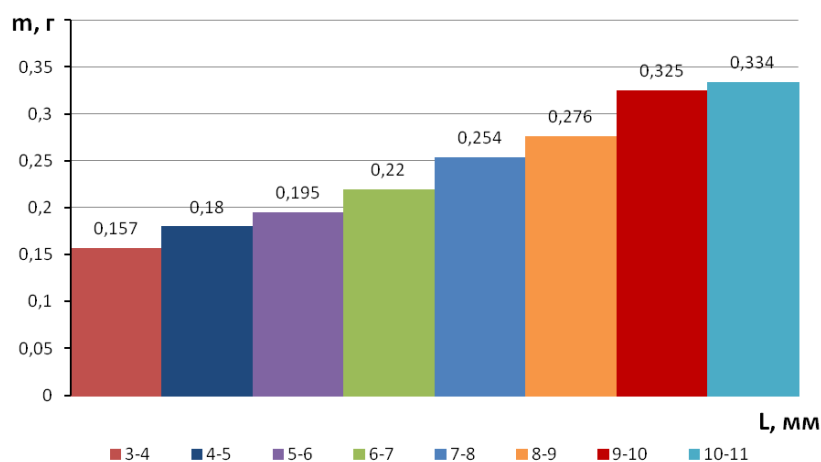


Рисунок 2.9 – Гистограмма массы перговых гранул от их длины.

### 2.2.2 Результаты исследований коэффициентов трения гранул перги от влажности и от температуры воскового сырья

Результаты исследований по определению коэффициента внутреннего трения от влажности гранул перги и среднего размера частиц воскового сырья отражены на рисунках 2.10 и 2.11 соответственно. Результаты исследований представлены в приложении А.

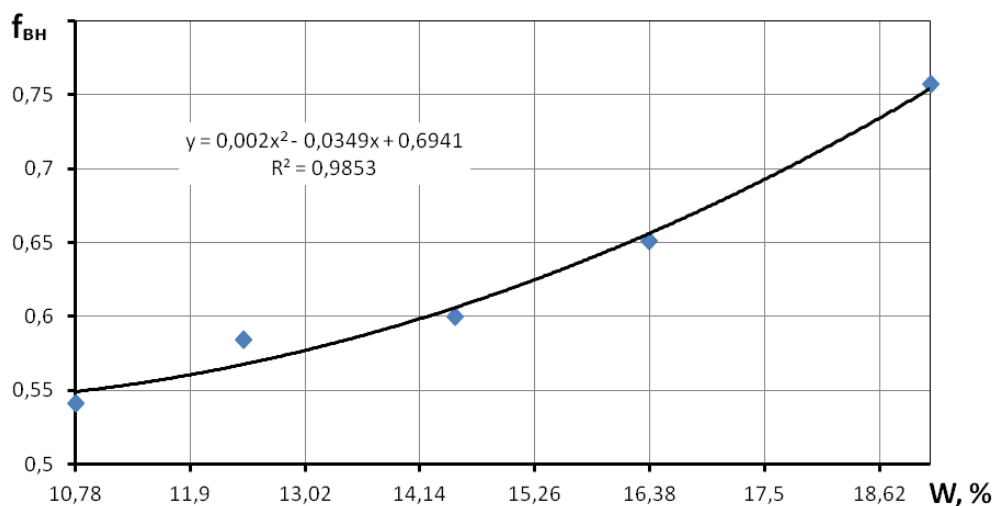


Рисунок 2.10 – Зависимость коэффициента внутреннего трения от влажности гранул перги.

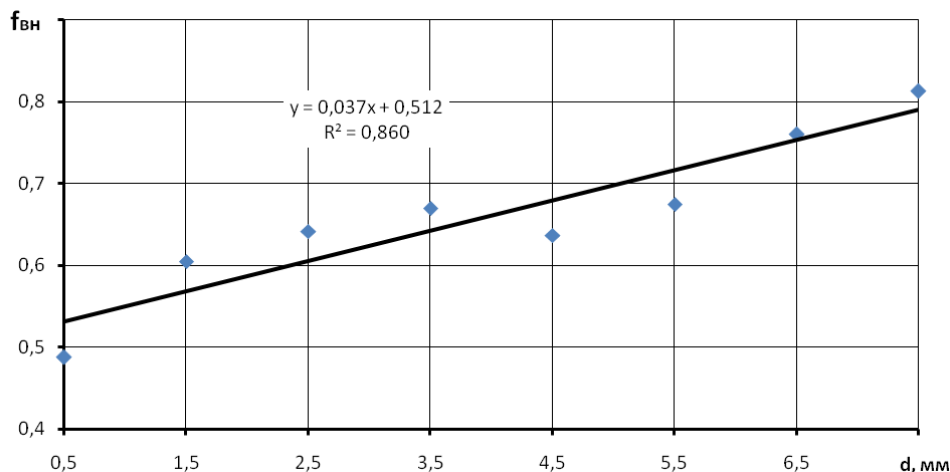


Рисунок 2.11 – Зависимость коэффициента внутреннего трения от среднего размера частиц воскового сырья.

Из рисунка 2.10 видно, что с увеличением влажности гранул перги от 10,78 до 19,12 % коэффициент внутреннего трения увеличиваются с 0,541 до 0,757. Это связано с тем, что при увеличении влажности в перге начинают более ярко проявляться липкостные свойства.

Из рисунка 2.11 видно, что с увеличением среднего размера частиц воскового сырья от 0,5 до 7,5 мм коэффициент внутреннего трения увеличиваются с 0,488 до 0,813. Это связано с тем, что с увеличением размера восковых частиц меняется и их форма и начинает появляться большее зацепление между частицами.

Результаты эксперимента по определению коэффициентов трения о нержавеющую сталь марки 08X13 при разной влажности от 8,8 до 18,2 % гранул перги и разной температуре воскового сырья от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ , его влажности 4,5% и разного гранулометрического состава отражены на рисунках 2.12 и 2.13 соответственно. Результаты исследований представлены в приложении А.

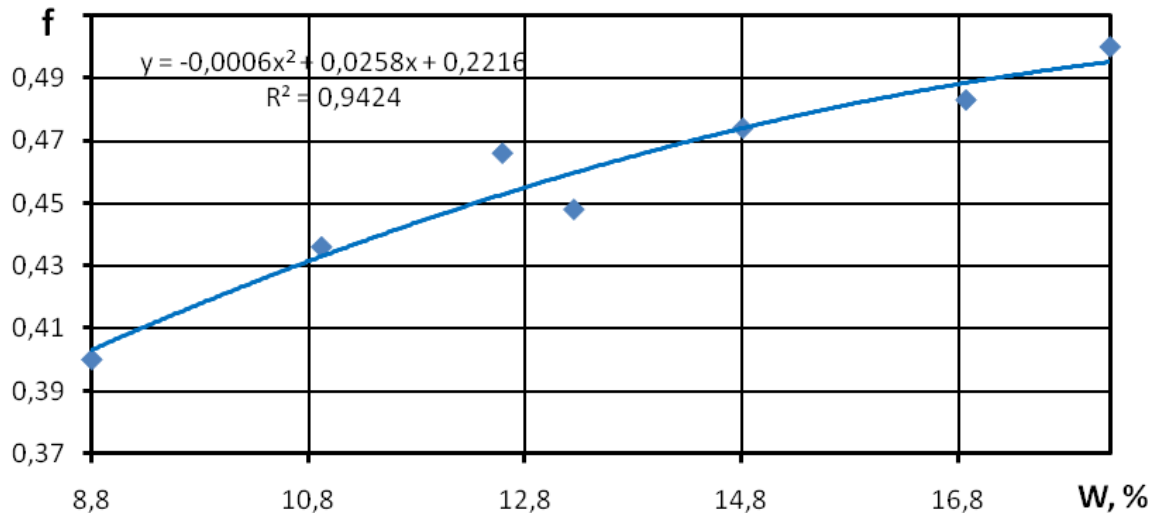
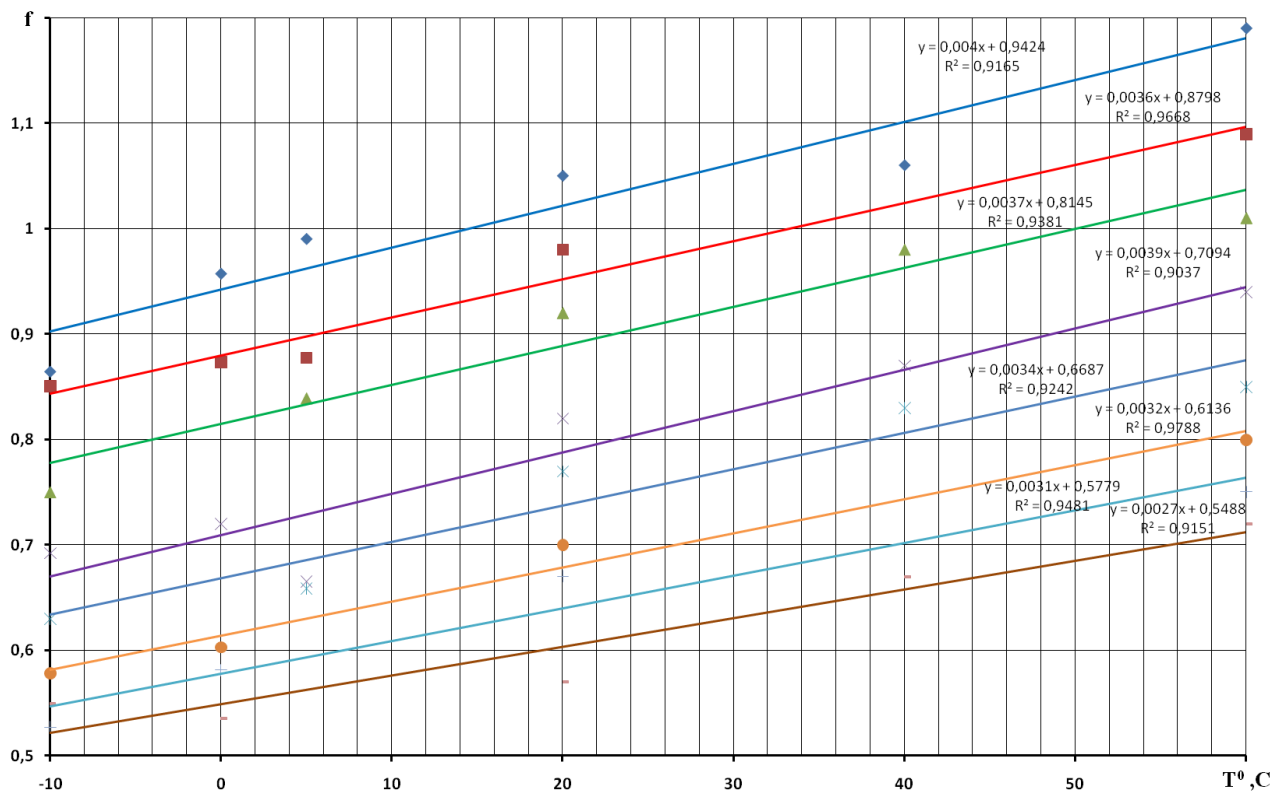


Рисунок 2.12 – Зависимость коэффициента трения гранул перги различной влажности по нержавеющей стали.



Средний размер частиц фракций воска    ◆ 0,5    ■ 1,5    ▲ 2,5    × 3,5    \* 4,5    ● 5,5    + 6,5    - 7,5

Рисунок 2.13 – Зависимость коэффициента трения воскового сырья разного гранулометрического состава по нержавеющей стали от температуры.

Из зависимости (рис. 2.12) видно, что с увеличением влажности гранул перги коэффициент трения также увеличивается, все это связано с тем, что при большей влажности гранулы перги становятся более липкими и для того, чтобы их сдвинуть требуется больший угол наклона пластины. Таким образом, с увеличением влажности гранул перги от 8,8 до 18,2% коэффициент трения гранул перги о нержавеющую сталь увеличивается с 0,4 до 0,5.

Из зависимостей (рис. 2.13) видно, что при увеличении температуры коэффициент трения воскового сырья также увеличивается и, чем меньше его частицы, тем коэффициент трения больше. Это связано с тем, что при нагреве воска у него начинают более ярко выражаться липкостные свойства, так как при увеличении температуры воск из твердого состояния начинает переходить в жидкое, а также у крупных частиц воска меньше точек соприкосновения с поверхностью, чем у более мелких. С увеличением среднего размера частиц фракций воска с 0,5 до 7,5 мм при температуре воскового сырья  $-10^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения о нержавеющую сталь уменьшается с 0,92 до 0,52. При температуре воскового сырья  $+60^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения о нержавеющую сталь марки 08X13 уменьшается с 1,19 до 0,72.

## ВЫВОДЫ

1. Длина перговых гранул изменяется от 3,8 до 11,9 мм, у 77,6% исследованных перговых гранул длина находится в пределах от 6 до 10 мм, а среднестатистическая длина перговых гранул равна 7,2 мм. Диаметр гранул перги находится в пределах от 4,8 мм до 5,5 мм, а среднестатистическое значение диаметра перговых гранул составило 5,09 мм. Масса гранул перги увеличивается с 0,157 до 0,334 грамма с изменением длины гранул от 3 до 11 мм.

2. При исследовании коэффициента внутреннего трения установлено, что с увеличением влажности гранул перги от 10,78 до 19,12 % значения коэффициента внутреннего трения возрастают с 0,541 до 0,757. С увеличением среднего размера частиц воскового сырья от 0,5 до 7,5 мм коэффициент

внутреннего трения увеличивается с 0,488 до 0,813. С увеличением влажности гранул перги от 8,8 до 18,2% коэффициент трения гранул перги о нержавеющей сталь увеличивается с 0,4 до 0,5. С увеличением среднего размера частиц фракций воска с 0,5 до 7,5 мм при температуре воскового сырья  $-10^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения о нержавеющей сталь уменьшается с 0,92 до 0,52. При температуре воскового сырья  $+60^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения уменьшается с 1,19 до 0,72.

3. При 10% деформации при усилии около 40 кПа в поперечном сечении у гранул не образуется трещин, и они не разрушаются на отдельные части (пластинки пыльцевой обножки, из которой они состоят).

### **3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ**

#### **3.1 Конструктивно-технологическая схема измельчителя перговых сотов**

Теоретическое исследование имеет цель установить количественные и качественные связи между параметрами, изменяющимися в процессе извлечения перги и параметрами разрабатываемого измельчителя.

Трудности при использовании технологии В.Ф. Некрашевича, В.И. Бронникова и С.А. Стройкова [3, 45, 46, 63, 64, 72, 81, 93, 94, 97] возникает в такой операции как измельчение перговых сотов, так как этот процесс недостаточно изучен, а существующее оборудование сложное и дорогостоящее. В подразделе 1.3 было отмечено, что одним из самых перспективных устройств для измельчения пчелиных сотов являются штифтовые измельчители непрерывного действия с вертикальным рабочим органом. Так как рабочий процесс в нем осуществляется непрерывно с возможностью дозированной загрузки и получением на выходе воскоперговой массы с требуемым гранулометрическим составом для дальнейшей очистки. Для дальнейшего разделения воскоперговой массы на пергу и восковое сырье лучше всего использовать пневмосепарацию.

Чтобы решить эту задачу, а также создать малогабаритный и доступный для приобретения измельчитель перговых сотов для пчеловодов с небольшим количеством пчелосемей, нами была создана конструктивно – технологическая схема измельчителя, представленная на рисунке 3.1 [96, 98].

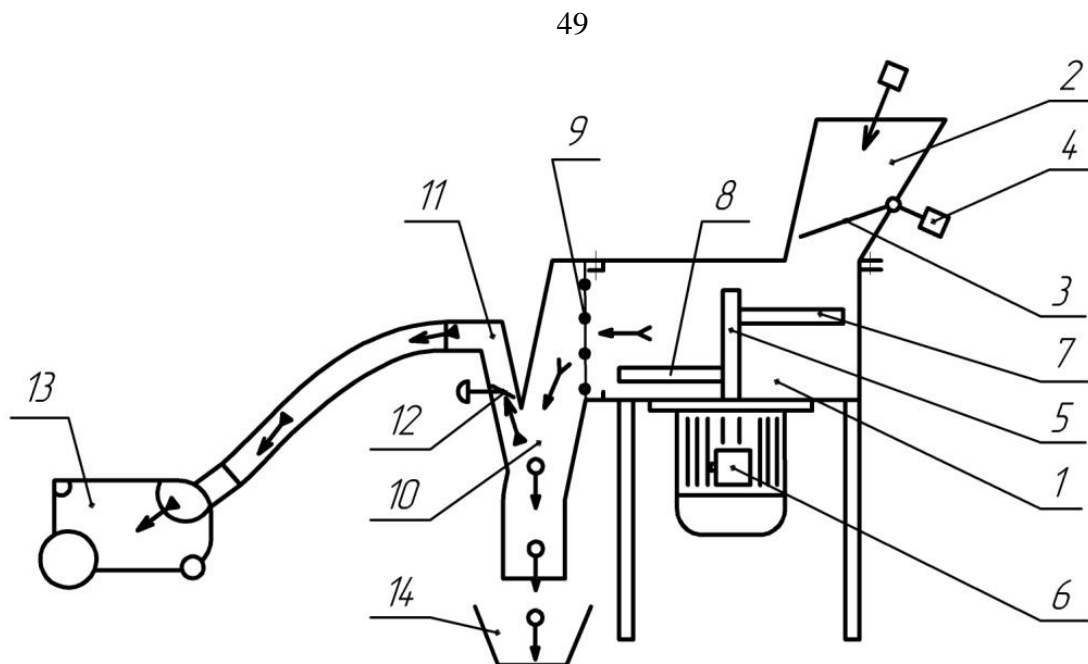
Измельчитель содержит цилиндрическую рабочую камеру 1 с загрузочной горловиной 2, внутри которой шарнирно установлена заслонка 3 с грузом-противовесом 4. Внутри рабочей камеры, на валу 5 ротора, связанного с электродвигателем 6, поярусно и радиально расположены верхний 7 и нижний 8 штифты. К боковой поверхности рабочей камеры 1 у ее выгрузного окна, через съемную решетку 9, присоединена приставка 10, выполняющая функцию выгрузного канала измельченной воскоперговой массы из рабочей камеры. На

внешней стороне приставки 10 прикреплен патрубок 11 с заслонкой 12 для присоединения внешней пневматической системы 13. Таким образом, приставка 10 выполняет функцию аспирационного канала. Приемная емкость 14 для гранул перги расположена под нижней частью приставки 10 [96, 98].

Работа измельчителя осуществляется следующим образом. Подготовленные к измельчению куски перговых сотов кладут на заслонку 3, при достижении определенной массы сотов заслонка поворачивается и куски пчелиных сотов скатываются в рабочую камеру 1, где они измельчаются вращающимися верхним 7 и нижним 8 штифтами, а заслонка 3 под действием груза-противовеса возвращается в исходное положение и препятствует выбрасыванию измельченного материала из рабочей камеры через загрузочную горловину 2. Измельченная до размеров отверстий решетки 9, воскоперговая масса под действием центробежных сил проходит через отверстия решетки и попадает в аспирационный канал, функцию которого выполняет приставка 10 и патрубок 11 с заслонкой 12, регулирующей скорость воздушного потока. Там под действием воздушного потока, создаваемого внешней пневматической системой 13, происходит разделение воскоперговой массы, при котором легкие частицы воскового сырья уносятся в приемную камеру пневмосистемы, а гранулы перги поступают в приемную емкость 14 [96, 98]. Также разделение воскоперговой массы на пергу и восковое сырье возможно осуществлять с помощью отсева с решеткой круглого сечения.

Теоретическое исследование имеет цель установить количественные и качественные связи между параметрами, изменяющимися в процессе извлечения перги и параметрами измельчителя.





- |     |  |     |                       |
|-----|--|-----|-----------------------|
| □ → | <i>куски пергового сота</i>              | ▶ → | <i>восковое сырье</i> |
| Y → | <i>измельченная воско-перговая масса</i> | ○ → | <i>гранулы перги</i>  |

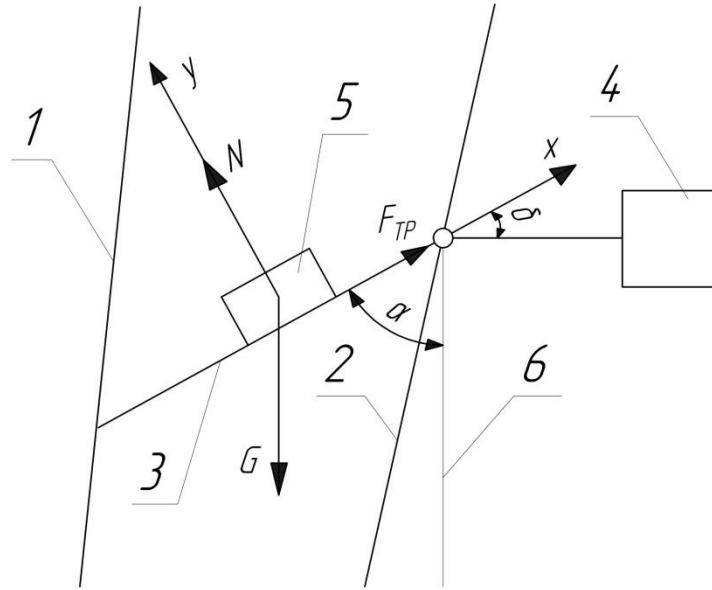
1 – рабочая камера; 2 – загрузочная горловина; 3 – заслонка; 4 – груз-противовес; 5 – вал; 6 – электродвигатель; 7,8 – верхний и нижний штифты; 9 – съемная решетка; 10 – приставка; 11 – патрубок; 12 – заслонка; 13 – внешняя пневматическая система; 14 – приемная емкость.

Рисунок 3.1 – Конструктивно – технологическая схема измельчителя перговых сотов.

### 3.2 Обоснование параметров заслонки измельчителя перговых сотов

Заслонка служит для подачи кусков пергового сота в измельчитель и предотвращения выхода измельченных частей кусков из измельчителя при работе. Величина открытия заслонки должна обеспечивать свободный проход кусков перговых сотов в камеру измельчения.

Рассмотрим равновесие куска пергового сота на заслонке.



1,2 – стенки загрузочной горловины; 3 – заслонка; 4 – груз-противовес; 5 – кусок пергового сота; 6 – вертикальная плоскость.

Рисунок 3.2 – Схема размещения куска пергового сота при соскальзывании с заслонки.

Составим уравнение равновесия куска пергового сота на заслонке

$$\begin{cases} \Sigma F_X = 0; -G \cos \alpha + F_{TP} = 0 \\ \Sigma F_Y = 0; N - G \sin \alpha = 0 \\ F_{TP} = fN \end{cases}, \quad (3.1)$$

где  $G$  – сила тяжести, Н;

$F_{TP}$  – сила трения, Н;

$N$  – сила нормального давления, Н;

$f$  – коэффициент трения;

$\alpha$  – угол между заслонкой и вертикальной плоскостью, град;

$$N = G \sin \alpha, \quad (3.2)$$

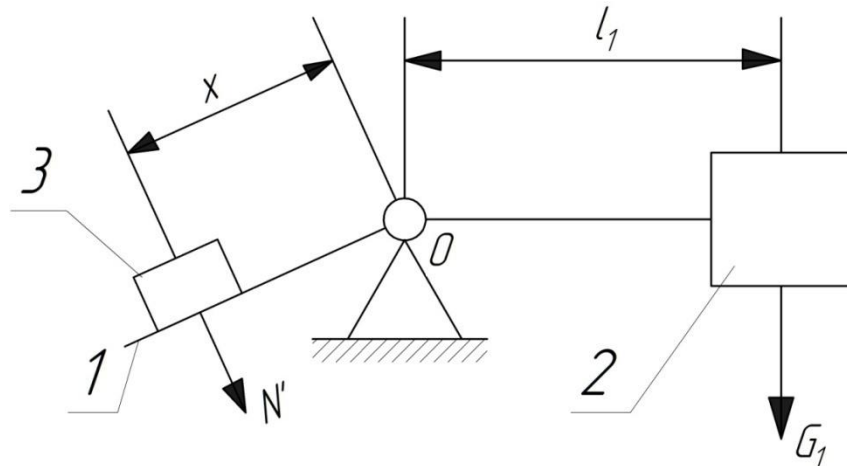
Условие движения куска пергового сота

$$G \cos \alpha > F_{TP}$$

$$G \cos \alpha > fG \sin \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha > f$$

Для определения массы противовеса заслонки рассмотрим ее равновесие (рис. 3.3). При этом действие куска пергового сота будет равно по величине силе нормального давления и противоположно по направлению.



1 – заслонка; 2 – груз- противовес; 3 – кусок пергового сота.

Рисунок 3.3 – Схема действия сил при соскальзывании куска пергового сота из заслонки.

Определим условия равновесия заслонки. Для этого составим уравнение моментов относительно оси заслонки (уравнение по оси  $x$ )

$$\Sigma M_O = N' \cdot x - G_1 \cdot l_1 = 0, \quad (3.3)$$

Отсюда величина противовеса будет равна

$$G_1 = \frac{N' \cdot x}{l_1}, \quad (3.4)$$

где  $N'$  – сила воздействия куска пергового сота на заслонку, Н;

$l_1$  – расстояния противовеса до шарнира заслонки, м;

$x$  – расстояние от шарнира заслонки до положения куска, м.

Подставим (3.2) в (3.4)

$$G_1 = \frac{G \sin(90-\delta) \cdot x}{l_1}, \quad (3.5)$$

где  $\delta$  – угол трения, град.

При отделении воскоперговой массы от сота получают куски шириной 0,07 м равной расстоянию между проволоками в рамке. Если принять размер куска сота заполненного пергой в диапазоне размеров от 0,05×0,07×0,023 м до 0,10×0,07×0,023 м, тогда его масса будет меняться от 0,04 кг до 0,1 кг, а с учетом

массы заслонки равной 0,07 кг примем  $G$  от 1,08 Н до 1,67 Н. Расстояние от шарнира заслонки до центра тяжести куска сота будет равно половине его длины и составит  $x$  равной от 0,025 м до 0,05 м.

Для удобства ручного перемещения заслонки груз-противовес целесообразнее сделать в виде прутка цилиндрической формы. Тогда центр тяжести прутка будет равен половине его длины, примем  $l_1 = 0,075$  м. При температуре куска сота с пергой в 7°C его угол трения о нержавеющей сталь составляет 32 градуса [121]. Подставив принятые значения в формулу (3.5) получим, что масса груза-противовеса (ручки заслонки) будет равной от 0,0312 кг до 0,0969 кг. Для обеспечения закрытия заслонки при любом исходе принимаем максимальную массу груза-противовеса равной 0,1 кг.

### **3.3 Теоретические исследования траектории движения куска пергового сота после удара штифтом**

При взаимодействии кусков перговых сотов со штифтом важно, чтобы перга ударялась о цилиндрическую поверхность камеры измельчителя и не попадала на прутки решетки выгрузного окна, так как это будет вызывать увеличение крошения перговых гранул.

При попадании куска перговых сот в камеру измельчения в начальный момент происходит удар штифта по куску пергового сота. В следующий момент кусок пергового сота получивший энергию от соударения будет находиться в свободном полете до соударения со стенкой. Затем будет происходить соударение пергового сота со стенкой камеры измельчения. Следующий этап – это либо удар штифта, либо движение измельченных кусков пергового сота в нижней части камеры измельчения под действием нижнего штифта. А далее идет прохождение частицы через отверстия решетки выгрузного окна. И таким образом у нас получается 5 этапов движения куска пергового сота.

При взаимодействии куска пергового сота со штифтом будем считать, что удар будет абсолютно не упругим. Поэтому потеря кинетической энергии штифта будет идти в основном на деформацию куска пергового сота.

Тогда теорема об изменении кинетической энергии системы (штифт плюс кусок пергового сота) будет выглядеть следующим образом [7]

$$T_1 - T_2 = \frac{m_1 \cdot m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2, \quad (3.6)$$

где  $T_1$  – кинетическая энергия штифта, Дж;

$T_2$  – кинетическая энергия куска пергового сота, Дж;

$m_1$  – приведенная масса штифта, кг;

$m_2$  – масса куска пергового сота, кг;

$v_1$  – окружная скорость штифта, м/с;

$v_2$  – начальная скорость куска пергового сота, м/с.

Так как кусок пергового сота, соскальзывая с заслонки, падает вертикально вниз и в начальный момент схода с заслонки скорость куска пергового сота близка к нулю, то скорость вертикального падения определим по формуле [7]

$$v_2 = \sqrt{2gh}, \quad (3.7)$$

где  $h$  – высота падения куска (расстояние между заслонкой и верхним штифтом), м.

Исходя из принципа суперпозиции, рассмотрим отдельно изменение кинетической энергии вдоль окружной скорости в направлении движения штифта и в вертикальном направлении при падении куска пергового сота вниз:

1) при падении куска сота вниз вертикальная скорость штифта будет равна 0, тогда изменение кинетической энергии разрушения куска вдоль вертикальной оси у можно записать уравнением [7]

$$T_{y2} = \frac{1}{2} m_2 v_{y2}^2, \quad (3.8)$$

Таким образом, вертикальная составляющая скорости куска пергового сота после соударения будет равна

$$v_{y2} = \sqrt{\frac{2T_{y2}}{m_2}}, \quad (3.9)$$

Энергия взаимодействия при ударе будет равна кинетической энергии падения куска, которая равна работе силе тяжести

$$T_{y2} = A = mgh, \quad (3.10)$$

2) При взаимодействии штифта с куском пергового сота вдоль окружной скорости направления движения, кусок будет разрушаться, приобретая скорость движения.

Тогда изменение кинетической энергии разрушения куска пергового сота вдоль оси  $x$  будет равна

$$T_{x1} = \frac{1}{2} m_1 v_{x1}^2, \quad (3.11)$$

Горизонтальная составляющая скорости куска пергового сота после соударения будет равна

$$v_{x1} = \sqrt{\frac{2T_{x1}}{m_1}}, \quad (3.12)$$

Для определения энергии затраченной на разрушение пергового сота рассмотрим работу, совершаемую при разрушении куска пергового сота. Работу на разрушение, возможно, найти, исключив из общей работы измельчителя перговых сотов работу холостого хода и работу на транспортировку измельченного продукта

$$A_p = A_{общ} - A_{х.х.} - A_{трансп.}, \quad (3.13)$$

где  $A_{общ}$  – общая работа измельчителя перговых сотов, Дж;

$A_{х.х.}$  – работа холостого хода, Дж;

$A_{трансп.}$  – работа, затрачиваемая на транспортировку измельченного материала, Дж.

Общая работа измельчителя определяется по формуле

$$A_{общ} = P \cdot t, \quad (3.14)$$

где  $P$  – установленная мощность электродвигателя, Вт;

$t$  – время измельчения партии сотов, с.

Работа, затрачиваемая на транспортировку измельченного материала, определяется по формуле

$$A_{\text{трансп.}} = F \cdot \pi R, \quad (3.15)$$

где  $F$  – сила трения массы о поверхность камеры измельчителя, Н;

$R$  – радиус камеры измельчителя, м.

Сила трения массы о поверхность камеры измельчителя определяется по формуле

$$F = f \cdot mg, \quad (3.16)$$

где  $m$  – масса партии перговых сотов, кг.

Время измельчения куска пергового сота найдем из производительности измельчителя по формуле

$$t_k = \frac{m_2}{W}, \quad (3.17)$$

где  $W$  – производительность измельчителя, кг/ч.

Так как работа равна энергии затрачиваемой на разрушение пергового сота, то получим

$$A_p = P_k \frac{m_2}{W} - P_{x.x.} \frac{m_2}{W} - f \cdot m_2 g \cdot \pi R, \quad (3.18)$$

Работа на разрушение пергового сота оценивалась на основании проведенных экспериментов по определению разрушающего усилия при изгибе фрагментов сотов [36, 76].

При абсолютно неупругом ударе двух поступательно движущихся тел – штифт и кусок пергового сота – происходит изменение скорости движения куска сота, скорость изменения движения штифта будет незначительной.

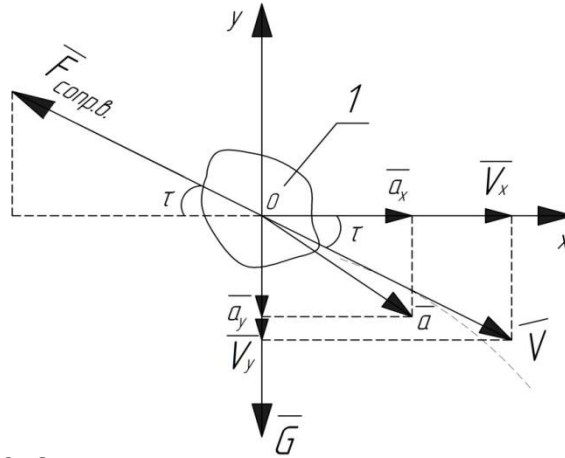
Рассмотрим изменение скорости после соударения в вертикальной плоскости. Величина суммарной скорости куска пергового сота после удара будет равна

$$v_{A_2} = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2}, \quad (3.19)$$

$$\cos(\widehat{x, v_{A_2}}) = \frac{v_{2x}}{v_{A_2}}; \quad \cos(\widehat{y, v_{A_2}}) = \frac{v_{2y}}{v_{A_2}},$$

Примем следующее допущение: представим кусок пергового сота как материальную точку.

Рассмотрим движение осколков куска пергового сота в «свободном полете» на примере одного.



1 – кусок пергового сота

Рисунок 3.4 – Схема действия сил на кусок пергового сота в «свободном полете».

Дифференциальное уравнение движения куска пергового сота в «свободном полете» (центра тяжести) запишем в следующем виде:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{x.conp.v} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -G - F_{y.conp.v} \end{cases}, \quad (3.20)$$

где  $F_{x.conp.v}$  и  $F_{y.conp.v}$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$G$  – вес куска пергового сота, Н.

Подставим значение  $F_{conp.v}$  и  $G$  получим

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -Rv_x^2 \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -mg - Rv_y^2 \end{cases}, \quad (3.21)$$

где  $R$  – коэффициент сопротивления воздуха,  $\frac{H}{m^2/c^2}$ ;

$v_x$  – скорость горизонтального перемещения куска пергового сота, м/с;

$v_y$  – скорость вертикального перемещения куска пергового сота, м/с.

Перенесем члены уравнения в одну сторону и разделим все на  $m$  получим



$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{R}{m} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = 0 \\ \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{R}{m} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + g = 0 \end{cases}, \quad (3.22)$$

Так как в дифференциальном уравнении (3.22) второй член возведен в квадрат, то произведем замену переменной

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \end{cases}, \quad (3.23)$$

Продифференцировав выражение (3.23) получим

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = v_x \frac{dv_x}{dx} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = v_y \frac{dv_y}{dy} \end{cases}, \quad (3.24)$$

Подставим выражение (3.24) в выражение (3.22) и разделим на  $v_x$  и  $v_y$

$$\begin{cases} v_x \frac{dv_x}{dx} + \frac{R}{m} v_x^2 = 0 | : v_x \\ v_y \frac{dv_y}{dy} + \frac{R}{m} v_y^2 + g = 0 | : v_y \end{cases},$$

Получим выражение

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dx} + \frac{R}{m} v_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dy} + \frac{R}{m} v_y + \frac{g}{v_y} = 0 \end{cases}, \quad (3.25)$$

Разделим переменные и проинтегрируем

$$\begin{cases} \int \frac{dv_x}{v_x} = -\frac{R}{m} \int dx \\ \int \frac{v_y dv_y}{\frac{R}{m} v_y^2 + g} = -\int dy \end{cases}, \quad (3.26)$$

В итоге получим

$$\begin{cases} \ln C_1 + \ln|v_x| = -\frac{R}{m} x \\ \ln \left[ \left( \frac{R}{m} v_y^2 + g \right) \cdot C_2^{\frac{2R}{m}} \right] = -\frac{2R}{m} y \end{cases}, \quad (3.27)$$

Потенцируем выражение (3.27) и получим

$$\left\{ \begin{array}{l} v_x = \frac{1}{C_1} e^{-\frac{R}{m}x} \\ v_y = \sqrt{\frac{m \cdot \left(1 - g \cdot C_2^{\frac{R}{m}} \cdot e^{-\frac{2R \cdot y}{m}}\right)}{R \cdot C_2^{\frac{R}{m}} \cdot e^{-\frac{2R \cdot y}{m}}}} \end{array} \right. , \quad (3.28)$$

Так как  $v_x = \frac{dx}{dt}$ ,  $v_y = \frac{dy}{dt}$  то получим

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{C_1} e^{-\frac{R}{m}x} \\ \frac{dy}{dt} = \sqrt{\frac{m \cdot \left(1 - g \cdot C_2^{\frac{R}{m}} \cdot e^{-\frac{2R \cdot y}{m}}\right)}{R \cdot C_2^{\frac{R}{m}} \cdot e^{-\frac{2R \cdot y}{m}}}} \end{array} \right. , \quad (3.29)$$

Разделим переменные и проинтегрируем

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \int e^{\frac{R}{m}x} dx = \int dt \\ \frac{\sqrt{R} \cdot C_2^{\frac{R}{m}}}{C_2^{\frac{R}{m}} \cdot \sqrt{m \cdot g}} \int \frac{e^{\frac{R \cdot y}{m}}}{\sqrt{\left(\frac{1}{g \cdot C_2^{\frac{R}{m}}} e^{-\frac{2R \cdot y}{m}}\right)}} dy = \int dt \end{array} \right. , \quad (3.30)$$

В результате получим

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \frac{m}{R} e^{\frac{R}{m}x} = t + C_3 \\ \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \frac{e^{\frac{R \cdot y}{m}}}{C_2^{\frac{R}{m}} \cdot \sqrt{g}} = t + C_4 \end{array} \right. , \quad (3.31)$$

где  $t$  – время полета осколка куска пергового сота, с.

Для определения постоянных коэффициентов уравнения  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  подставим начальные условия  $t_0 = 0$ ;  $x = x_0$ ;  $v_x = v_{0x}$ ;  $y = y_0$ ;  $v_y = v_{0y}$

После подстановки начальных условий в первое уравнение системы (3.28) получим

$$v_{0x} = \frac{1}{C_1} e^{-\frac{R}{m}x_0} , \quad (3.32)$$

Из полученного выражения (3.32) выразим  $C_1$

$$C_1 = \frac{e^{\frac{R}{m}x_0}}{v_{0x}}, \quad (3.33)$$

Подставим начальные условия и полученное значение  $C_1$  в уравнение (3.31)

$$\frac{e^{\frac{R}{m}x_0}}{v_{0x}} \frac{m}{R} e^{\frac{R}{m}x_0} = 0 + C_3, \quad (3.34)$$

Из полученного выражения (3.34) выразим  $C_3$

$$C_3 = \frac{m}{Rv_{0x}}, \quad (3.35)$$

После подстановки начальных условий во второе уравнение системы (3.28) получим

$$v_{0y} = \sqrt{\frac{m \cdot \left(1 - g \cdot C_2^{\frac{2R}{m}} \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}\right)}{R \cdot C_2^{\frac{2R}{m}} \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}}}, \quad (3.36)$$

Возведем обе части уравнения (3.36) в квадрат

$$v_{0y}^2 = \frac{m \cdot \left(1 - g \cdot C_2^{\frac{2R}{m}} \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}\right)}{R \cdot C_2^{\frac{2R}{m}} \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}}, \quad (3.37)$$

Из полученного выражения (3.37) выразим  $C_2$

$$C_2 = \left( \frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}} - g \right)^{\frac{m}{2R}}, \quad (3.38)$$

Подставим начальные условия и полученное значение  $C_2$  в уравнение (3.31)

$$\frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \frac{e^{\frac{R \cdot y_0}{m}}}{\left( \frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}} - g \right)^{\frac{m}{2R}} \cdot \sqrt{g}} = 0 + C_4, \quad (3.39)$$

Из полученного выражения (3.39) выразим  $C_4$

$$C_4 = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \frac{e^{\frac{R \cdot y_0}{m}}}{\sqrt{\frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e^{\frac{2R \cdot y_0}{m}}} - g} \cdot \sqrt{g}}, \quad (3.40)$$

Подставим полученные значения  $C_1, C_2, C_3, C_4$  в уравнение (3.31) получим

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{e^{-\frac{R}{m}x_0}}{v_{0x}} \cdot \frac{m}{R} e^{\frac{R}{m}x} = t + \frac{m}{Rv_{0x}} \\ \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \frac{\frac{R \cdot y}{e \cdot m}}{\sqrt{\frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e \cdot \frac{2R \cdot y_0}{m}} - g \cdot \sqrt{g}}} = t + \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \left( \frac{\frac{R \cdot y_0}{e \cdot m}}{\sqrt{\frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e \cdot \frac{2R \cdot y_0}{m}} - g \cdot \sqrt{g}}} \right) \end{array} \right. , \quad (3.41)$$

Выразим из первого уравнения системы (3.41)  $t$  и подставим его во второе и выразим из него  $y$

$$t = \frac{e^{-\frac{R}{m}x_0}}{v_{0x}} \cdot \frac{m}{R} e^{\frac{R}{m}x} - \frac{m}{Rv_{0x}} , \quad (3.42)$$

В результате получим траекторию движения куска пергового сота после удара

$$y = \frac{m}{R} \ln \left( \left( \sqrt{\frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e \cdot \frac{2R \cdot y_0}{m}} - g \cdot \sqrt{g}} \right) \cdot \sin \left( \frac{\sqrt{mg}}{\sqrt{R}} \cdot \left( \frac{m}{R \cdot v_{0x}} \cdot \left( \frac{e^{\frac{R}{m}x}}{e^{\frac{R}{m}x_0}} - 1 \right) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{m \cdot g}} \arcsin \left( \frac{\frac{R \cdot y_0}{e \cdot m}}{\sqrt{\frac{m}{R \cdot v_{0y}^2 \cdot e \cdot \frac{2R \cdot y_0}{m}} - g \cdot \sqrt{g}}} \right) \right) \right) \right) , \quad (3.43)$$

где  $y$  – вертикальное перемещение куска пергового сота, м;

$y_0$  – начальное положение куска пергового сота по вертикали, м;

$m$  – масса куска пергового сота, кг;

$v_0$  – начальная скорость куска пергового сота, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$x$  – горизонтальное перемещение куска пергового сота, м;

$x_0$  – начальное положение куска пергового сота по горизонтали, м.

На основании полученного выражения было проведено исследование траекторий движения с помощью программы MathCad 14.0.

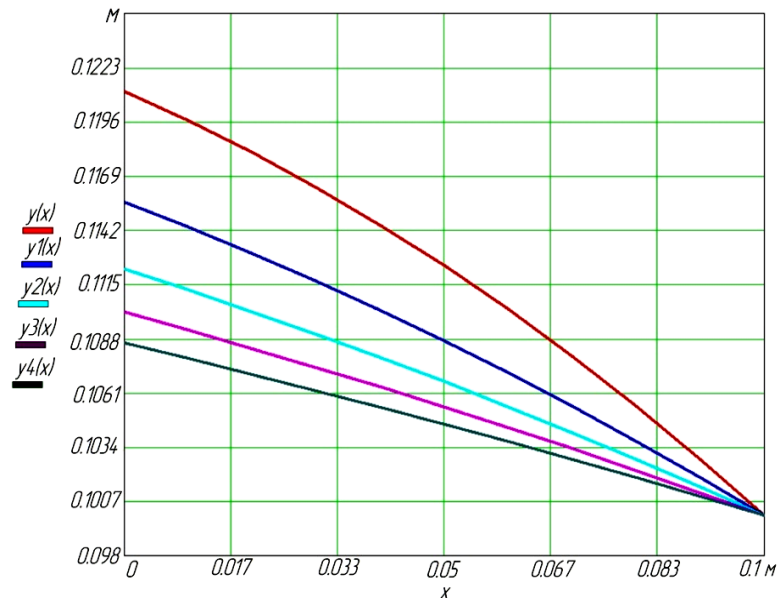


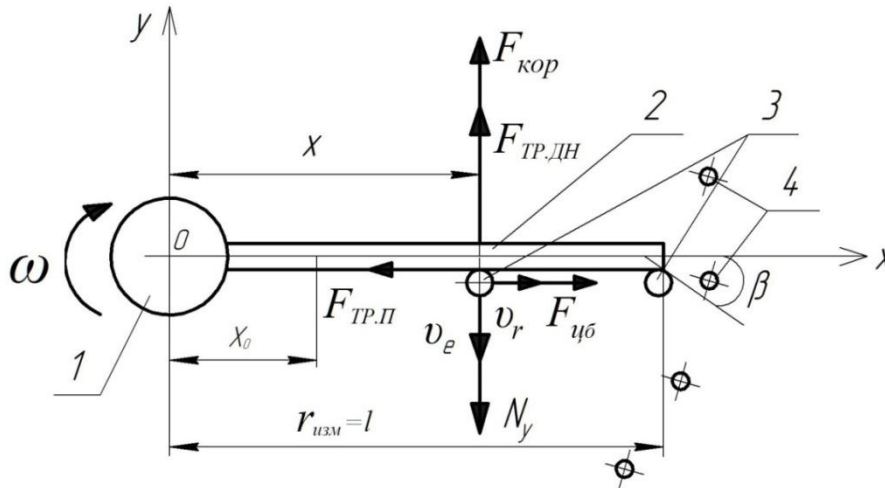
Рисунок 3.5 – Траектория движения куска пергового сота в вертикальной плоскости при разной окружной скорости штифта.

Значения частоты вращения:  $y(x) - 1000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $y_1(x) - 1500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $y_2(x) - 2000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $y_3(x) - 2500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $y_4(x) - 3000 \text{ мин}^{-1}$ . Радиус камеры измельчения составлял 0,1 м. Масса куска пергового сота была равна 0,1 кг.

На графике видно движение куска пергового сота после удара верхним штифтом. После удара кусок по данной траектории движется до соударения со стенкой камеры измельчителя, а затем после разрушения оставшиеся частицы попадают на нижний штифт. Проанализировав полученную траекторию можно установить расстояние между штифтами, оно находится в пределах от 0,009 м до 0,021 м в зависимости от частоты вращения вала. Это позволяет разместить в рабочей камере высотой 0,07 м два штифта.

### 3.4 Теоретические исследования траектории движения гранулы перги по нижнему штифту

Рассмотрим движение гранулы по нижнему штифту измельчителя (рис. 3.6), вращающегося в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $\omega$ . Гранула массой  $m$  участвует в относительном движении по штифту и в переносном движении вместе со штифтом [81].



1 – вал; 2 – штифт; 3 – гранула перги; 4 – прутки.

Рисунок 3.6 – Схема сил, действующих на гранулу при движении по штифту (вид сверху).

Рассмотрим движение гранулы по отношению к подвижной системе координат, связанной со штифтом. Так как штифт движется равномерно, ускорение вдоль оси  $ou$  будет равно 0. Дифференциальное уравнение относительного движения имеет вид [78]

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{тр.п} + F_{цб} \\ 0 = F_{тр.дн} + F_{кор} - N_y \\ N_z - mg = 0 \\ F_{тр.п} = f N_y \\ F_{тр.дн} = f N_z \end{cases}, \quad (3.44)$$

где  $F_{тр.п}$  – сила трения материала о штифт, Н;

$F_{цб}$  – центробежная сила, действующая на частицу (гранулу), Н.

$$F_{цб} = m \cdot \omega^2 \cdot x, \quad (3.45)$$

$m$  – масса гранулы перги, кг;

$\omega$  – угловая скорость штифта, рад/с;

$x$  – расстояние от частицы до центра вращения, м;

$F_{тр.дн}$  – сила трения материала о дно камеры измельчения, Н;

$F_{кор}$  – сила Кориолиса, Н.

$$\vec{F}_{кор} = 2 \cdot m \cdot |\vec{v}_r \times \vec{\omega}| = 2 \cdot \omega \cdot m \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (3.46)$$

$v_r$  – относительная скорость гранулы перги, м/с;

$N_y$  – сила нормального давления вдоль оси  $y$ , Н;

$f$  – коэффициент трения перги о сталь;

$N_z$  – сила нормального давления вдоль оси  $z$ , Н.

Из второго уравнения системы (3.44) определим силу нормального давления вдоль оси  $y$

$$N_y = F_{тр.дн} + F_{кор} , \quad (3.47)$$

Подставим значение  $F_{тр.дн}$  и  $F_{кор}$  получим

$$N_y = fmg + 2 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \omega \cdot m , \quad (3.48)$$

Значение  $N_y$  поставим в четвертое уравнение системы (3.44) и полученное значение  $F_{тр.н}$  поставим в первое уравнение системы (3.44)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -f \left( fmg + 2 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \omega \cdot m \right) + m\omega^2x , \quad (3.49)$$

Разделим обе части уравнения (3.49) на  $m$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -f^2g - 2f\omega \frac{dx}{dt} + \omega^2x , \quad (3.50)$$

И перенесем члены уравнения с  $x$  в одну сторону

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2f\omega \frac{dx}{dt} - \omega^2x = -f^2g , \quad (3.51)$$

Составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0 , \quad (3.52)$$

Выразим дискриминант

$$D = 4f^2\omega^2 + 4\omega^2 = 4\omega^2(f^2 + 1) ,$$

Выразим корни квадратного уравнения (3.52)

$$\lambda_{1,2} = \frac{-2f\omega \pm 2\omega\sqrt{f^2+1}}{2} = -f\omega \pm \omega\sqrt{f^2+1} ,$$

Общее решение однородного уравнения

$$x = C_1(t)e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + C_2(t)e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} , \quad (3.53)$$

Частное решение неоднородного уравнение ищем методом вариации

$$\begin{cases} C_1'(t)x_1 + C_2'(t)x_2 = 0 \\ C_1'(t)x_1' + C_2'(t)x_2' = -f^2g \end{cases} , \quad (3.54)$$

Подставим значение  $x_1$  и  $x_2$

$$\begin{cases} C_1'(t)e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t)e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} = 0 \\ C_1'(t) \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t) \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} = -f^2g \end{cases}, \quad (3.55)$$

Применим Вронскиан

$$W = e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} - e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}), \quad (3.56)$$

Сгруппируем члены уравнения и произведем сокращение

$$W = (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{-2tf\omega} - (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{-2tf\omega}, \quad (3.57)$$

Вынесем общий член и снова произведем сокращение

$$W = e^{-2tf\omega} \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1}), \quad (3.58)$$

$$C_1'(t) = \frac{-gf^2 \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})}}{e^{-2tf\omega} \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.59)$$

Произведем сокращение и получим

$$C_1'(t) = \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.60)$$

Проинтегрируем

$$C_1(t) = -\int \frac{gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} dt = \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.61)$$

$$C_2'(t) = \frac{f^2ge^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}}{e^{-2tf\omega} \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.62)$$

Произведем сокращение

$$C_2'(t) = \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.63)$$

Проинтегрируем

$$C_2'(t) = \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \int e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} dt = \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})}, \quad (3.64)$$

Общее решение линейного неоднородного уравнения второго порядка будет:

$$x = \left[ \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega-\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + \left[ \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega+\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + C, \quad (3.65)$$



Подставим начальные условия  $t_0 = 0; x = x_0$ .

$$x_0 = \left[ \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \right] + \left[ \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \right] + C, \quad (3.66)$$

Из уравнения(3.67) выразим постоянную  $C$

$$C = x_0 - \left[ \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \right] - \left[ \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \right], \quad (3.67)$$

Подставим полученное значение постоянной  $C$  в уравнение (3.65)

$$x = \left[ \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + \left[ \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} + x_0 - \left[ \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \right] - \left[ \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \right], \quad (3.68)$$

где  $t$  – время движения гранулы перги по штифту, с.

По полученному выражению (3.68) построим зависимость перемещения гранулы перги по нижнему штифту вдоль оси  $x$  от времени с использованием программы MathCad 14.0 (рис.3.7).

Зависимость перемещения по оси  $x$ , представленная на рисунке 3.7, построена по следующим параметрам: значения частоты вращения  $x(t)$  – 1000 мин<sup>-1</sup>;  $x1(t)$  – 1500 мин<sup>-1</sup>;  $x2(t)$  – 2000 мин<sup>-1</sup>;  $x3(t)$  – 2500 мин<sup>-1</sup>;  $x4(t)$  – 3000 мин<sup>-1</sup>, радиус камеры измельчения составлял 0,1 м, коэффициент трения равен 0,5, первоначальное положение гранулы перги  $x_0 = 0$ .

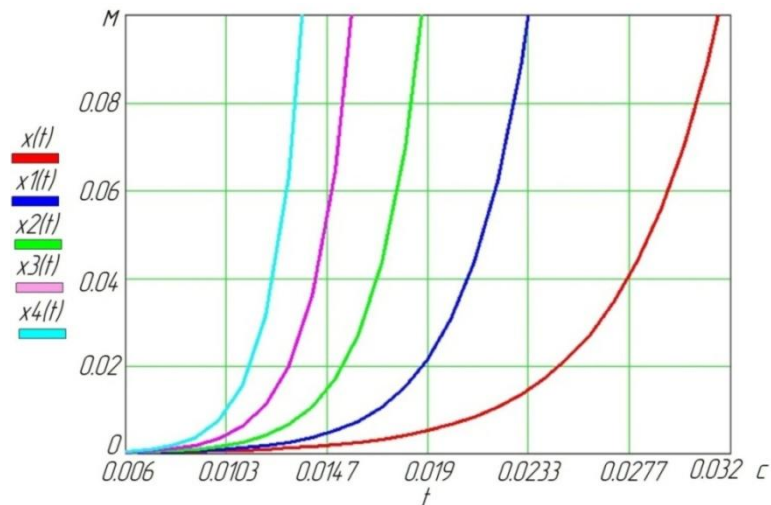


Рисунок 3.7 – Зависимость перемещения гранулы перги по нижнему штифту от времени.

Угол поворота штифта при движении гранулы перги по нижнему штифту будет равен

$$\gamma = \omega \cdot t, \quad (3.69)$$

где  $\gamma$  – угол поворота штифта при движении гранулы перги, рад;

$\omega$  – угловая скорость штифта, рад/с;

$t$  – время движения гранулы перги, с.

Траектория движения гранулы перги по нижнему штифту будет складываться из совокупности уравнений (3.68) и (3.69). 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 в программе КОМПАС-3D v.14 был построен общий вид траектории движения гранулы перги по нижнему штифту, который представлен на рисунке 3.8.

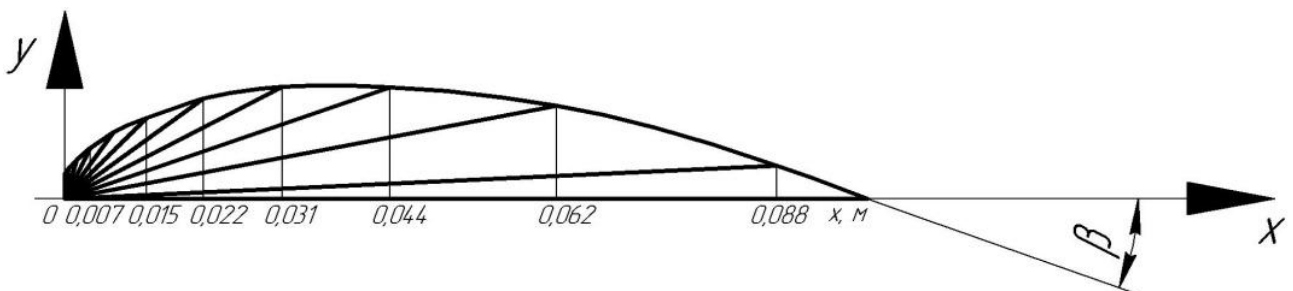


Рисунок 3.8 – Общий вид траектории движения гранулы перги по нижнему штифту измельчителя.

Угол схода гранулы перги со штифта  $\beta$  незначительно зависит от первоначального положения гранулы перги, с которого начинается ее движение по штифту. По результатам анализа были получены значения угла схода гранулы перги со штифта, которые представлены в таблице 3.1. В данной таблице представлены максимальные значения угла схода, полученные при рассмотрении разного первоначального положения гранулы перги на штифте [78].

Таблица 3.1 – Значения угла схода гранулы перги с нижнего штифта измельчителя при разной частоте вращения.

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Угол схода гранулы перги, град
1000	24
1500	26
2000	27
2500	28
3000	30

По полученным результатам можно сделать вывод, что угол схода гранулы меняется незначительно и находится в пределах от 24° до 30° при разной частоте вращения [78].

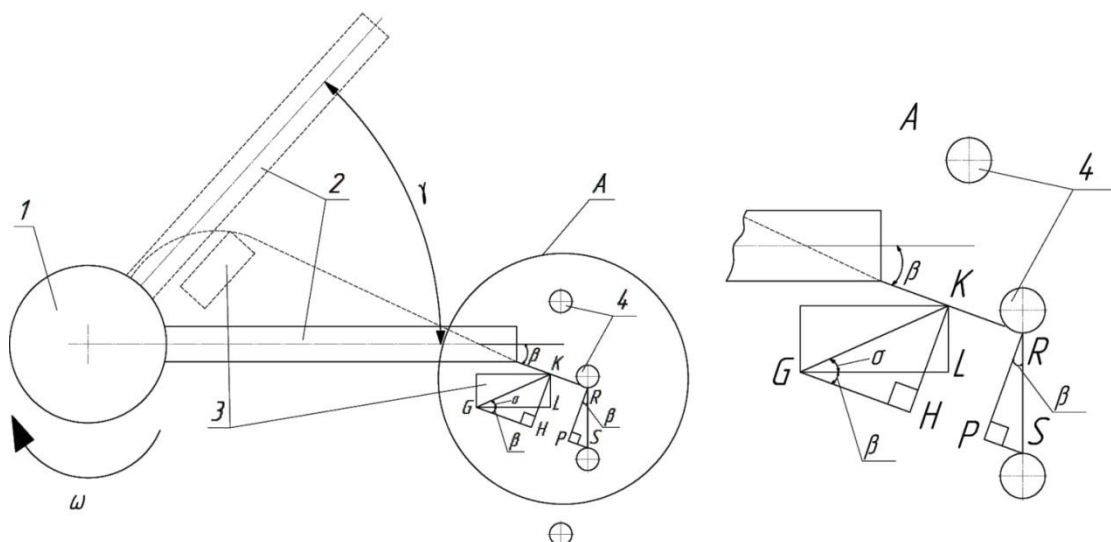
### 3.5 Условие прохождения гранулы перги через прутковую решетку

Проход частицы между прутками решетки возможен, если размер гранулы в направлении движения будет соответствовать размеру ячейки.

Рассмотрим размер гранулы перги в направлении движения в момент, когда она сошла со штифта. Теоретическими исследованиями установлено, что угол схода гранулы перги со штифта составляет от 24° до 30°. При самом максимальном размере гранулы ее длина составляет 11,9 мм, а ширина 5,5 мм (по результатам исследований полученных во 2 разделе) [78].

На рисунке 3.9 представлено движение гранулы перги в направлении прутков решетки.

Для того, что бы гранула успешно прошла через решетку необходимо определить минимальное расстояние между ее прутками.



1 – вал; 2 – штифт; 3 – гранула перги; 4 – прутки, из которых сделана решетка.

Рисунок 3.9 – Траектория движения гранулы перги в направлении прутков решетки.

Рассмотрим треугольник  $GKL$ , из данного треугольника найдем гипотенузу  $GK$ . Она будет равна

$$GK^2 = GL^2 + KL^2, \quad (3.70)$$

где  $GL$  – длина перговой гранулы, м;

$KL$  – ширина перговой гранулы, м.

$$GK = \sqrt{0,0119^2 + 0,0055^2} = \sqrt{0,00014161 + 0,00003025} = 0,01311 \text{ м},$$

Далее из треугольника  $GKL$  определим угол  $\sigma$

$$\sin \sigma = \frac{KL}{GK}, \quad (3.71)$$

$$\sin \sigma = \frac{0,0055}{0,01311} = 0,42,$$

$$\sigma = \arcsin 0,42 = 24,8^\circ,$$

Из треугольника  $GKH$  определим  $KH$

$$KH = GK \cdot \sin(\beta + \sigma), \quad (3.72)$$

В зависимости от угла схода гранулы  $\beta$   $KH$  будет разные значения. Произведем расчет  $KH$  при угле  $\beta$  равном  $24^\circ$

$$KH = 0,01311 \cdot \sin(24^\circ + 24,8^\circ) = 0,0098 \text{ м},$$

Далее из треугольника  $PRS$  найдем значение  $RS$ , которое и будет являться минимальным расстоянием между прутками решетки для свободного

прохождения гранулы перги.  $RP$  будет равен  $KH$ . Таким образом, гипотенуза  $RS$  будет равна

$$RS = \frac{RP}{\cos \beta}, \quad (3.73)$$

В зависимости от угла схода гранулы  $\beta$  и разного значения  $RP$   $RS$  будет иметь также разное значение. Рассчитаем значение  $RS$  при угле  $\beta$  равном  $24^\circ$  и  $RP$  равном  $0,0098$  м

$$RS = \frac{0,0098}{\cos 24^\circ} = 0,01077 \text{ м},$$

Аналогично будет производиться расчет и для остальных значений [78].

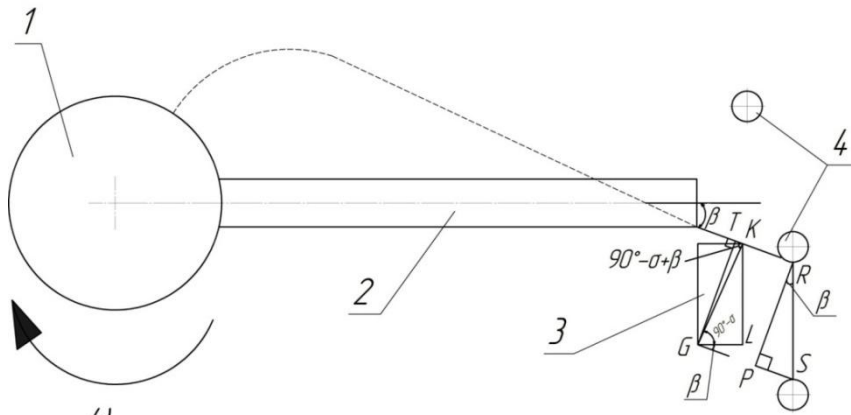
Отразим полученные данные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения расстояний между прутками решетки при продольном расположении гранулы перги и разной частоте вращения вала.

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Расстояние между прутками решетки, м
1000	0,01077
1500	0,01121
2000	0,01164
2500	0,01192
3000	0,01236

Однако в момент схода со штифта и при прохождении через прутки решетки гранула перги может занимать и другие положения, отличные от продольного расположения, которое было изображено на рисунке 3.9. В связи с этим рассмотрим случай, когда гранула перги занимает поперечное расположение при проходе через прутки решетки (рис. 3.10).

Для определения минимального расстояния между ее прутками при данном расположении гранулы перги рассмотрим треугольник  $GTK$ .



1 – вал; 2 – штифт; 3 – гранула перги; 4 – прутки, из которых сделана решетка.  
Рисунок 3.10 – Траектория движения гранулы перги в направлении прутков решетки.

Из данного треугольника определим  $GT$

$$GT = GK \cdot \sin(90^\circ - \sigma + \beta), \quad (3.74)$$

В зависимости от угла  $\beta$  отрезок  $GT$  будет иметь различные значения. Произведем расчет  $GT$  при угле  $\beta$  равном  $24^\circ$

$$GT = 0,01311 \cdot \sin(90^\circ - 24,8^\circ + 24^\circ) = 0,01311 \text{ м},$$

Далее рассмотрим треугольник  $PRS$ .  $RP$  будет равен  $GT$ . Найдем значение  $RS$  при угле  $\beta$  равном  $24^\circ$  и  $GT$  равном  $0,01311$  м

$$RS = \frac{0,01311}{\cos 24^\circ} = 0,01441 \text{ м},$$

Аналогично будет производиться расчет и для остальных значений.

Отразим полученные данные в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения расстояний между прутками решетки при поперечном расположении гранулы перги и разной частоте вращения вала.

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Расстояние между прутками решетки, м
1000	0,01441
1500	0,01456
2000	0,01472
2500	0,01487
3000	0,01501

Таким образом, расстояние между прутками решетки для свободного прохождения гранулы перги при разной частоте вращения вала и при разном расположении гранулы перги при прохождении через решетку может быть в пределах от 0,011 до 0,015 м.

## ВЫВОДЫ

1. Конструктивно – технологическая схема измельчителя перговых сотов содержит цилиндрическую рабочую камеру, загрузочную горловину с автоматической заслонкой, вал ротора со штифтами, съемную решетку и приставку, выполняющую функцию выгрузного и аспирационного канала. Работа измельчителя должна осуществляться следующим образом. Подготовленные к измельчению куски перговых сотов через заслонку направляют в рабочую камеру, там они измельчаются под действием штифтов. Воскоперговая измельченная масса проходит через отверстия решетки и попадает в аспирационный канал. Там под действием воздушного потока, создаваемого внешней пневматической системой, происходит разделение воскоперговой массы на пергу и восковое сырье.

2. Теоретически установлено, что величина противовеса заслонки зависит от массы куска пергового сота, угла наклона заслонки и расстояний куска пергового сота и противовеса до шарнира заслонки. Для кусков перговых сотов размером от  $0,05 \times 0,07 \times 0,023$  м до  $0,10 \times 0,07 \times 0,023$  м и массой от 0,04 кг до 0,1 кг масса груза-противовеса будет равна от 0,0312 кг до 0,0969 кг. Для обеспечения закрытия заслонки при любом исходе принимаем максимальную массу груза-противовеса равной 0,1 кг.

3. Движение куска пергового сота в предлагаемом измельчителе происходит за счет удара штифтом, в результате чего кусок пергового сота ударяется о внутреннюю стенку рабочей камеры. На основании анализа траектории движения куска при различной окружной скорости штифта установлено, что расстояние

между штифтами по вертикале должно находиться в пределах от 0,009 до 0,021 м при радиусе измельчителя равном 0,1 м.

4. Теоретически установлено, что угол схода гранул перги с нижнего штифта – в пределах от  $24^\circ$  до  $30^\circ$ , а расстояние между прутками решетки для свободного прохождения гранулы перги через нее должно быть в пределах от 0,011 до 0,015 м при частоте вращения вала ротора от 1000 до 3000 мин<sup>-1</sup>.



## **4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ**

### **4.1 Программа исследований**

В соответствии с поставленными задачами программа исследований предусматривала:

- исследование массового выхода фракций измельченной воскоперговой массы после удара штифта в зависимости от частоты вращения вала измельчителя;
- исследование крошимости гранул перги в зависимости от диаметра и количества штифтов, а также частоты вращения вала измельчителя;
- исследование средней длины гранул перги от частоты вращения вала;
- исследование крошимости гранул перги и количество воска на перге в зависимости от параметров прутковой решетки при различной частоте вращения вала;
- определение гранулометрического состава гранул перги и воскового сырья;
- определение аэродинамических свойств (скорости витания) гранул перги и воскового сырья.

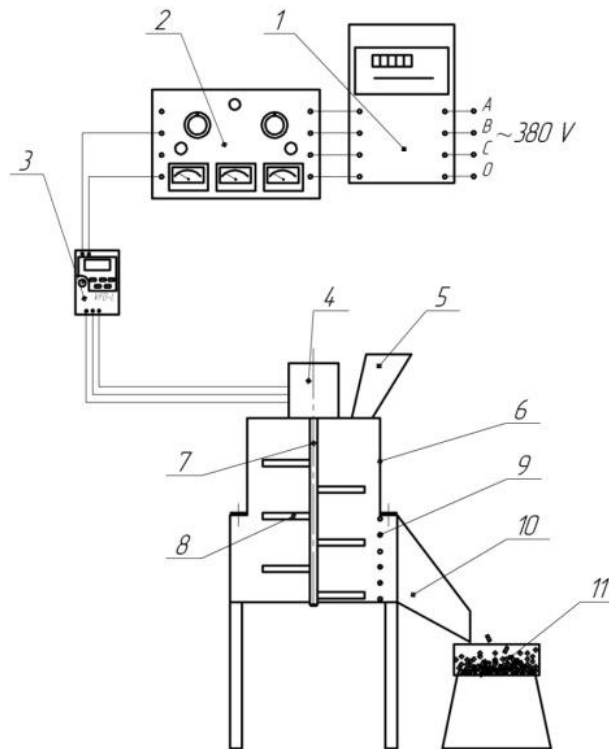
### **4.2 Методика исследований**

С целью выполнения программы исследований в Научно-исследовательской лаборатории инновационных энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в растениеводстве и животноводстве Рязанского ГАТУ была изготовлена лабораторная установка для измельчения перговых сотов. Функциональная схема данной установки представлена на рисунке 4.1.

Лабораторная установка состоит из трехфазного статического счетчика электрической энергии «Меркурий 230» 1, измерительного прибора К-50 2, преобразователя частоты (модель VFD 007L 21B) 3, электродвигателя 4, загрузной горловины 5, рабочей камеры 6, в которой расположен вал 7 со

штифтами 8, съемной решетке 9, закрывающей выход из рабочей камеры 6, выгрузной горловины 10 и приемной емкости 11. Диаметр рабочей камеры составил 200 мм, длина штифта от центра вращения – 95 мм, зазор между стенкой камеры измельчения и штифтом составил 5 мм.

Работа в этой установке осуществляется следующим образом. От электросети 380 вольт через счетчик электроэнергии 1, измерительный прибор 2 и регулятор частоты 3 включается электродвигатель 4. Подготовленные к переработке куски перговых сотов помещают через загрузочную горловину 5 в цилиндрическую рабочую камеру 6, где эти куски измельчаются под действием штифтов 8 при вращении вала 7 ротора. Измельченная воскоперговая масса под действием центробежных сил проходит через отверстия решетки 9 и через выгрузную горловину 10 попадает в приемную емкость 11.



1 – трехфазный статический счетчик электрической энергии «Меркурий 230»; 2 – измерительный прибор К-50; 3 – преобразователь частоты (модель VFD 007L 21В); 4 – электродвигатель; 5 – загрузная горловина; 6 – рабочая камера; 7 – вал; 8 – штифт; 9 – съемная решетка; 10 – выгрузная горловина; 11 – приемная емкость.

Рисунок 4.1 – Функциональная схема лабораторной установки для измельчения перговых сотов.

Общий вид лабораторной установки для измельчения перговых сотов представлен на рисунке 4.2.



1 –трехфазный статический счетчик электрической энергии «Меркурий 230»; 2 – измерительный прибор К-50; 3 – преобразователь частоты (модель VFD 007L 21В); 4 – электродвигатель; 5 – загрузная горловина; 6 – рабочая камера с измельчителем, представленным в виде вала со штифтами; 7 – съемная решетка; 8 – выгрузная горловина; 9– приемная емкость.

Рисунок 4.2 – Общий вид лабораторной установки для измельчения перговых сотов.

Необходимая скорость вращения вала ротора устанавливалась и поддерживалась с помощью частотного преобразователя VFD 007L 21В (рис. 4.3.). Тарировка частотного преобразователя производилась с помощью тахометра АктакомАТЕ– 6008 (рис. 4.4.).



Рисунок 4.3 – Частотный преобразователь VFD 007L 21B.



Рисунок 4.4 – Тахометр Актаком АТЕ– 6008.

Для определения массового выхода фракций измельченной воскоперговой массы после однократного воздействия штифта использовались куски перговых сотов приблизительно равного размера  $70 \times 70 \times 23$  мм, массой 50 гр и влажностью в соте перги 14,4%. Для проведения эксперимента в лабораторной установки, представленной на рисунке 4.1, с рабочего вала снимались штифты, кроме третьего снизу штифта, который располагался на расстоянии 7 см от дна камеры измельчения. Также выход из камеры измельчения закрывался заслонкой. Опыты осуществлялись с трехкратной повторностью при частоте вращения вала 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500 и 1750 мин<sup>-1</sup>. Нужная частота вращения вала асинхронного электродвигателя устанавливалась при помощи частотного преобразователя VFD 007 L 21B. Для тарировки частоты вращения электродвигателя и соответственно вала измельчителя использовался тахометр марки Актаком АТЕ– 6008. Тарировка происходила следующим образом: электродвигатель лабораторной установки был присоединен к частотному регулятору VFD 007L 21B и на его вал был наклеен небольшой кусочек светоотражающей ленты, затем на частотном преобразователе устанавливалась выходная частота сети и включался электродвигатель. При данном вращении вала с помощью тахометра бесконтактным способом (с использованием лазера) происходило измерение частоты вращения вала измельчителя. Затем частота на преобразователе менялась, и измерение параметра повторялось.

Вал со штифтом выводился на нужную частоту вращения. Затем предварительно охлажденный кусок пергового сота помещался в рабочую камеру, и там, на расстоянии около 5 см от плоскости вращения штифта, он сбрасывался

на штифт. Далее, при однократном воздействии штифта на кусок сота, пчелиный сот разрушался, после чего полученная масса поступала на дно рабочей камеры. Потом установка выключалась, заслонка выгрузного окна открывалась, а полученный вследствие разрушения материал извлекался из рабочей камеры установки [12].

После измельчения пергового сота с пергой осуществляло разделение той массы, которая получилась, с использованием набора сит с диаметром отверстий 7 и 5 мм. Неразрушенные куски пергового сота оставались на сите, где диаметр отверстий составлял 7 мм, а отделенные перговые гранулы и крупные восковые частицы средостения оставались на сите с диаметром отверстий 5 мм. Остаток массы, прошедший через сито с диаметром отверстий 5 мм, скапливался на дне. Этот остаток представлял собой мелкие частицы воска средостения пергового сота, а также разрушенные перговые гранулы [12]. После разделения на технических весах ВЛКТ-500 осуществлялось взвешивание полученных фракций, а затем находился массовый выход фракций по формуле

$$\mu = \frac{m_{\phi}}{m_{\kappa}} \cdot 100\% , \quad (4.1)$$

где  $m_{\phi}$  – масса фракции, г;

$m_{\kappa}$  – масса куска пергового сота, г.

После чего частоты вращения вала изменялась, и опыт повторялся заново.

Для определения крошимости брались примерно одинаковые куски перговых сотов (200 г) и подавались в измельчитель. На выходе измельчителя получали воскоперговую массу, которую разделяли на гранулы перги и восковое сырье. Полученную пергу взвешивали на технических весах ВЛКТ-500, а затем с помощью решетчатого классификатора (набора сит) разделяли на фракции. За крошку мы принимали частицы, которые отсеивались на сите с диаметром отверстий 3 мм, так как они представляют собой разрушенные перговые гранулы. Затем полученную перговую крошку взвешивали на весах ВЛКТ-500 и по формуле (4.2) рассчитывали процентное содержание крошки

$$K_{\text{перги}} = \frac{M_{\kappa}}{M_{\text{общ}}} \cdot 100\% , \quad (4.2)$$

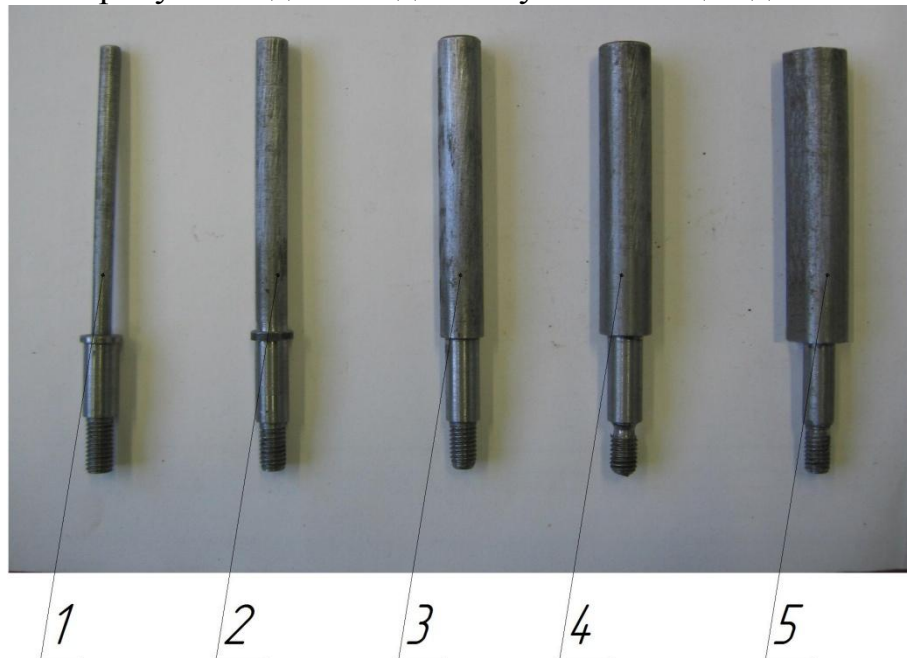
где  $M_K$  – масса перговой крошки, г;

$M_{общ}$  – масса цельных гранул перги с перговой крошкой, г.

Для определения зависимости крошимости гранул перги от диаметра штифтов в измельчитель лабораторной установки устанавливались 4 штифта диаметром 6, 9, 12, 15 и 18 мм (рис. 4.5). После этого с помощью частотного преобразователя VFD 007L 21B выставлялась постоянная частота вращения вала измельчителя –  $1500 \text{ мин}^{-1}$  (частота была выбрана, исходя из частоты вращения измельчителя в агрегате АИП-50).

Для определения зависимости крошимости перговых гранул от частоты вращения ротора был использован ранее описанный частотный преобразователь VFD 007L 21B и тарировочный график, по которому выставлялась необходимая частота вращения вала измельчителя.

Для определения средней длины гранул полученную воскоперговую массу разделяли посредством пневмосепарации на пергу и восковое сырье. Затем каждую гранулу перги в полученной пробе измеряли с использованием установки для определения диаметра и длины гранул перги, описанной в пункте 2.1.1, и полученные длины гранул складывали для получения общей длины.



1 – штифт  $\text{Ø}6$  мм; 2 – штифт  $\text{Ø}9$  мм; 3 – штифт  $\text{Ø}12$  мм; 4 – штифт  $\text{Ø}15$  мм;  
5 – штифт  $\text{Ø}18$  мм.

Рисунок 4.5 – Штифты различного диаметра.

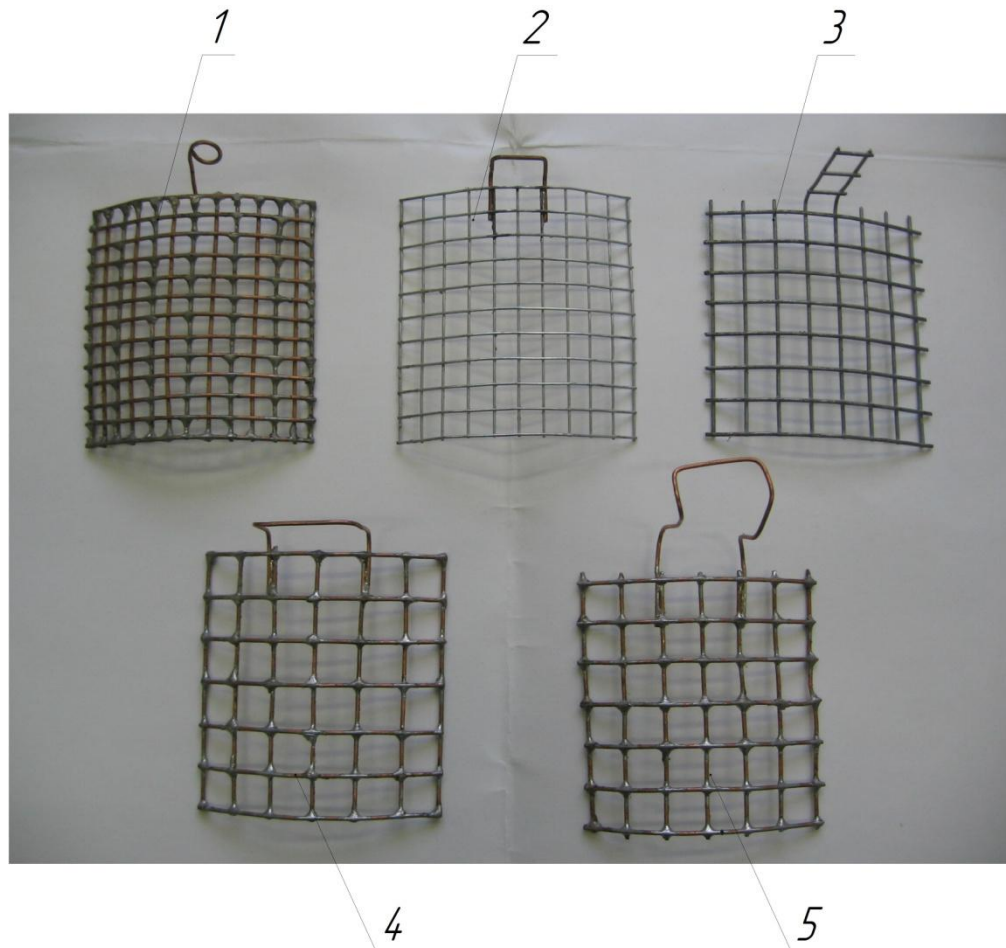
Опыт проводили при различных частотах вращения вала со штифтами. Среднее значение длины гранул определялось по формуле

$$l_{\text{ср}} = \frac{l_{\text{общ}}}{n}, \quad (4.3)$$

где  $l_{\text{общ}}$  – общая подсчитанная суммарная длина гранул перги в пробе, мм;

$n$  – количество гранул перги в пробе, шт.

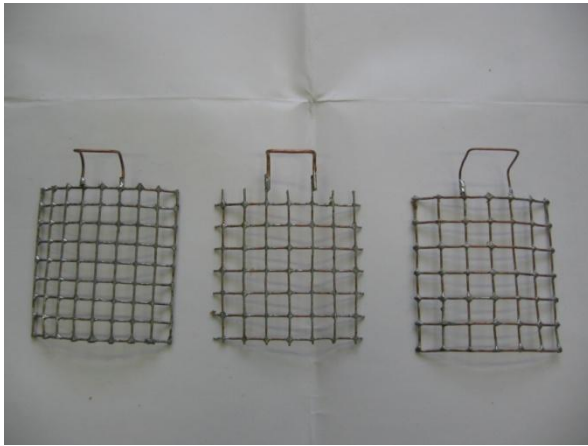
Для определения зависимости крошимости гранул перги и количества воска на перге от размера квадратных отверстий и толщины прутка съемной решетки в лабораторную установку помещалась решетка с размером отверстий 8x8, 10x10, 12x12, 14x14 и 16x16 мм (рис. 4.6) и различным диаметром прутка, из которого она была изготовлена. Значения диаметра было выбрано 1,5; 2,1 и 2,7 мм (рис. 4.7).



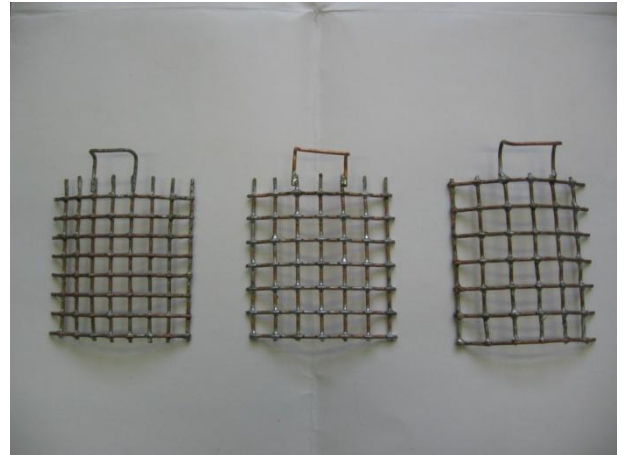
1 – решетка с размером ячейки 8x8 мм; 2 – решетка с размером ячейки 10x10 мм; 3 – решетка с размером ячейки 12x12 мм; 4 – решетка с размером ячейки 14x14 мм; 5 – решетка с размером ячейки 16x16 мм.

Рисунок 4.6 – Решетки с различным размером отверстий.

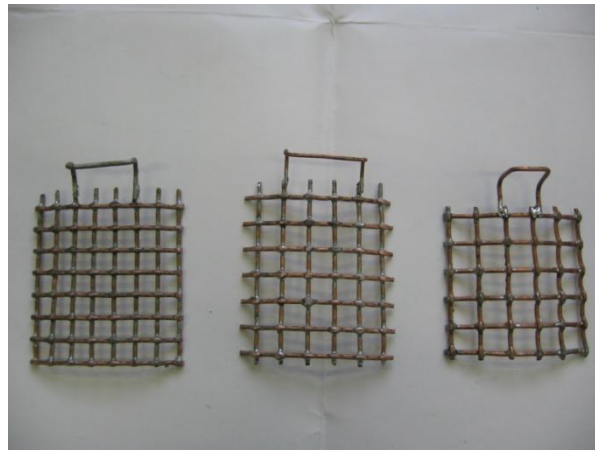
Для установления влияния размера отверстий и толщины прутка съемной решетки на крошимость гранул перги и количество воска на перге были проведены многофакторные эксперименты.



а)



б)



в)

а) Решетки с толщиной прутка 1,5 мм и размером ячейки 10x10, 12x12, 14x14 мм;

б) Решетки с толщиной прутка 2,1 мм и размером ячейки 10x10, 12x12, 14x14 мм;

в) Решетки с толщиной прутка 2,7 мм и размером ячейки 10x10, 12x12, 14x14 мм.

Рисунок 4.7 – Решетки с разным размером отверстий и толщиной прутка.

Диапазоны варьирования факторов определялись в ходе поисковых экспериментов [5, 15, 58, 104, 106]. Для проведения опыта из каталогов планов [59] был выбран симметричный, композиционный, рототабельный, трехуровневый план Бокса-Бенкина второго порядка [5, 15, 58, 104, 106]. Уровни, а также интервалы варьирования эксперимента указаны в таблице 4.1. Для предотвращения влияния случайных ошибок, которые связаны с



неоднородностью материала, а также другими неучтенными факторами, была осуществлена рандомизация опытов по ГОСТ 11.003-73, по ГОСТ 24026-80 и по ГОСТ Р ИСО 24153-2012 [19, 21, 23].

Таблица 4.1 – Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Размер стороны отверстий решетки, $S_{реш.}$ , мм	Толщина прутка решетки, $d_{пр.}$ , мм
Верхний уровень (+1)	14	2,7
Основной уровень (0)	12	2,1
Нижний уровень (-1)	10	1,5
Интервал варьирования	2	0,6

Измельчение кусков перговых сотов осуществлялось при данных значениях факторов. В итоге были получены значения крошимости гранул перги и количества воска на перге.

Эксперимент осуществлялся с трехкратной повторностью. А результаты эксперимента отражены в приложении Е и Ж.

Эксперимент осуществлялся с трехкратной повторностью.

После выявления рациональных значений размера отверстий решетки и толщины прутка были проведены опыты по определению зависимости крошимости гранул перги и количества воска на перге от частоты вращения вала и площади выгрузного окна.

Диапазоны варьирования факторов определялся в процессе анализа априорной информации, а также поисковых экспериментов [5, 15, 58, 104, 106]. Для проведения опыта из каталогов планов [59] был выбран симметричный, композиционный, рототабельный, трехуровневый план Бокса-Бенкина второго порядка [5, 15, 58, 104, 106]. Уровни, а также интервалы варьирования эксперимента указаны в таблице 4.2. Для предотвращения влияния случайных ошибок, которые связаны с неоднородностью материала, а также другими

неучтенными факторами, была осуществлена рандомизация опытов по ГОСТ 11.003-73, по ГОСТ 24026-80 и по ГОСТ Р ИСО 24153-2012 [19, 21, 23].

Таблица 4.2– Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы	
	Частота вращения вала, $n_{\text{изм}}, \text{мин}^{-1}$	Площадь выгрузного окна, $S, \text{см}^2$
Верхний уровень (+1)	2000	81
Основной уровень (0)	1750	54
Нижний уровень (-1)	1500	27
Интервал варьирования	250	27

Опыты по определению крошимости гранул перги и количества воска на перге осуществлялись с трехкратной повторностью.

Для определения рационального режима измельчения необходимо знать как частота вращения вала и площадь выгрузного окна влияют на крошимость гранул перги и количество воска на перге. Для этого были проведены многофакторные эксперименты. Уровни, а также интервалы варьирования эксперимента отражены в таблице 4.2.

При осуществлении опыта учитывались определенные требования к факторам: однородность, управляемость, совместимость, а также отсутствие корреляций между ними [5, 15, 52, 58, 83, 104, 106].

Полученные данные обрабатывались согласно приведенной методике статистической программой Statistica 8.0 при помощи персонального компьютера.

Гранулометрический состав перги, а также воскового сырья определялся с помощью ситового анализа. Воскоперговую массу получали после измельчения. Влажность перги составляет 14,5%, а воскового сырья – 4%. Пергу, как и восковое сырье, массой по 1000 граммов соответственно, с помощью набора сит (решетчатого классификатора) с круглым сечением отверстий диаметрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 мм рассеивали на фракции. После окончания отсева остатки, образовавшиеся на ситах со средним размером частиц 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5;

6,5; 7,5 мм, взвешивались на технических весах ВЛКТ – 500. Средневзвешенный размер частиц материала рассчитывается по формуле в мм [65]

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=0}^7 (i+0,5)m_i}{\sum_{i=0}^7 m_i}, \quad (4.4)$$

где  $i$  – размер отверстий в ситах;

$m_i$  – масса фракций на ситах с соответствующими размерами отверстий, г.

Аэродинамические свойства гранул перги и воскового сырья определяются сопротивлением воздушной среды [32, 65, 72, 73].

Следует отметить, что от ряда факторов, таких как площадь миделевого сечения частиц материала, их формы, массы, характера поверхности и др., зависит величина аэродинамического сопротивления [32, 65, 72, 73].

Скорость витания гранул перги и воскового сырья определяли на установке для пневмосепарации материала. В опыте использовались разделенные на фракции гранулы перги и восковое сырье.

С помощью изменения частоты вращения центробежного вентилятора частотным регулятором Delta VFD 007L 21В устанавливалась определенная скорость воздушного потока в аспирационном канале. Перед проведением исследований устройство было оттарировано с помощью ручного чашечного анемометра со счетным механизмом МС – 13. Опыт проводился в диапазоне от 0 до 14,5 м/с с шагом 0,5. Каждую фракцию при установленной определенной скорости воздушного потока засыпали в загрузочный лоток. При этом определенная часть частиц, поднимаясь по аспирационному каналу, улетала в циклон, а оставшаяся часть фракции просыпалась через аспирационный канал в емкость и взвешивалась на весах ВЛКТ – 500 [32, 65, 72, 73]. По формуле (4.5) получали процент частиц от общего количества, который улетел при установленной скорости воздушного потока

$$N = \frac{M_o - M_{\text{ост}}}{M_o} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где  $M_o$  – общая масса фракции, г;

$M_{\text{ост}}$  – масса оставшихся частиц, г.

Далее скорость воздушного потока увеличивали на 0,5 м/с и повторяли опыт. Скорость воздушного потока повышали то тех пор, пока 100% массы фракции не улетало [32, 65, 72, 73].

### **4.3 Результаты исследований**

#### **4.3.1 Результаты исследования зависимости массового выхода фракций измельченной воскоперговой массы после удара штифта от частоты вращения вала измельчителя**

На основании соответствующих данных были получены зависимости, представленные на рисунке 4.8 [12].

Проведя анализ построенных зависимостей можно отметить следующее. При частоте вращения вала  $250 \text{ мин}^{-1}$  кусок пчелиного сота с пергой после взаимодействия со штифтом не разрушался, а оставался целым. Далее при частоте вращения  $500 \text{ мин}^{-1}$  отмечалось небольшое разрушение пчелиного сота с пергой, что соответствовало 5,23 м/с окружной скорости штифта. Затем при частоте вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и окружной скорости штифта 10,47 м/с перговый сот подвергался более значительному разрушению, при котором разрушалось около 30% куска пергового сота. При частоте вращения вала  $1250 \text{ мин}^{-1}$  вала и окружной скорости штифта 13,08 м/с разрушается уже около 50% куска пчелиного сота с пергой до размера частиц менее 7 мм. При последующем увеличении частоты вращения вала осуществлялось практически линейное уменьшение массового выхода неразрушенных кусков пчелиного сота с пергой. Можно предположить, что при наличии 2-х штифтов пчелиные соты с пергой будут разрушаться полностью до размеров частиц менее 7 мм при окружной скорости 13,08 м/с [12].

Дальнейшие исследования будем проводить, начиная с частоты вращения вала  $1000 \text{ мин}^{-1}$ .

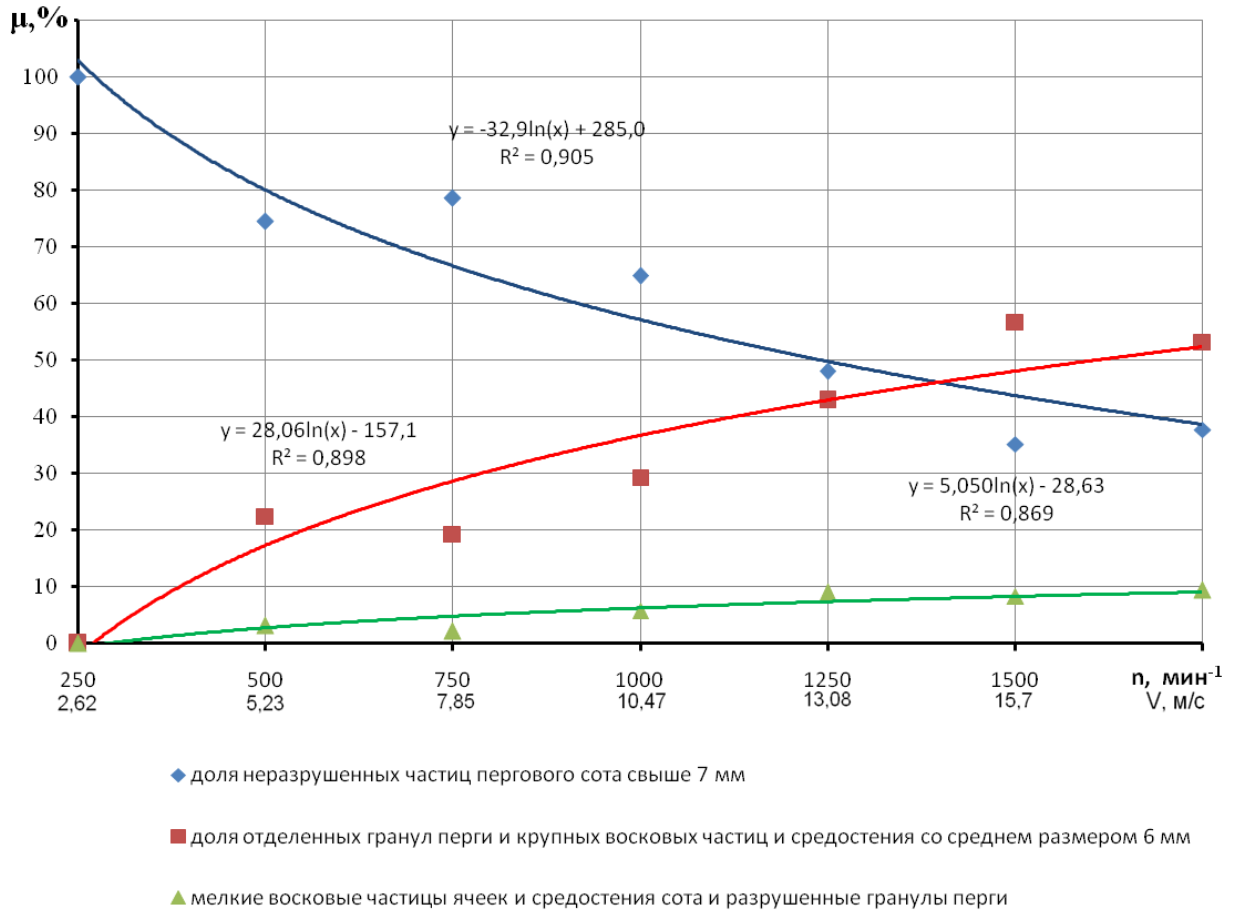


Рисунок 4.8 – Зависимость массового выхода фракций измельченной воскоперговой массы после удара штифта от частоты вращения вала измельчителя.

#### 4.3.2 Результаты исследования крошимости гранул перги в зависимости от диаметра и количества штифтов, а также частоты вращения вала измельчителя

Для проведения исследования использовались соты с влажностью перги 14,6%. По результатам исследований построена зависимость крошимости гранул перги от диаметра штифтов (рис. 4.9).

Анализ зависимости показал, что при увеличении диаметра штифтов с 6 мм до 18 мм крошимость гранул перги снижается с 13,9% до 7,6%. Это связано с тем, что площадь взаимодействия гранулы перги со штифтом увеличивается, а удельное давление, создаваемое штифтом на гранулу, снижается. Из зависимости видно, что при увеличении диаметра штифта выше 14 мм значительного

снижения крошимости не происходит и лежит в пределах 7,6-8%. Следовательно, можно считать рациональным диаметром штифта 15 мм.

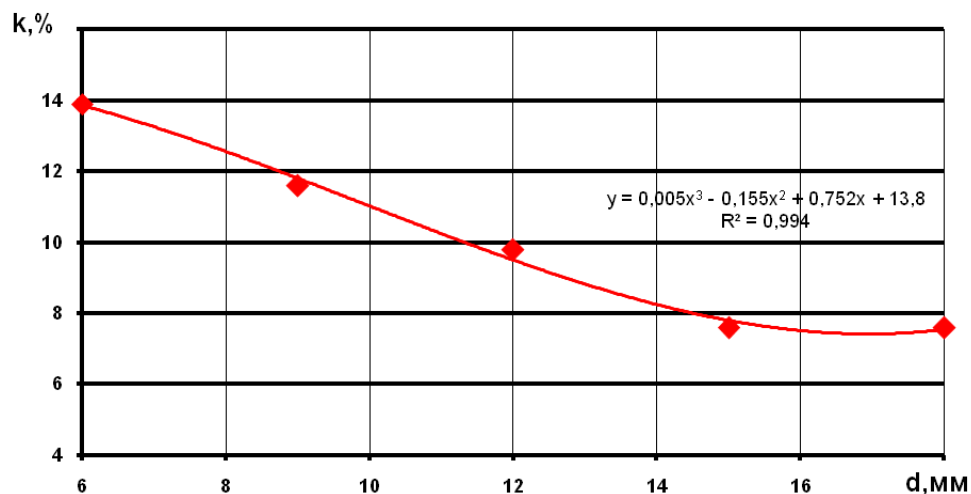


Рисунок 4.9 – Зависимость крошимости гранул перги от диаметра штифтов.

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул перги от диаметра штифтов и частоты вращения вала представлены на рисунке 4.10. Результаты эксперимента приведены в приложении В.

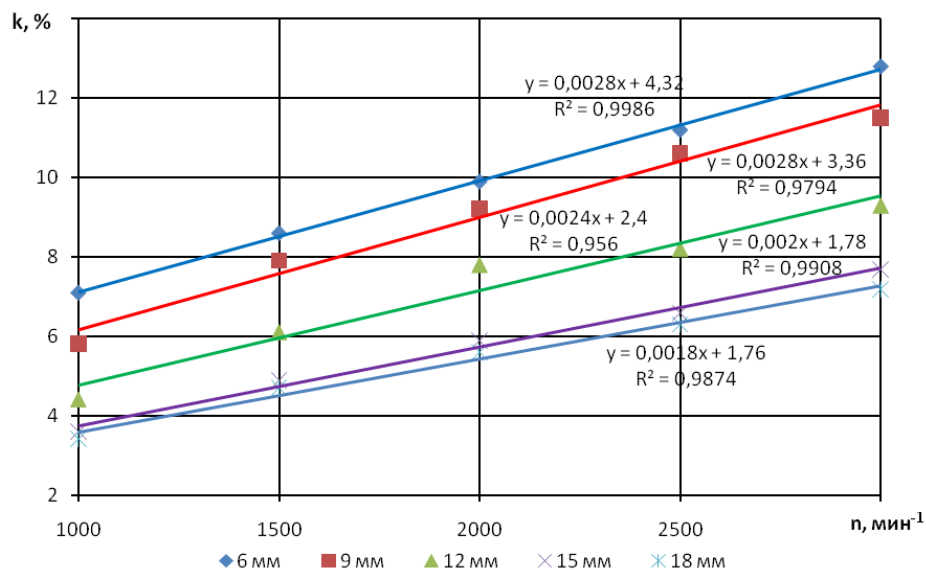


Рисунок 4.10 – Зависимость крошимости гранул перги от диаметра штифтов и частоты вращения вала.

Из зависимости (рис. 4.10) видно, что с увеличением частоты вращения с 1000 до 3000 мин<sup>-1</sup> крошимость увеличивается, эта тенденция наблюдается при всех диаметрах штифтов. При диаметре штифтов 15 мм и 18 мм значение

крошимости лишь незначительно различаются между собой. Причем, чем больше частота вращения вала, тем большее наблюдается расхождение в значениях крошимости. При частоте вращения в  $1000 \text{ мин}^{-1}$  крошимость при диаметре 15 мм составляет 3,6%, а при диаметре 18 мм – 3,4%, при увеличении частоты вращения до  $3000 \text{ мин}^{-1}$  при диаметре штифтов 15 мм крошимость составляет 7,7%, а при диаметре 18 мм крошимость составляет 7,2%. Поэтому рациональнее использовать будет штифты 15 мм.

Проведя анализ зависимости можно сделать вывод, что наименьшая крошимость отмечалась при частоте вращения ротора  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , однако полученные гранулы перги плохо отделены от восковой основы сота. (на поверхности гранул остаются кусочки восковой основы сота).

Самый лучший процесс отделения перговых гранул от восковой основы отмечался при частоте вращения от  $1500$  до  $2000 \text{ мин}^{-1}$ . При этом крошка, которая получилась при измельчении, является послойно разделенными на части перговыми гранулами. При увеличении частоты вращения свыше  $2500 \text{ мин}^{-1}$  в крошке начинали преобладать небольшие частицы перги.

По результату осуществленных экспериментов можно отметить следующее: рациональный режим работы измельчителя лежит в диапазоне частот  $1500-2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.к. крошимость минимальна, если принять во внимание крупные размеры перговой крошки.

Исходя из анализа зависимостей (рис. 4.9 и 4.10) можно сказать, что рациональнее использовать штифты диаметром 15 мм. При увеличении диаметра штифтов увеличивается масса ротора измельчителя, а следовательно, и энергоемкость процесса. При этом значительного снижения крошимости не происходит. Поэтому для дальнейшего исследования кинематических режимов работы измельчителя использовались штифты диаметром 15 мм (0,015 м).

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул перги и количества воска на перге от количества штифтов представлены на рисунке 4.11. Результаты исследования размещены в приложении Г.

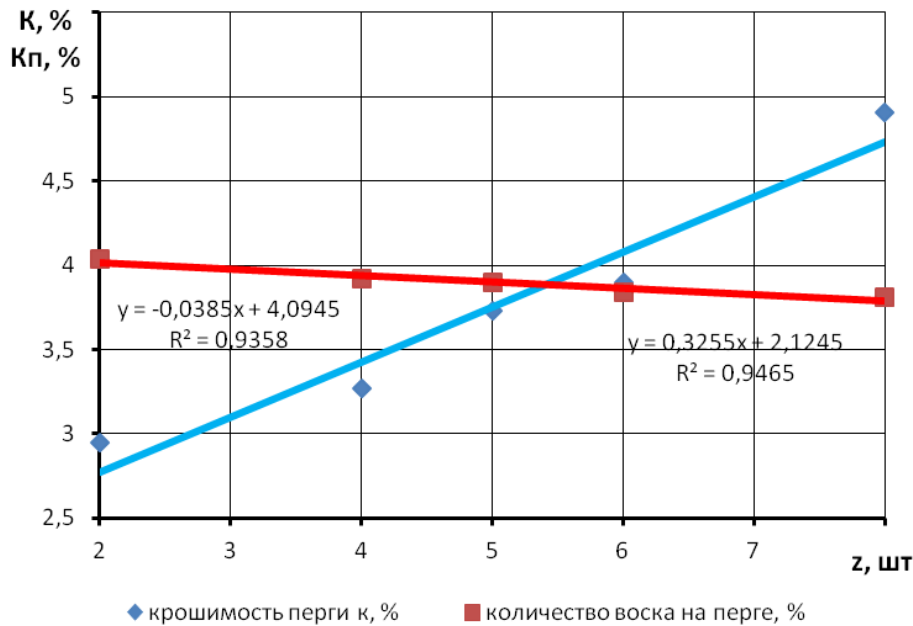


Рисунок 4.11 – Зависимость крошимости гранул перги и количества воска на перге от количества штифтов.

Из анализа полученных зависимостей можно сказать, что при увеличении штифтов с 2 до 8 увеличивается крошимость гранул перги с 2,95% до 4,91%, а количество воска на гранулах перги уменьшается с 4,04% до 3,81%. Но в целом можно отметить, что крошимость при выбранных значениях количества штифтов является незначительной и допустимой (чуть ниже 5 % при 8 штифтах), а так как количество воска на гранулах перги при крайних значениях не на много отличается между собой, то количество штифтов можно выбрать, исходя из производительности измельчителя и объема его рабочей камеры. Для рабочей камеры высотой 0,07 м количество штифтов должно быть два.

#### 4.3.3 Результаты исследования влияния частоты вращения вала измельчителя на среднюю длину гранул перги

Результаты эксперимента по определению средней длины гранул перги от частоты вращения вала измельчителя представлены на рисунке 4.12. Диапазон частот, в котором проводился эксперимент был выбран из анализа результатов, полученных в предыдущих исследованиях.



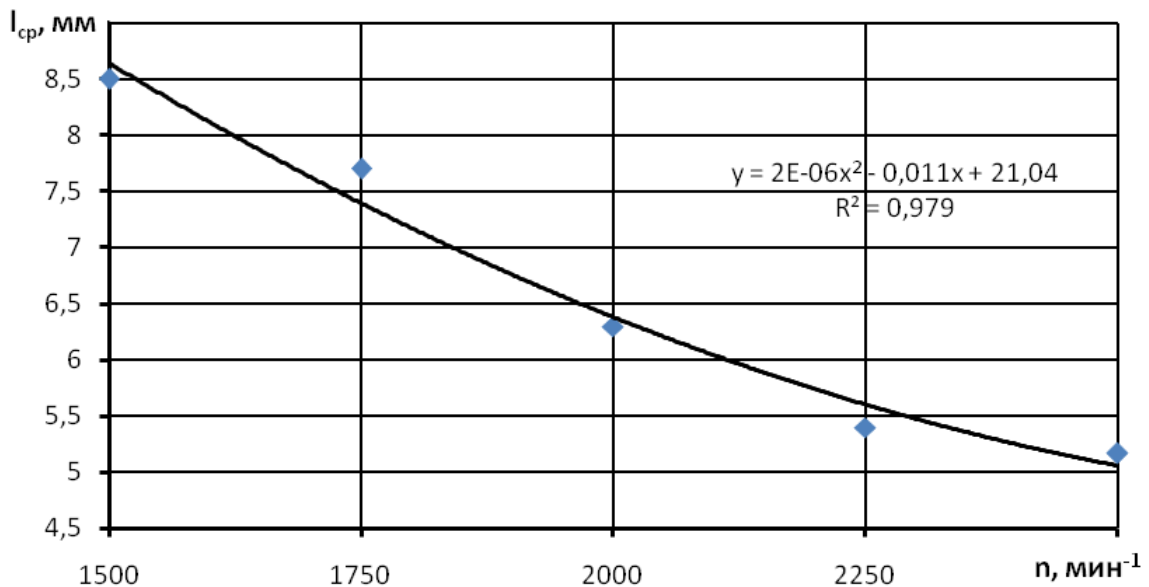


Рисунок 4.12 – Зависимость средней длины гранул перги от частоты вращения вала измельчителя.

Анализ зависимости показал, что с увеличением частоты вращения вала с 1500 до 2500 мин<sup>-1</sup> средняя длина гранул уменьшилась с 8,5 до 5,1 мм, это связано с тем, что при более высокой частоте вращения ротора гранулы перги чаще подвергаются удару штифтов и сила удара выше. Поэтому гранулы перги разрушаются на более мелкие кусочки и имеют меньшую длину. Следовательно, наиболее рациональной можно считать частоту вращения 1500 мин<sup>-1</sup>.

#### 4.3.4 Результаты исследования крошимости гранул перги и количество воска на перге в зависимости от параметров прутковой решетки при различной частоте вращения вала

По результатам исследований построены зависимости крошимости гранул перги и количества воска на перге от разного размера стороны квадратных отверстий в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала (рис. 4.13, рис. 4.14). Результаты испытаний представлены в приложении Д.

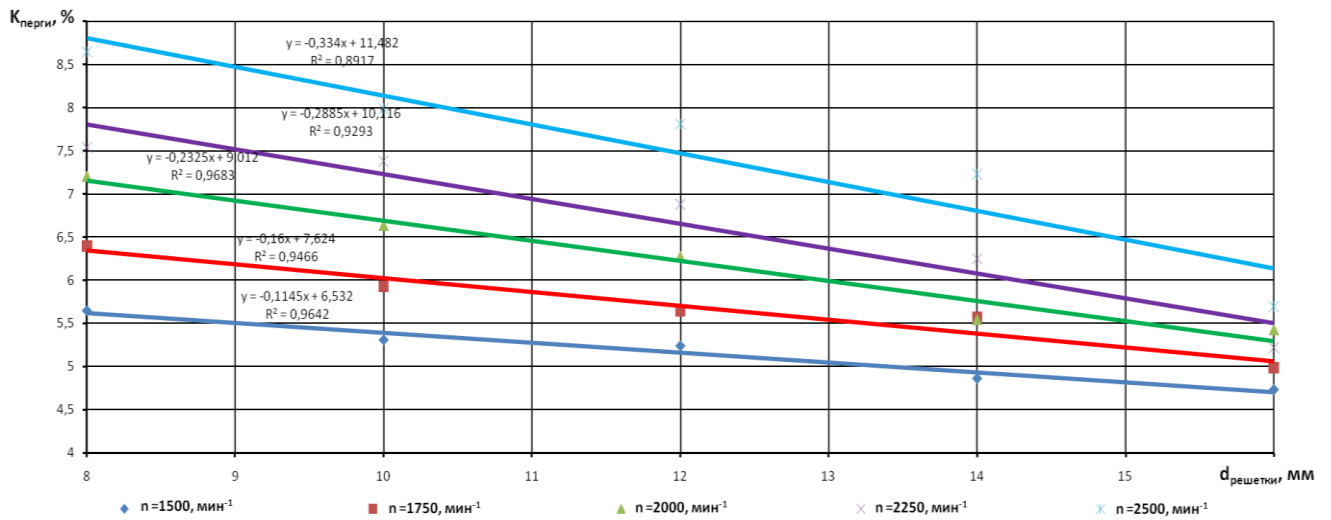


Рисунок 4.13 – Зависимость крошимости гранул перги от разного размера стороны квадратных отверстий в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала.

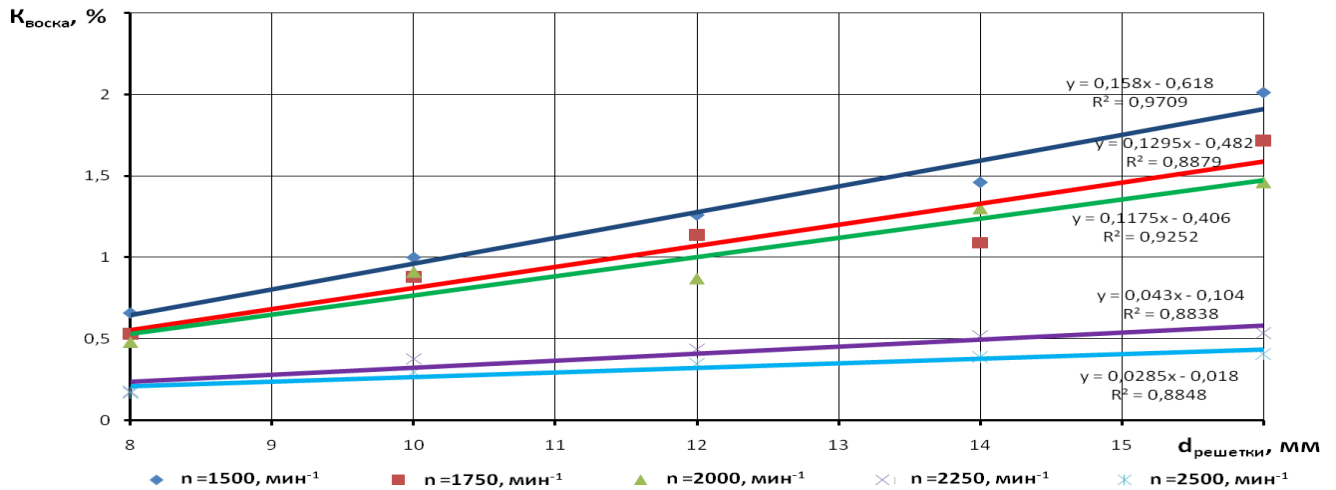


Рисунок 4.14 – Зависимость количества воска на перге от разного размера стороны квадратных отверстий в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала.

Из анализа полученных зависимостей (рис. 4.13, рис. 4.14) можно сделать вывод, что при возрастании частоты вращения вала измельчителя крошимость гранул возрастает, а содержание воска на гранулах перги снижается. С увеличением размера стороны квадратных отверстий решетки с 8 до 16 мм и частоты вращения 1500 мин<sup>-1</sup> крошимость гранул перги снижается с 5,65 до 4,73 %, а количество воска на гранулах возрастает с 0,66 до 2,01 %. С увеличением расстояния между прутками решетки гранулы перги меньше времени находятся в

камере измельчителя и взаимодействуют с прутками решетки, но при этом в полученной воскоперговой массе начинают преобладать крупные восковые пластинки сота и гранулы перги хуже очищаются от восковой оболочки.

На процесс измельчения гранул перги большое влияние оказывает как размер стороны квадратных отверстий решетки, что было отмечено ранее, так и толщина прутка, из которого она сделана. И для того чтобы выявить рациональное значение этих двух факторов, нужно знать их совместное влияние на крошимость гранул перги.

Во время эксперимента частота вращения вала, количество и диаметр штифтов в течение опыта оставались постоянными. А в качестве фактора оптимизации была выбрана крошимость гранул перги. Влажность перги составляла 14,3 %, частота вращения вала измельчителя  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ , количество штифтов 4 штуки диаметром 15мм.

Уровни варьирования факторов указаны в таблице 4.1. Числовые значения результатов, которые были получены, приведены в приложении Е.

Таким образом при статистической обработке экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости крошимости гранул перги  $K_{гр}$  от толщины прутка  $d_{пр}$  и размера стороны квадратных отверстий решетки  $S_{реш}$

$$K_{гр} = 11,1026 - 0,9179 \cdot S_{реш} - 1,3944 \cdot d_{пр} + 0,0304 \cdot S_{реш}^2 + 0,0208 \cdot S_{реш} \cdot d_{пр} + 0,1991 \cdot d_{пр}^2, \quad (4.6)$$

Статистический анализ данного уравнения дал понять, что полученное уравнение в достаточной мере точно описывает зависимость. После проведения анализа можно отметить, что модель адекватно отображает изучаемый процесс, а значит, она пригодна для практического использования. Результаты эксперимента по определению крошимости гранул перги от толщины прутка и размера квадратных отверстий решетки представлены на рисунке 4.15.

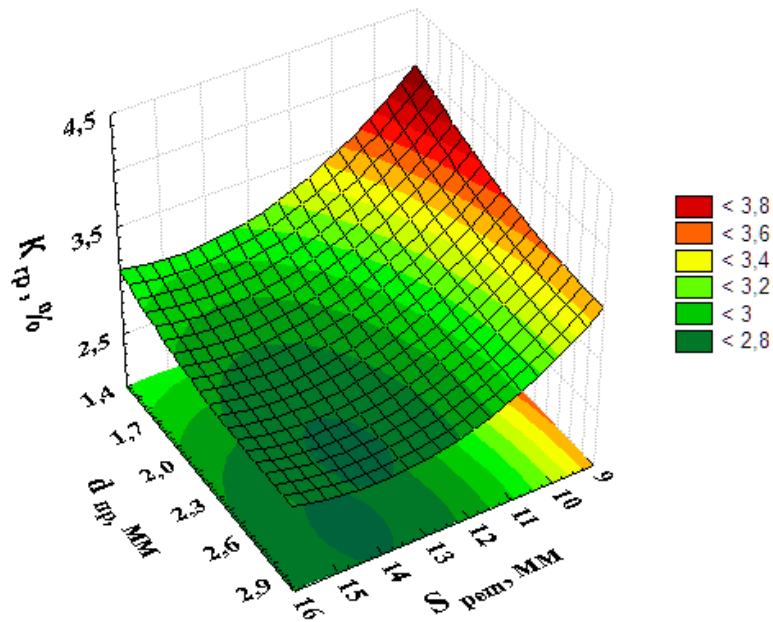


Рисунок 4.15 – Зависимость крошимости гранул перги от толщины прутка и размера стороны квадратных отверстий решетки.

Анализ зависимости показал, что с увеличением толщины прутка, из которого изготавливалась решетка и размера стороны квадратных отверстий решетки крошимость снижается. Это связано с тем, что живое сечение квадратных отверстий решетки позволяет гранулам свободно через них проходить. Однако при увеличении размеров квадратных отверстий решетки вместе с гранулами перги начинают проходить и крупные куски средостения, что приводит к снижению качества получаемого готового продукта. Наименьшая крошимость гранул перги составляет 2,7% при размере стороны квадратных отверстий решетки равным 14 мм (0,014 м) и толщиной прутка 2,7 мм (0,0027 м). Также можно отметить, что при данных параметрах гранулы перги беспрепятственно целиком проходят через решетку, а крупные куски средостения разрушаются.

Очень важную роль на качество готового продукта играет количество воска на гранулах перги. В процессе измельчения на данный параметр значительное влияние оказывает как размер стороны квадратных отверстий решетки, так и толщина прутка, из которого она сделана.

Во время эксперимента частота вращения вала, количество и диаметр штифтов оставались постоянными и их значения были приняты такими же, как и

при определении крошимости. А фактором оптимизации выступало количество воска на перговых гранулах.

Уровни варьирования факторов указаны в таблице 4.1. Числовые значения результатов, которые были получены, приведены в приложении Ж.

В результате в процессе статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости количества воска на гранулах перги  $K_{\text{воск}}$  от толщины прутка  $d_{\text{пр}}$  и размера стороны квадратных отверстий решетки  $S_{\text{реш}}$

$$K_{\text{воск}} = 10,3595 + 0,2299 \cdot S_{\text{реш}} - 9,1097 \cdot d_{\text{пр}} + 0,0198 \cdot S_{\text{реш}}^2 - 0,2073 \cdot S_{\text{реш}} \cdot d_{\text{пр}} + 2,2199 \cdot d_{\text{пр}}^2, \quad (4.7)$$

Статистический анализ данного уравнения дал понять, что полученное уравнение в достаточной мере точно описывает зависимость, которая исследуется. После проведения анализа можно отметить, что модель адекватно отображает исследуемый процесс, а значит, она пригодна для практического использования.

По результатам исследований построена зависимость количества воска на гранулах перги от толщины прутка и размера стороны квадратных отверстий решетки (рис. 4.16).

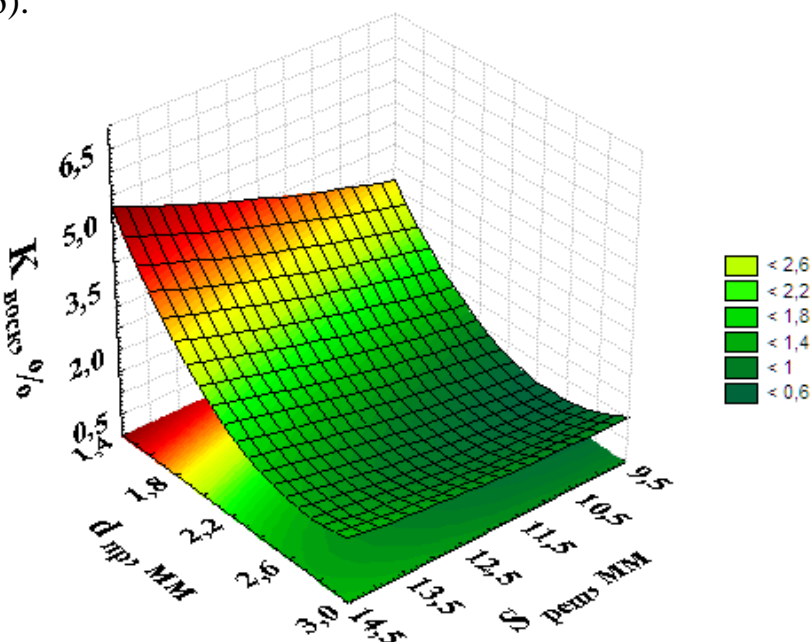


Рисунок 4.16 – Зависимость количества воска на гранулах перги от толщины прутка и размера стороны квадратных отверстий решетки.

При анализе полученной зависимости (рис. 4.16) можно сказать, что с увеличением диаметра прутка и с уменьшением размера стороны квадратных отверстий решетки количество воска на гранулах перги снижается. Но наименьшее количество воска на гранулах перги наблюдается при диаметре прутка равном 2,7 мм. При данном диаметре прутка и размере стороны квадратных отверстий решетки от 10 мм до 14 мм (от 0,010 м до 0,014 м) количество воска на гранулах перги увеличивается с 0,6% до 1,2%.

Исходя из анализа зависимостей, которые изображены на рисунках 4.15 и 4.16, можно отметить, что наиболее рациональной для использования является решетка с размером стороны квадратных отверстий 14 мм и толщиной прутка 2,7 мм.

В третьем разделе было определено, что расстояние между прутками решетки находится в пределах от 0,011 до 0,015 м, а в лабораторных исследованиях значения этого параметра брались, исходя из теоретических исследований. Поэтому в лабораторных опытах размер стороны квадратных отверстий решетки находился в пределах от 8 мм до 16 мм. По результатам данных опытов было определено, что при частоте вращения вала измельчителя  $1500 \text{ мин}^{-1}$  наиболее рациональным размером стороны квадратных отверстий решетки является значение 14 мм, а при данной частоте вращения в теоретических исследованиях расстояние между прутками составило 0,01456 м (14,56 мм). Разница между данными значениями не превышает 5%, что косвенно подтверждает результаты проведенных теоретических исследований.

На процесс измельчения гранул перги большое влияние оказывает как частота вращения вала измельчителя, что было отмечено ранее, так и площадь выгрузного окна решетки. И для того, чтобы выявить рациональное значение этих двух факторов нужно знать их совместное влияние на крошимость гранул перги.

Во время опыта размер ячейки и толщина решетки, количество и диаметр штифтов в течение опыта оставались постоянными. А в качестве фактора оптимизация была выбрана крошимость гранул перги. Влажность перги

составляла 14,1 %, размер стороны ячейки решетки  $S_{\text{реш}}=14$  мм, а толщина прутка ( $d_{\text{пр}}$ ), из которого сделана решетка, равна 2,7 мм, количество штифтов составляло  $N=4$  штуки, а их диаметр  $d=15$  мм.

Уровни варьирования факторов указаны в таблице 4.2.

В результате в процессе статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости крошимости гранулах перги  $K_{\text{гр}}$  от частоты вращения вала измельчителя  $n_{\text{изм}}$  и площади выгрузного окна решетки  $S$

$$K_{\text{гр}} = 4,3739 - 0,0009 \cdot n_{\text{изм}} - 0,0597 \cdot S + 2,5867 \cdot 10^{-6} \cdot n_{\text{изм}}^2 - 7,963 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\text{изм}} \cdot S + 0,0013 \cdot S^2, \quad (4.8)$$

Статистический анализ данного уравнения дал понять, что полученное уравнение в достаточной мере точно описывает зависимость, которая исследуется. После проведения анализа можно отметить, что модель адекватно отображает исследуемый процесс, а значит, она пригодна для практического использования.

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул перги от толщины прутка и площади выгрузного окна решетки представлены на рисунке 4.17.

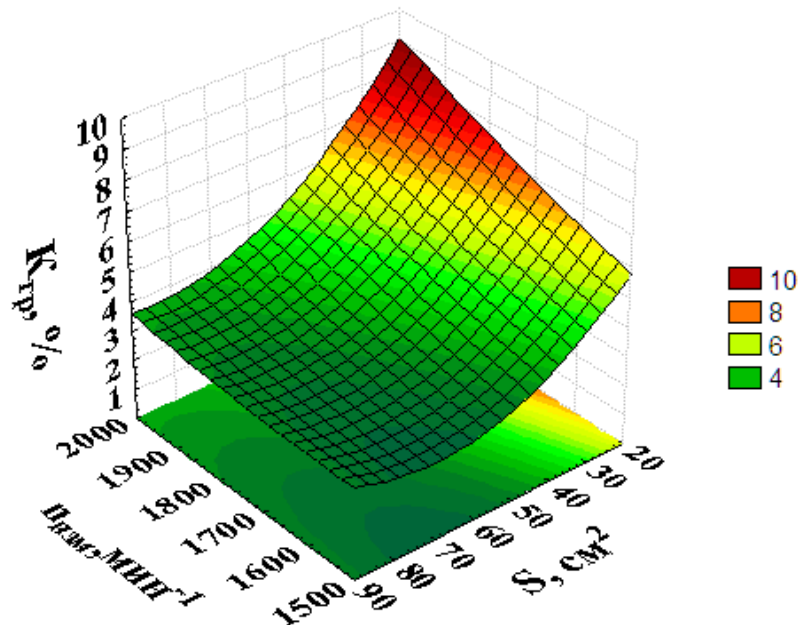


Рисунок 4.17 – Зависимость крошимости гранул перги от частоты вращения вала измельчителя и размера выгрузного окна решетки.

Из полученной зависимости видно, что крошимость гранул перги уменьшается при уменьшении частоты вращения вала измельчителя и при увеличении выгрузного окна. В большей степени это связано с тем, что при небольших оборотах повторных ударов штифтов по гранулам перги меньше, а при большем размере выгрузного окна нахождение гранул перги в камере измельчения меньше. Рациональными параметрами измельчителя является площадь выгрузного окна  $70 \text{ см}^2$  при частоте вращения вала  $1500 \text{ мин}^{-1}$  и производительности  $8,8 \text{ кг перги/ч}$ , при данных параметрах крошимость гранул перги составила  $2,7\%$ . Однако площадь выгрузного окна может меняться в зависимости от высоты камеры измельчения и производительности измельчителя.

Частота вращения вала измельчителя и площадь выгрузного окна решетки – эти два фактора оказывают значительное влияние и на количество воска на гранулах перги. В связи с чем необходимо выявить рациональное значение этих факторов и их совместное влияние на количество воска на гранулах перги.

Во время опыта размер ячейки и толщина решетки, количество и диаметр штифтов в течение опыта оставались постоянными. А фактором оптимизации являлось количество воска на гранулах перги. Влажность перги составляла  $14,1\%$ , размер стороны ячейки решетки  $S_{\text{реш}}=14 \text{ мм}$ , а толщина прутка ( $d_{\text{пр}}$ ), из которого сделана решетка, равна  $2,7 \text{ мм}$ , количество штифтов составляло  $N=4$  штуки, а их диаметр  $d=15 \text{ мм}$ .

Уровни варьирования факторов указаны в таблице 4.2.

В результате в процессе статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости количества воска на гранулах перги  $K_{\text{воск}}$  от частоты вращения вала измельчителя  $n_{\text{изм}}$  и площади выгрузного окна решетки  $S$

$$K_{\text{воск}} = 6,0822 - 0,0032 \cdot n_{\text{изм}} - 0,014 \cdot S + 6,6667 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{изм}}^2 + 8,1481 \cdot 10^{-6} \cdot n_{\text{изм}} \cdot S + 5,7156 \cdot 10^{-5} \cdot S^2, \quad (4.9)$$

Статистический анализ данного уравнения дал понять, что полученное уравнение в достаточной мере точно описывает зависимость, которая исследуется. После проведения анализа можно отметить, что модель адекватно



отображает исследуемый процесс, а значит, она пригодна для практического использования.

Результаты эксперимента по определению количества воска на гранулах перги от толщины прутка и площади выгрузного окна решетки представлены на рисунке 4.18.

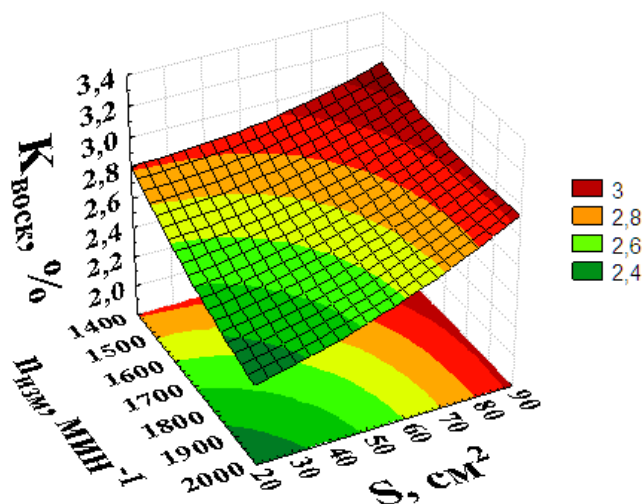


Рисунок 4.18 – Зависимость количества воска на гранулах перги от толщины прутка и площади выгрузного окна решетки.

Анализ зависимости, которая представлена на рисунке 4.18 показал, что при увеличении частоты вращения ротора и уменьшении выгрузного окна, количество воска снижается, так как гранулы перги при более длительном нахождении в камере измельчения подвержены более продолжительному воздействию измельчающего органа, что способствует лучшему очищению перги от восковой основы сота, но при этом может привести и к переизмельчению материала. Таким образом из полученной зависимости видно, что с уменьшением площади выгрузного окна от 90 до 20 см<sup>2</sup> и увеличением частоты вращения от 1400 до 2000 мин<sup>-1</sup> количество воска на гранулах перги снижается с 3,1% до 2,4 %.

Так как полученное количество воска на гранулах перги при выбранных параметрах опыта не превышает даже 4%, то можно выбрать те же значения размера выгрузного окна и частоты вращения вала измельчителя, что и ранее, а именно 70 см<sup>2</sup> и 1500 мин<sup>-1</sup> соответственно. Однако следует заметить, что площадь выгрузного окна может меняться в зависимости от высоты камеры измельчения и производительности измельчителя.

### 4.3.5 Результаты исследований гранулометрического состава гранул перги и воскового сырья

Результаты исследования гранулометрического состава перги и воскового сырья представлены на рисунках 4.19 и 4.20 соответственно в виде круговых диаграмм [63, 65].

Проанализировав диаграмму распределения гранул перги по фракциям (рис. 4.19) можно сказать, что более 75% массы перги соответствует фракциям со средним размером частиц 5,5; 6,5 и 7,5 мм [65].

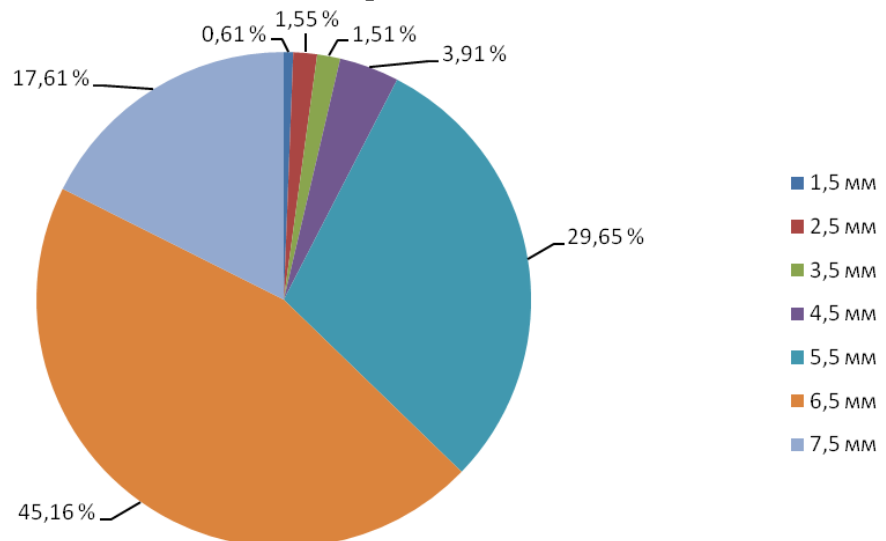


Рисунок 4.19 – Распределение гранул перги по фракциям со средним размером частиц.

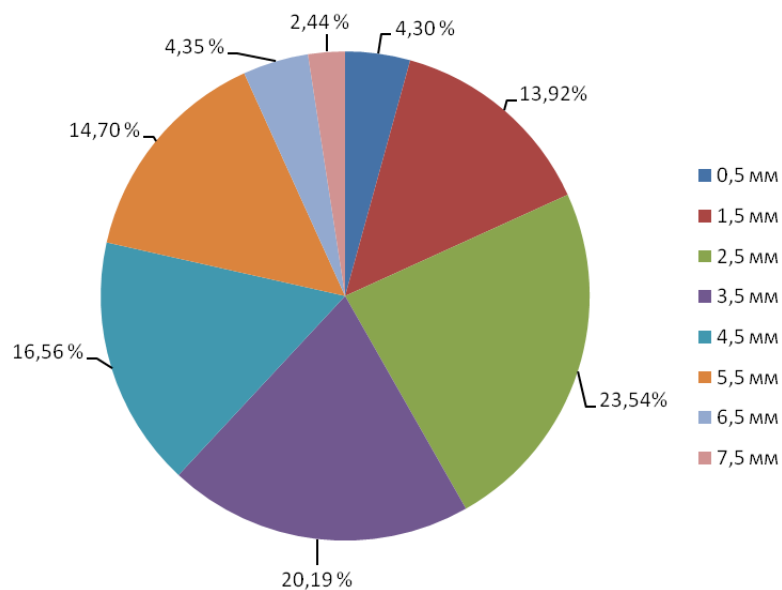


Рисунок 4.20 – Распределение воскового сырья по фракциям со средним размером частиц.

Анализ диаграммы распределения воскового сырья по фракциям (рис. 4.20) показал, что более 60% массы воскового сырья соответствуют фракции со средним размером частиц 2,5; 3,5 и 4,5 мм.

#### 4.3.6 Результаты исследований аэродинамических свойств (скорость витания) гранул перги и воскового сырья

По результатам проведенных опытов были получены зависимости, представленные на рисунке 4.21 для воска и рисунке 4.22 для перги [65].

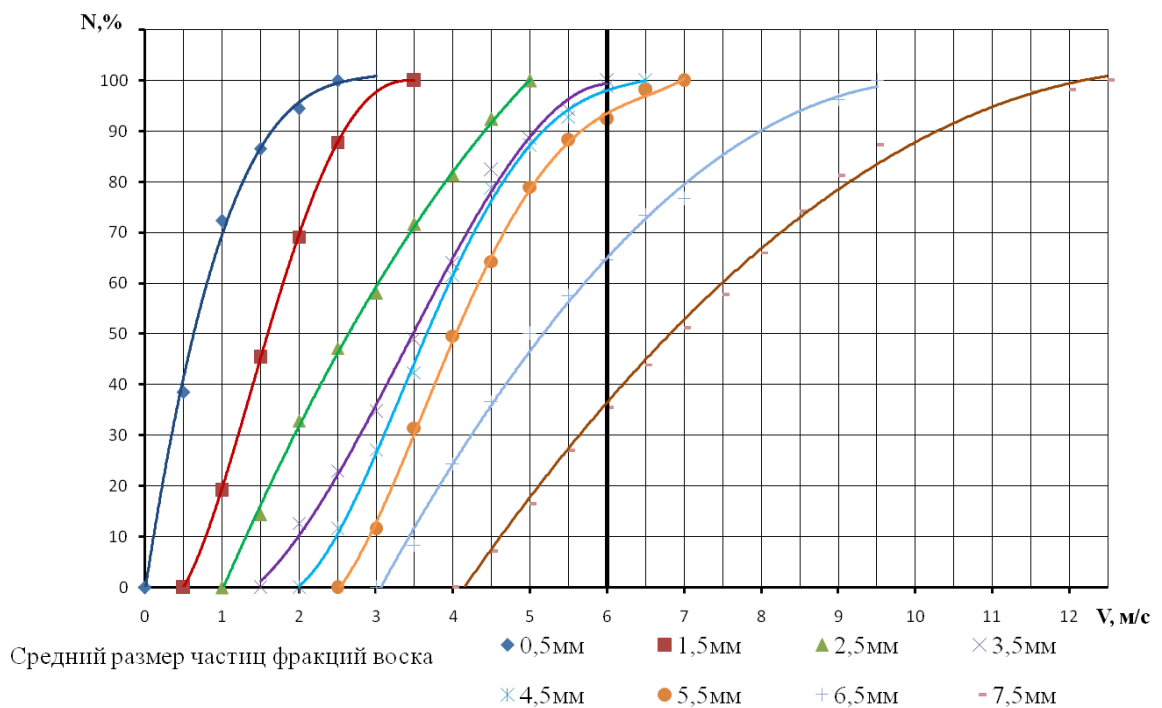


Рисунок 4.21 – Зависимость процента уносимых частиц воскового сырья фракций от скорости воздушного потока.

Из зависимости (рис. 4.21) видно, что полученные кривые для фракций со средним размером частиц 3,5, 4,5 и 5,5 мм практически совпадают, это связано с тем, что частицы хоть и разного размера, но очень близки по весу, так как они представляют собой разрушенную сотовую структуру, с частицами различной формы и толщины. Фракции со средним размером частиц 6,5 и 7,5 мм в большей степени представляют крупные средостения сота, поэтому для того, чтобы данные частицы улетели, требуется большая скорость воздушного потока.

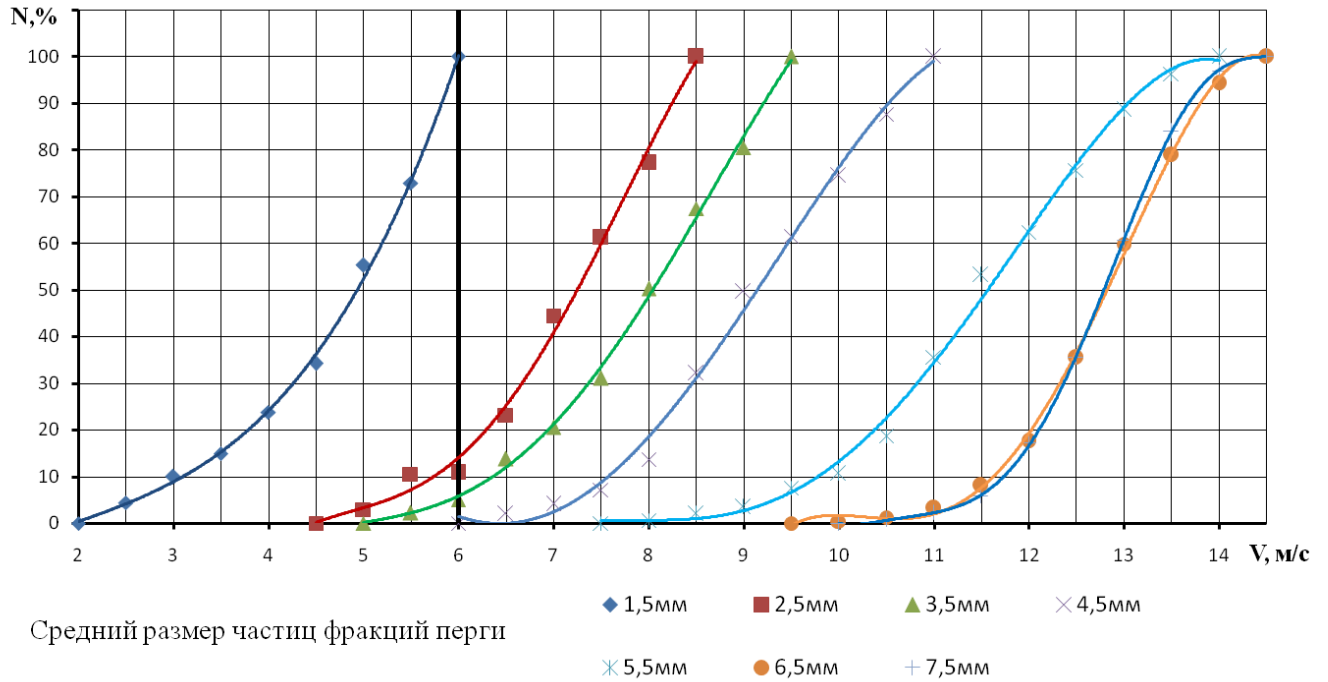


Рисунок 4.22 – Зависимость процента уносимых частиц перги от скорости воздушного потока.

Из зависимости, представленной на рисунке 4.22, видно, что большинство фракций равномерно распределено по скорости воздушного потока, лишь фракции со средним размером частиц 6,5 и 7,5 мм практически совпадают.

Проведя общий анализ всех полученных зависимостей, можно сделать вывод, что разделение воскоперговой массы на восковое сырье и гранулы перги необходимо начинать при скорости воздушного потока 6 м/с. При данной скорости 95% воскового сырья улетает, а в перге остается лишь 5% восковых частиц, со средним размером 4,5; 5,5; 6,5 и 7,5 мм. Из них фракция со средним размером частиц 4,5 мм составляет 3,5%, 5,5 мм – 30,9%, 6,5 мм – 32%, а 7,5 мм – 33,6%. Гранул перги при этой же скорости воздушного потока остается практически 97,4%. Уносятся лишь мелкие частицы фракций 1,5, 2,5 и 3,5 мм, которые в большинстве случаев представляют развалившиеся части гранул перги [65].

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при частоте вращения ротора  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и соответственно окружной скорости штифта  $10,47 \text{ м/с}$  разрушается примерно 30% куска пергового сота. При  $1250 \text{ мин}^{-1}$  вала и окружной скорости штифта  $13,08 \text{ м/с}$  – примерно 50%. При последующем увеличении частоты вращения вала осуществлялось практически линейное уменьшение массового выхода неразрушенных кусков пчелиного сота с пергой.

2. Установлено, что рекомендуемый режим работы измельчителя составляет  $1500 \text{ мин}^{-1}$  при использовании штифтов диаметром 15 мм. При данных параметрах крошимость гранул перги составляет 4,9%, а средняя длина гранул перги – 8,5 мм. При увеличении количества штифтов с 2 до 8 увеличивается крошимость гранул перги с 2,95% до 4,91%, а количество воска на гранулах перги уменьшается с 4,04% до 3,81%. Установлено, что количество штифтов следует выбрать, исходя из производительности измельчителя и объема его рабочей камеры.

3. Установлено, что рациональной для использования является решетка с размером стороны квадратных отверстий 14 мм и толщиной прутка 2,7 мм. При данных параметрах крошимость гранул перги составляет 2,7%, а количество воска на них 1,2%. При площади выгрузного окна измельчителя  $70 \text{ см}^2$  и частоте вращения вала ротора  $1500 \text{ мин}^{-1}$  производительность составляет 8,8 кг перги/час, крошимость гранул перги – 2,7%, количество воска на гранулах перги – 2,9%.

4. Более 75% массы перги соответствует фракциям со средним размером частиц 5,5; 6,5 и 7,5 мм и более 60% массы воскового сырья соответствуют фракции со средним размером частиц 2,5; 3,5 и 4,5 мм.

5. Разделение воскоперговой массы на восковое сырье и гранулы перги необходимо начинать при скорости воздушного потока 6 м/с. При данной скорости 95% воскового сырья улетает, а в перге остается лишь 5% восковых частиц, со средним размером 4,5; 5,5; 6,5 и 7,5 мм. Гранул перги при этой же скорости воздушного потока остается практически 97,4 %. Уносятся лишь мелкие

частицы фракций 1,5, 2,5 и 3,5 мм, которые в большинстве случаев представляют развалившиеся части гранул перги.

## **5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ**

### **5.1 Экспериментальные исследования измельчителя перговых сотов**

На основе теоретических и лабораторных исследований были выявлены рациональные конструктивно-технологические параметры измельчителя перговых сотов, одними из которых являются количество штифтов и их диаметр, частота вращения вала измельчителя, диаметр ячеек решетки и толщина прутка, из которого изготовлены данные решетки. Однако остаются не определенными производительность измельчителя и удельные энергозатраты процесса извлечения. Также остается не изученным влияние времени охлаждения перговых сотов перед измельчением при разной температуре окружающей среды на крошимость перговых гранул.

В связи с этим целью экспериментальных исследований является:

- определение производительности и удельных энергозатрат измельчителя перговых сотов;
- определение зависимости крошимость перговых гранул от температуры материала перед измельчением при разной температуре окружающей среды.

Для проведения экспериментальных исследований в ООО Агротехнопарк «АВИК» был изготовлен экспериментальный образец измельчителя перговых сотов, выполненный согласно схеме, отраженной на рисунке 3.1. Общий вид данного измельчителя представлен на рисунке 5.1.

Он состоит из рабочей камеры 1 с загрузочным бункером 2, внутри которого расположена автоматически закрываемая заслонка 3, штифтового вала 4, решетки 5 и электродвигателя 6. К боковой поверхности рабочей камеры 1 присоединена приставка 7, выполняющая функцию выгрузного канала измельченной воскоперговой массы. На внешней стороне приставки прикреплен патрубок 8 с заслонкой 9 для присоединения внешней пневматической системы

10. Таким образом, патрубок 8 с заслонкой 9 выполняют функцию аспирационного канала. Под нижней частью приставки 7 расположена приемная емкость 11 [61, 66, 79].

Работает он следующим образом. Заранее подготовленные куски перговых сотов с пергой при включенном электродвигателе 6 подают в загрузочный бункер 2. При нажатии куском сота на заслонку 3 он проваливается в рабочую камеру 1, и заслонка автоматически возвращается в исходное положение, что предохраняет и защищает оператора от возможного выброса измельчаемого продукта. Измельченная до отдельных гранул перги воскоперговая масса через решетку 5 попадает в приставку 7. Так как патрубок 8 с заслонкой 9, расположенные над приставкой 7, выполняют функцию аспирационного канала, то под действием воздушного потока, создаваемого внешней пневматической системой 10, происходит разделение воскоперговой массы, при котором легкие частицы воскового сырья уносятся в приемную камеру пневмосистемы 10, а более тяжелые гранулы перги поступают в приемную емкость 11. Поворотом заслонки 9 аспирационного канала можно регулировать скорость воздушного потока.

Внешней пневматической системой может служить обычный бытовой пылесос.

Для определения расхода электроэнергии использовался трехфазный статический счетчик электрической энергии «Меркурий 230».

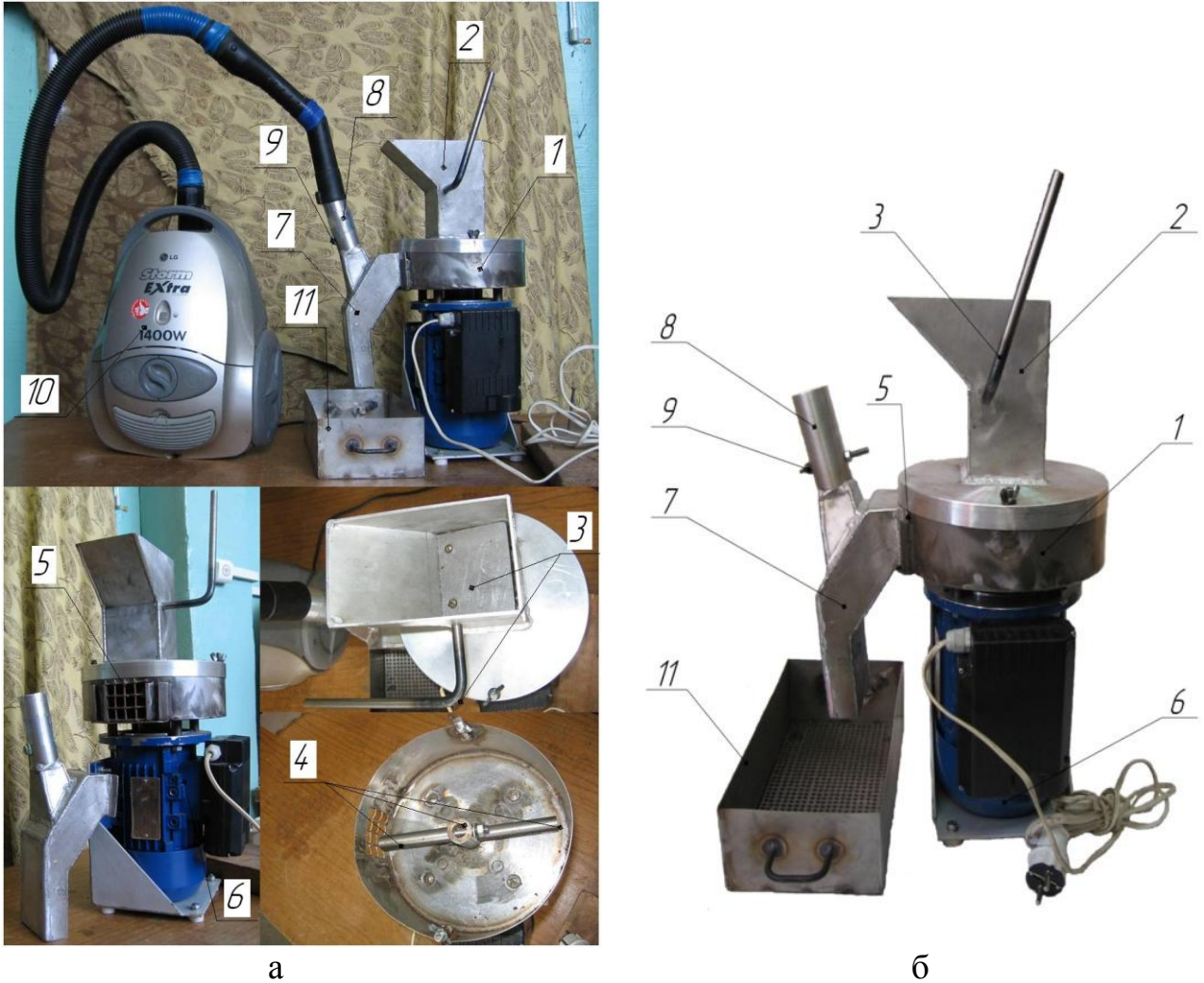
Удельные энергозатраты измельчителя перговых сотов  $\mathcal{E}_{уд}$  (кВт-ч/кг) определялись по формуле

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{\mathcal{E}}{m}, \quad (5.1)$$

где  $\mathcal{E}$  – расход электроэнергии, кВт-ч;

$m$  – количество извлеченной (полученной) перги, кг.





1 – рабочая камера; 2 – загрузочный бункер; 3 – заслонка; 4 – штифтовый вал; 5 – решетка; 6 – электродвигатель; 7 – приставка; 8 – патрубок; 9 – заслонка; 10 – внешняя пневматическая система; 11 – приемная емкость.

Рисунок 5.1 – Общий вид экспериментальной установки (а) и измельчителя перговых сотов (б).

Производительность  $Q$  (кг/ч) измельчителя перговых сотов определялись по формуле

$$Q = \frac{m}{t}, \quad (5.2)$$

где  $t$ - время, за которое было извлечено  $m$  кг перги, ч.

Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Результаты указаны в приложении И.

Чтобы определить крошимость перговых гранул от температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при разной температуре окружающей среды брались примерно одинаковые куски перговых сотов (100 г.) с влажностью 14,7%, которые охлаждались при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ . Затем после определенного времени охлаждения куски сотов помещались в измельчитель. На выходе из измельчителя полученную пергу взвешивали на технических весах ВЛКТ-500, а затем с помощью решетчатого классификатора разделяли на фракции. За крошку принимали частицы, которые отсеивались на сите с диаметром отверстий 3 мм, так как они представляют собой разрушенные слои перговых гранул. Затем полученную перговую крошку взвешивали на весах ВЛКТ-500 и по формуле (4.2) рассчитывали процентное содержание крошки в полученной перге. Опыт проводился с трехкратной повторностью.

## 5.2 Результаты исследований

В ООО Агротехнопарк «АВИК» были проведены экспериментальные исследования измельчителя перговых сотов, в результате которых были определены его производительность и удельные энергозатраты.

Проведенные исследования показали, что использование этого измельчителя позволяет получить высокие показатели выхода перги.

Характеристики измельчителя представлены в таблице 5.1.

За время исследований было переработано более 200 перговых сотов, которые были получены от пчеловодческих хозяйств Кораблинского, Рыбновского и Старожиловского р-нов Рязанской области.

При извлечении перги в качестве внешней пневматической системы был использован бытовой пылесос марки LG V-C3044RD. В процессе извлечения были получены следующие результаты: производительность 16 сот в час (6,5 кг перги/ч), количество извлеченной перги из перговых 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 исследований подтвердилась работоспособность данного измельчителя, отказов и поломок не наблюдалось (приложение К).

Таблица 5.1 – Техническая характеристика измельчителя перговых сотов.

Показатели	Значение
Диаметр камеры измельчения, мм	200
Диаметр штифта, мм	15
Количество штифтов, шт	2
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1500
Размер выгрузного окна, см <sup>2</sup>	27
Размер ячейки решетки выгрузного окна, мм	14
Диаметр прутка решетки, мм	2,7
Мощность электродвигателя, кВт	0,25
Производительность, кг/ч	6,5
Удельные энергозатраты, кВт-ч/кг	0,0385
Габаритные размеры, мм	
высота	500
ширина	200
длина	370
Масса, кг	10,5

### **5.3 Результаты исследования температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при разной температуре окружающей среды на крошимость перговых гранул**

Согласно технологии извлечения перги перед измельчением перговые соты подвергают охлаждению, в связи с этим нами были проведены опыты для

определения влияния температуры окружающей среды и температуры охлаждения перговых сотов на крошимость гранул перги.

Результаты данных исследований представлены на рисунке 5.2.

Анализ зависимости показал, что при снижении температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при всех значениях температуры окружающей среды ( $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ) их крошимость снижается. Это происходит из-за перехода влаги из жидкого состояния в твердое, что приводит к увеличению прочности перговых гранул.

Так как крошимость гранул перги не должна превышать 5%, то получается, что при всех значениях температуры окружающей среды ( $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ) температура охлаждения перговых сотов должна быть не выше  $9^{\circ}\text{C}$ .

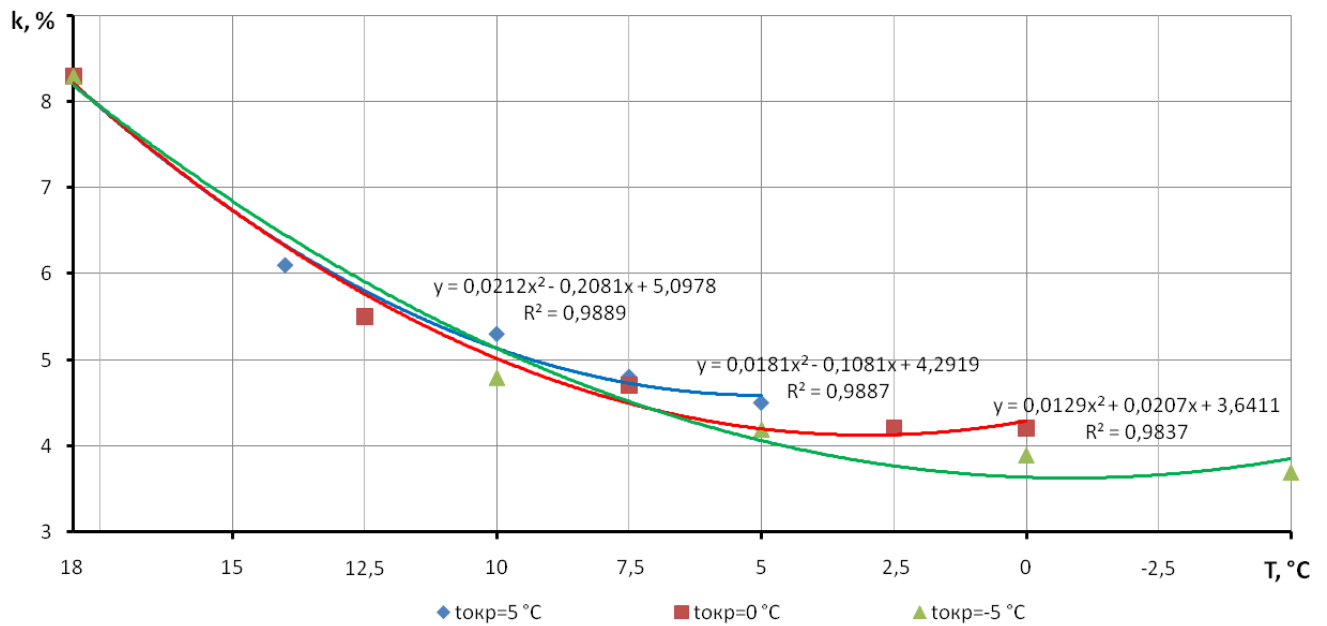


Рисунок 5.2 – Зависимость крошимости перговых гранул от температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при разной температуре окружающей среды.

Также предложенный измельчитель перговых сотов, входящий в комплект оборудования для получения перги из пчелиных сотов, прошел исследования на пасеке КФХ (Крестьянское (фермерское) хозяйство) «Богдановская пасека» Старожиловского р-на Рязанской области (приложение Л).

При извлечении его производительность составила 6,1 кг перги в час, количество извлеченной перги из перговых 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.

При эксплуатации оборудования было переработано 107 сотов. Было получено 34,6 кг перги. Потеря перги при отделении в данном измельчителе с применением внешней пневматической системы составила 1,7% от общего количества перги. Отказов и поломок оборудования за период проведения исследований не наблюдалось.

#### 5.4 Экономический эффект применения измельчителя перговых сотов

Согласно методике, описанной в соответствующих работах [17, 20, 53, 54, 55, 116], а также по результатам исследований, рекомендуемых справочных нормативов и литературных данных был произведен расчет экономического эффекта применения измельчителя перговых сотов.

Основные данные для расчета технико-экономических показателей отражены в таблице 5.2.

Годовой объем перерабатываемых перговых сотов определялся для среднестатистической пасеки в тридцать пчелосемей. Годовой объем  $A_{\text{год}}$  перерабатываемых перговых сотов в этом случае определялся по формуле

$$A_{\text{год}} = n_{\text{пч.сем.}} \cdot q_{\text{пер.сот.}} \quad (5.3)$$

где  $A_{\text{год}}$  – годовой объем перерабатываемых перговых сотов, шт;

$n_{\text{пч.сем.}}$  – количество пчелосемей, шт;

$q_{\text{пер.сот.}}$  – количество пчелиных сотов с пергой, которое можно взять от одной пчелосемьи, шт.

Известно, что от одной пчелосемьи без вреда можно отобрать 1-4 пчелиных сота с пергой. Для расчета примем данное значение равным 2 пчелиным сотам [80].

Таблица 5.2 – Основные данные для расчета технико-экономических показателей.

№	Название показателей	Единицы измерения	Измельчители перговых сотов	
			АИП-50	Предлагаемый измельчитель
1	Балансовая стоимость	руб	160000	18000
2	Производительность	кг/ч	16	6,5
3	Мощность	кВт	1,65	0,25
4	Количество обслуживающего персонала	чел	1	1
5	Удельные затраты электроэнергии	кВт-ч/кг	0,1031	0,0385
6	Цена реализации 1 кг перги	руб	2000	2000
7	Часовая тарифная ставка	руб	150	150
8	Доплата за продукцию	%	25	25
9	Отчисления на социальные нужды	%	40	40
10	Амортизационные отчисления	%	11,1	11,1
11	Отчисления на ТО, ремонт и хранение	%	7	7
12	Коэффициент использования рабочего времени	-	0,9	0,9
13	Цена одного кВт-ч	руб	4,03	4,03

Таким образом, годовой объем перерабатываемых перговых сотов составит

$$A_{\text{год}} = 30 \cdot 2 = 60 \text{ шт}$$

Для определения количество получаемой перги в год воспользуемся формулой

$$Q_{\text{пер.год.}} = A_{\text{год}} \cdot m_{\text{ср.пер.}} \quad (5.4)$$

где  $m_{\text{ср.пер.}}$  – средняя масса перги в соте, кг.

Количество получаемой перги при использовании АИП-50 составит

$$Q_{\text{пер.год.}}^{\text{АИП-50}} = 60 \cdot 0,315 = 18,9 \text{ кг}$$

при использовании предлагаемого измельчителя

$$Q_{\text{пер.год.}}^{\text{п.и.}} = 60 \cdot 0,315 = 18,9 \text{ кг}$$

Удельные затраты труда на процесс извлечения перги определяются по формуле

$$T_{\text{уд}} = \frac{T_{\text{г}}}{Q_{\text{пер.год}}}, \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{уд}}$  – удельные затраты труда на процесс извлечения перги, чел-ч/кг;

$T_{\text{г}}$  – годовые затраты труда, чел-ч.

Годовые затраты труда  $T_{\text{г}}$  (чел-ч) на процесс извлечения перги определяется по формуле

$$T_{\text{г}} = n \cdot z \cdot D \cdot K_{\text{см}}, \quad (5.6)$$

где  $n$  – количество обслуживающего персонала, чел.;

$z$  – число смен;

$D$  – количество рабочих часов, ч;

$K_{\text{см}}$  – коэффициент использования рабочего времени.

$$D = \frac{Q_{\text{пер.год.}}}{q_{\text{агр}}}, \quad (5.7)$$

где  $q_{\text{агр}}$  – производительность измельчителя, кг/ч.

Для АИП-50 количество рабочих часов составит

$$D^{\text{АИП-50}} = \frac{18,9}{16} = 1,18 \text{ ч}$$

Для предлагаемого измельчителя количество рабочих часов составит

$$D^{\text{п.и.}} = \frac{18,9}{6,5} = 2,91 \text{ ч}$$

Годовые затраты труда на процесс извлечения перги с использованием АИП-50

$$T_{\text{г}}^{\text{АИП-50}} = 1 \cdot 1 \cdot 1,18 \cdot 0,9 = 1,06 \text{ чел} - \text{ч}$$

Годовые затраты труда на процесс извлечения перги с использованием предлагаемого измельчителя

$$T_{\text{г}}^{\text{п.и.}} = 1 \cdot 1 \cdot 2,91 \cdot 0,9 = 2,62 \text{ чел} - \text{ч}$$

Удельные затраты труда на процесс извлечения перги с использованием АИП-50

$$T_{уд}^{АИП-50} = \frac{1,06}{18,9} = 0,056 \text{ чел} - \text{ч/кг}$$

Удельные затраты труда на процесс извлечения перги с использованием предлагаемого измельчителя

$$T_{уд}^{п.и.} = \frac{2,62}{18,9} = 0,139 \text{ чел} - \text{ч/кг}$$

Стоимость полученной продукции в ценах реализации

$$Ц_{прод} = Q_{пер.год.} \cdot (C_p - C_{п}), \quad (5.8)$$

где  $C_p$  – цена реализации одного килограмма перги, руб/кг;

$C_{п}$  – себестоимость перги, руб/кг.

$$C_{п} = \frac{C_c}{m_{ср.пер.}}, \quad (5.9)$$

где  $C_c$  – рыночная стоимость одного пчелиного сота с пергой, руб.

$$C_{п} = \frac{150}{0,315} = 476,2 \text{ руб/кг.}$$

Стоимость полученной продукции при использовании АИП-50

$$Ц_{прод}^{АИП-50} = 18,9 \cdot (2000 - 476,2) = 28799,82 \text{ руб.}$$

Стоимость полученной продукции при использовании предлагаемого измельчителя

$$Ц_{прод}^{п.и.} = 18,9 \cdot (2000 - 476,2) = 28799,82 \text{ руб.}$$

Прямые затраты при использовании измельчителя перговых сотов определяются по формуле [17]

$$C_{пр} = Z + Z_{э} + Z_A + Z_{ТОРХ}, \quad (5.10)$$

где  $C_{пр}$  - прямые затраты на извлечение перги, руб;

$Z$  – затраты на оплату труда, руб;

$Z_{э}$  - затраты на электроэнергию, руб;

$Z_A$  - отчисления на амортизацию, руб;

$Z_{ТОРХ}$  - отчисления на ТО, ремонт и хранение, руб.

Затраты на оплату труда определяются по формуле [17]

$$Z = Ч_c \cdot T_r \cdot (1 + 0,01 \cdot P_d) \cdot (1 + 0,01 \cdot C_o), \quad (5.11)$$



где  $Ч_c$  – часовая тарифная ставка, руб/ч;

$P_d$  – размер доплат за продукцию, %;

$C_o$  – норма отчислений на социальные нужды, %.

Затраты на оплату труда при использовании АИП-50

$$Z_{\text{АИП-50}} = 150 \cdot 1,06 \cdot (1 + 0,01 \cdot 25) \cdot (1 + 0,01 \cdot 40) = 278,25 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда при использовании предлагаемого измельчителя

$$Z_{\text{п.и.}} = 150 \cdot 2,62 \cdot (1 + 0,01 \cdot 25) \cdot (1 + 0,01 \cdot 40) = 687,75 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию при использовании АИП-50, которые исходят из удельных затрат энергии, определяются

$$Z_{\text{Э}} = Z_{\text{ЭУД}} \cdot Q_{\text{пер.год}} \cdot Ц_{\text{Э}}, \quad (5.12)$$

где  $Z_{\text{ЭУД}}$  – удельные затраты энергии на извлечение 1 кг перги, кВт·ч/кг;

$Ц_{\text{Э}}$  – стоимость одного кВт·ч, руб.

$$Z_{\text{Э}}^{\text{АИП-50}} = 0,1031 \cdot 18,9 \cdot 4,03 = 7,85 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию при использовании предлагаемого измельчителя, которые исходят из удельных затрат энергии, определяются

$$Z_{\text{Э}} = (Z_{\text{изм}} + Z_{\text{впс}}) \cdot Q_{\text{пер.год}} \cdot Ц_{\text{Э}}, \quad (5.13)$$

где  $Z_{\text{изм}}$  – удельные затраты энергии измельчителя на извлечение 1 кг перги, кВт·ч/кг;

$Z_{\text{впс}}$  – удельные затраты энергии внешней пневматической системы на извлечение 1 кг перги, кВт·ч/кг;

$$Z_{\text{Э}}^{\text{п.и.}} = (0,0385 + 0,0492) \cdot 18,9 \cdot 4,03 = 6,68 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле

$$Z_{\text{А}} = B_c \cdot 0,01 \cdot K_{\text{А}}, \quad (5.14)$$

где  $B_c$  – балансовая стоимость машины, руб.;

$K_{\text{А}}$  – норма амортизационных отчислений, %.

Амортизационные отчисления при использовании АИП-50

$$Z_{\text{А}}^{\text{АИП-50}} = 160000 \cdot 0,01 \cdot 11,1 = 17760 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления при использовании предлагаемого измельчителя

$$З_A^{п.и.} = 18000 \cdot 0,01 \cdot 11,1 = 1998 \text{ руб.}$$

Затраты на ТО, ремонт и хранение определяются из выражения

$$З_{ТОРХ} = Б_c \cdot 0,01 \cdot К_{ТОРХ}, \quad (5.15)$$

где  $К_{ТОРХ}$  – норма отчислений на ТО, ремонт и хранение, руб.

Затраты на ТО, ремонт и хранение при использовании АИП-50

$$З_{ТОРХ}^{АИП-50} = 160000 \cdot 0,01 \cdot 7 = 11200 \text{ руб.}$$

Затраты на ТО, ремонт и хранение при использовании предлагаемого  
измельчителя

$$З_{ТОРХ}^{п.и.} = 18000 \cdot 0,01 \cdot 7 = 1260 \text{ руб.}$$

Прямые затраты при использовании АИП-50

$$С_{пр}^{АИП-50} = 278,25 + 7,85 + 17760 + 11200 = 29246,10 \text{ руб.}$$

Прямые затраты при использовании предлагаемого измельчителя

$$С_{пр}^{п.и.} = 687,75 + 6,68 + 1998 + 1260 = 3952,43 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль от реализации полученной продукции рассчитывается по формуле

$$П_{год} = Ц_{прод} - С_{пр}, \quad (5.16)$$

где  $П_{год}$  – годовая прибыль, руб.

Годовая прибыль при использовании АИП-50

$$П_{год}^{АИП-50} = 28799,82 - 29246,10 = -446,28 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль при использовании предлагаемого измельчителя

$$П_{год}^{п.и.} = 28799,82 - 3952,43 = 24847,39 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при сравнительной оценке предлагаемого  
измельчителя перговых сотов и АИП-50 находится по показателю прироста  
прибыли по формуле [57]

$$Э_{ПР} = \left( \frac{П_{год}^{п.и.}}{Q_{пер.год.}} - \frac{П_{год}^{АИП-50}}{Q_{пер.год.}} \right) \cdot Q_{пер.год.}, \quad (5.17)$$

где  $Э_{ПР}$  – годовой прирост прибыли, руб.

$$Э_{ПР} = 24847,39 - (-446,28) = 25293,67 \text{ руб.}$$

Коэффициент удельных энергозатрат – это отношение удельных затрат энергии при использовании предлагаемого измельчителя перговых сотов к удельным затратам энергии при использовании АИП-50

$$K_{\text{ЭУД}} = \frac{z_{\text{изм}} + z_{\text{впс}}}{z_{\text{АИП-50}}}, \quad (5.18)$$

$$K_{\text{ЭУД}} = \frac{0,0877}{0,1031} = 0,851$$

Снижение удельных затрат энергии на процесс извлечения перги определяются по формуле

$$И = (1 - K_{\text{ЭУД}}) \cdot 100\%, \quad (5.19)$$

$$И = (1 - 0,851) \cdot 100 = 14,9\%$$

Срок окупаемости определим по формуле

$$T_{\text{ОК}} = \frac{B_c}{C_{\text{прод}}}, \quad (5.20)$$

Срок окупаемости АИП-50

$$T_{\text{ОК}}^{\text{АИП-50}} = \frac{160000}{28799,82} = 5,55 \text{ года}$$

Срок окупаемости предлагаемого измельчителя

$$T_{\text{ОК}}^{\text{п.и.}} = \frac{18000}{28799,82} = 0,63 \text{ года}$$

Результаты расчета технико-экономических показателей отражены в таблице 5.3.

Проанализировав таблицу 5.3 можно сказать, что основные показатели предлагаемого измельчителя лучше, чем аналогичные показатели АИП-50. При переработке 60 пчелиных сотов с пергой годовой экономический эффект составил 25293,67 рублей, а срок окупаемости предлагаемого измельчителя составил 0,63 года.

Таблица 5.3 - Результаты расчета технико-экономических показателей.

№	Название показателей	Единицы измерения	Измельчители перговых сотов	
			АИП-50	Предлагаемый измельчитель
1	Затраты на оплату труда	руб.	278,25	687,75
2	Затраты на электроэнергию	руб.	7,85	6,68
3	Затраты на амортизационные отчисления	руб.	17760	1998
4	Затраты на ТО, ремонт и хранение	руб.	11200	1260
5	Прямые затраты	руб.	29246,10	3952,43
6	Коэффициент энергозатрат	-	-	0,851
7	Снижение затрат энергии на извлечение перги	%	-	14,9
8	Годовая прибыль от реализации произведенной продукции	руб.	- 446,28	24847,39
9	Годовой экономический эффект от внедрения новой установки	руб.	-	25293,67
10	Срок окупаемости	год	5,55	0,63

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные исследования измельчителя перговых сотов показали его работоспособность. Рациональным режимом работы данного измельчителя является: частота вращения вала  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , количество штифтов – 2 штуки, диаметр штифтов – 15 мм., размер выгрузного окна –  $27 \text{ см}^2$ , размер ячейки решетки выгрузного окна – 14 мм, размер диаметр прутка решетки – 2,7 мм.

2. Установлено, что при снижении температуры охлаждения перговых сотов перед измельчением при всех значениях температуры окружающей среды ( $-5^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $5^\circ\text{C}$ ) их крошимость снижается. Так как крошимость гранул перги не должна превышать 5%, то получается, что при всех значениях температуры окружающей среды ( $-5^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $5^\circ\text{C}$ ) температура охлаждения перговых сотов должна быть не выше  $9^\circ\text{C}$ .

3. В ходе экспериментальных исследований производительность измельчителя преговых сотов составила 6,5 кг/ч перги, удельная энергоемкость процесса 0,0385 кВт-ч/кг (с учетом затрат энергии на пневмосепарирование 0,0877 кВт-ч/кг). 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). Потеря перги при пневмосепарации составила 2,4% от общего ее количества.

4. При переработке 60 пчелиных сотов с пергой годовой экономический эффект составил 25293,67 рублей, а срок окупаемости предлагаемого измельчителя составил 0,63 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современных средств получения перги показывает, что среди существующих устройств, перспективными являются измельчители перговых сотов.

2. На основании уточнения физико-механических свойств гранул перги и воскового сырья установлено, что параметры измельчителя перговых сотов зависят от размерно-массовых характеристик гранул перги и коэффициента трения. Размерно-массовые характеристики: у 77,6% исследованных перговых гранул длина находится в пределах от 0,006 до 0,010 м, масса гранул перги увеличивается с 0,157 до 0,334 грамма с изменением длины гранул от 0,003 до 0,011 м. Коэффициент трения гранул перги находится в пределах от 0,4 до 0,5, а воскового сырья – от 0,52 до 0,92.

3. Теоретически установлено: радиус измельчителя 0,1 м; расстояния по высоте ротора между штифтами от 0,009 до 0,021 м и прутками решетки для прохождения гранулы перги от 0,011 до 0,015 м.

4. Экспериментально уточнено, что для рабочей камеры высотой 0,07 м количество штифтов диаметром 0,015 м должно быть два, сторона квадратных отверстий решетки 0,014 м с толщиной прутка 0,0027 м, а рекомендуемый режим работы измельчителя составляет  $1500 \text{ мин}^{-1}$ .

5. Экспериментально установлено, что производительность измельчителя перговых сотов 6,5 кг/ч, удельная энергоемкость процесса – 0,0385 кВт-ч/кг. Количество извлекаемой перги из сотов составило 98,2%, а количество восковых примесей в перге – 4,9%. Годовой экономический эффект составил 25293 рублей, а срок окупаемости предлагаемого измельчителя – 0,63 года.

### **Рекомендации производству:**

Применение измельчителя позволит пчеловодам с небольшим количеством пчелосемей получать пергу из пчелиных сотов, а не отправлять соты с пергой на перетопку, тем самым безвозвратно теряя этот продукт.

Полученные результаты могут быть использованы предприятиями, занимающимися созданием и реализацией оборудования для отрасли пчеловодства.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы:**

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении совершенствования процесса извлечения перги, а также измельчителя перговых сотов, с целью снижения себестоимости его производства и повышения эффективности его работы путем применения встроенной пневмосистемы, работающей от общего электродвигателя.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.с. № 119561 СССР, МКИ А 01 К 59/ 06. Устройство для извлечения продуктов пчеловодства из сотов / И.А. Дудов, Ю.В. Донченко, А.Н. Малик и др. (СССР). № 3702912/ 30-15 Заявлено 20.02.84; Оpubл. в Б.И., 1985, № 45.
2. А.с. № 1230566 СССР, МКИ А 01 К 59/00. Способ получения перги из перговых сотов / И.А. Дудов, Ю.В. Донченко (СССР). № 3587058/30-15; Заявлено 31.01.83. Оpubл. в Б.И., 1986, № 18.
3. А.с. № 1386129 СССР, А01К59/00. Способ извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников (СССР). - № 3964232/30-15; Заявлено 09.09.1985. Опубликовано 07.04.1988. Бюл. № 13.
4. А.с. № 361779 СССР, МКИ А 01 К 59/06. Устройство для извлечения твердого материала / П.В. Бибииков, Л.К. Бондарь (СССР). - № 1653907/30-15; Заявлено 12.04.71. Оpubл. в Б.И., 1973, № 2.
5. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
6. Асташкин, В.Н. К вопросу исследования физико-механических свойств перги и прополиса / В.Н. Асташкин, А.В. Куприянов, П.С. Моисеев, В.Г. Мохнаткин, В.Д. Хмыров // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: Материалы национальной конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. - С. 102-104.
7. Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том 2 / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. - М.: Наука, 1985. - 560 с.
8. Билаш, Н.Г. Влияние запасов перги на качество пчёл / Н.Г. Билаш // Пчеловодство. - 1990. - № 4. - С. 6.
9. Бойко, И.Д. Белковый корм к весне / И.Д. Бойко // Пчеловодство. - 1986. - № 2. - С. 25.



10. Борщев, В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие / В.Я. Борщев. - Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. - 75с.
11. 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.
12. Буренина, Е.И. Результаты лабораторных исследований штифтового измельчителя пчелиных сотов с вертикальным рабочим органом / Е.И. Буренина, К.В. Буренин, Р.А. Мамонов // Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона: Материалы 67-ой Международной научно-практической конференции. Часть II. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. - С. 50-53.
13. Вахонина, Т.В. Единство продуктов пчеловодства/ Т.В. Вахонина // Пчеловодство. - 1989. - №10. - с. 32-34.
14. Вахонина, Т.В. Пчелиная аптека / Т.В. Вахонина. - С-Петербург: Лениздат, 1992. - 188 с.
15. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 187 с.
16. 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.
17. Волкова, Н.А. Экономическая оценка инженерных проектов: Методика и примеры расчетов на ЭВМ / Н.А. Волкова, В.В. Коновалов, И.А. Спицын, А.С. Иванов. - Пенза: РИО ПГСХА, 2002. - 242 с.
18. Воронюк Б.А. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений / Б.А. Воронюк, А.И. Пьянков, Л.В. Мильцева, М.Ф. Бурмистрова и др. - М.: Колос, 1970. - 423 с.

19. ГОСТ 11.003-73 Прикладная статистика. Равномерно распределенные случайные числа. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1974. - 15 с.
20. ГОСТ 23728-23730-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономиче-ской оценки. М., 1989. - 34 с.
21. ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. - М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1981 - 19 с.
22. ГОСТ 31776-2012 Перга. Технические условия. - М.: Стандартиформ, 2013. - 19 с.
23. ГОСТ Р ИСО 24153-2012 Статистические методы. Процедуры рандомизации и отбора случайной выборки. - М.: Стандартиформ, 2014. - 35 с.
24. Дорофеев, В.В. Использование запасов перги / В.В. Дорофеев // Пчеловодство. - 1969. - № 6. - С. 54.
25. Зарецкий, Н.Н. Использование пчел в теплицах / Н.Н. Зарецкий. - М.: Россельхозиздат, 1985. - 190с.
26. Зарецкий, Н.Н. Пособие для начинающего пчеловода / Н.Н. Зарецкий. - М.: Моск. Рабочий, 1985. - 159 с.
27. Иваненко, Т.П. Заготовка и хранение перги / Т.П. Иваненко // Пчеловодство. - 1960. - №5. - С. 43.
28. Ивлев, А.Н. Из кельи восковой / А.Н. Ивлев. - Л.: Лениздат, 1985. - 224 с.
29. Иойриш, Н.П. Продукты пчеловодства и их использование / Н.П. Иойриш. - М.: Россельхозиздат, 1976. - 175 с.
30. Иойриш, Н.П. Пчелы - крылатые фармацевты / Н.П. Иойриш. - М., 1964. - 254 с.
31. Касьянов, А.И. Соты – основа гнезда пчелиной семьи / А.И. Касьянов, В.И. Лебедев // Пчеловодство. – 2014. - № 4. – С. 52-55.
32. Каширин, Д.Е. Исследование процесса пневмосепарации перговых коконов / Д.Е. Каширин, С.В. Винокуров, А.В. Ларин, В.Н. Кривобоков //

- Энергосберегающие технологии использования и ремонта машинно-тракторного парка: сборник материалов научно практической конференции. Рязань: РГСХА. - 2004. - С. 107-108.
33. Каширин, Д.Е. Технология и устройство для измельчения перговых сотов: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Каширин Дмитрий Евгеньевич. - Рязань, 2001. - 182 с.
  34. Каширин, Д.Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: автореф. дис. ... д-ра. тех. наук: 05.20.01 / Каширин Дмитрий Евгеньевич. - Рязань, 2013. - 37 с.
  35. Каширин, Д.Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: дис. ... д-ра. тех. наук: 05.20.01 / Каширин Дмитрий Евгеньевич. - Рязань, 2013. - 474 с.
  36. Коваленко, М.В. Совершенствование технологии извлечения перги из пчелиных сотов с обоснованием параметров и режимов работы центробежного скариффикатора: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Коваленко Михаил Валерьевич. - Рязань, 2016. - 191 с.
  37. Комаров, А.А. Да ужалит вас пчела / А.А. Комаров. - Тула: Коммунар, 1991. - 64 с.
  38. Комаров, А.А. Пчеловодство. Учебно-справочная книга / А.А. Комаров. - Тула: Ритм, 1992. - 224 с.
  39. Королев, Р.В. Пчелы и здоровье / Р.В. Королев. - Л.: Наука, 1975. - 87 с.
  40. Космович, Е.К. Перга из выбракованных сотов / Е.К. Космович. // Пчеловодство. - 1981. - № 4-5. - С. 43.
  41. Кривцов, Н.И. Получение и использование продуктов пчеловодства / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев. - М.: Нива России, 1993. - 285 с.
  42. Кривцов, Н.И. Пчеловодство / Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев, Г.М. Туников - М.: Колос, 1999. - 399 с.
  43. Кривцов, Н.И. Роль науки в развитии современного пчеловодства России / Н.И. Кривцов, В.И.Лебедев // Вестник Рязанского государственного

- агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2011. - № 3. - С. 3-5.
44. Кузьмина, К.А. Продукты пчеловодства и здоровье / К.А. Кузьмина. - Саратов: Издательство Саратовского университета, 1987. - 194 с.
  45. Курдюмов, В.И. Энергосберегающее устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.В. Журавлев // В мире научных открытий: Материалы II Всероссийской студенческой научной конференции—Ульяновск, 2013. – С. 71-74.
  46. Ларин, А.В. Технология извлечения перги из пчелиных сотов с разработкой установки для их скарификации: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Ларин Александр Васильевич. - Рязань, 2007. - 173 с.
  47. Ласточкин, Л.А. Труды европейского совещания по измельчению / Л.А. Ласточкин. - М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. - 602 с.
  48. Латышев, Д.Е. Пасека в петлице/ Д.Е. Латышев, Н.Н. Зарецкий. М.: Московский рабочий, 1967, 256с.
  49. Лебедев, В.И. Заготавливать пыльцу выгодно / В.И. Лебедев, Л.И Кубрак // Пчеловодство. - 1998. - № 2. - С. 14.
  50. Лебедев, В.И. Перга и ее заготовка на пасеке // Пчеловодство. – 2005. - №8. – С. 50-51.
  51. Лебедев, В.И. Экономические и технологические аспекты обоснования прогноза развития пчеловодства в России / В.И. Лебедев, Л.В. Прокофьева // Пчеловодство. - 2015. - № 10. - С. 10-13.
  52. Мельников, С.В. Планирование экспериментов в исследовании сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.
  53. Методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в машиностроении для животноводства и кормопроизводства. - М.: ВНИПИ, 1986. - 51 с.
  54. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: РИЦ ГОСНИТИ., 1998. - 331 с.

55. Методические рекомендации по разработке плана производственно-финансовой деятельности сельскохозяйственного предприятия. - М.: МСХ, 2001.
56. Миронов, Г.А. Пыльца - ценный продукт питания / Г.А. Миронов // Пчеловодство. - 1996. - № 4. - С. 41-43.
57. Мохнаткин, В.Г. Исследование энергосберегающих способов очистки гранул перги / В.Г. Мохнаткин, В.Д. Хмыров, Д.А. Епифанцев, Н.Ф. Каряев, А.В. Булгакова // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: Материалы национальной конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. - С. 70-72.
58. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, А.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. - 327 с.
59. Налимов, В.В. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.В. Налимов. - М.: Металлургия, 1982. - 750с.
60. 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>.
61. Некрашевич, В.Ф. Агрегат АИП-10 для извлечения перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун // Журнал Пчеловодство. - 2014. - № 9. - С. 58-59.
62. 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. 54-58.
63. Некрашевич, В.Ф. Извлечение перги из сотов / В.Ф. Некрашевич, С.А. Стройков, В.И. Бронников // Пчеловодство. - 1988. - № 10. - С. 29-30.
64. Некрашевич, В.Ф. Инновационная технология и средства механизации в пчеловодстве / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.Н. Щипачев, М.В. Коваленко, К.В. Буренин // Материалы III Международного форума пчеловодов «Медовый мир», Ярославль. - 2012. - С. 24-25.
65. Некрашевич, В.Ф. Исследование аэродинамических свойств воскового сырья и гранул перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Е.И. Буренина // Журнал Пчеловодство. - 2014. - №8. - С 52-54.
66. Некрашевич, В.Ф. Комплект оборудования для заготовки перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин // Научный журнал «Научная мысль». - 2015. - №3. - С. 121-126.
67. Некрашевич, В.Ф. Механизация пчеловодства / В.Ф. Некрашевич, Ю.Н. Кирьянов. - Рязань, 2005. - 291 с.
68. 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 «Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева». - 2014. - № 4 (24). - С. 77-81.
69. Некрашевич, В.Ф. Оптимальный угол течения воска / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Н.А. Грунин, Д.А. Епифанцев // Журнал Пчеловодство. - 2014. - № 10. - С. 46-48.
70. Некрашевич, В.Ф. Перга и способы извлечения ее из сотов/ В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, С.В. Винокуров // Сб. науч. тр. асп., соиск., сотруд. РГСХА. - Рязань, 2001. - С. 398-401.
71. Некрашевич, В.Ф. Перга: технология, оборудование и экономические аспекты её производства / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, А.Г. Чепик,

- Т.В. Торженова, М.В. Коваленко // «Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии». - 2012. - №1- С. 139-143.
72. 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. - 62 с.
73. Некрашевич, В.Ф. Режим сепарирования измельченной массы перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников // Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве: сборник науч. трудов. Горький. - 1990. - С. 9-13.
74. Некрашевич, В.Ф. Результаты исследования процесса сушки перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников // Комплексная механизация возделывания сельскохозяйственных культур: Сб. науч. тр. - М., 1991. - С. 176-182.
75. 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. IX Международная научно-практическая конференция (5-6 февраля 2014 г.). - Барнаул: РИО АГАУ, 2014. - Кн. 3. - С. 42-44.
76. 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 27 марта 2014 года. Часть 1. - Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. - С. 33-37.
77. Некрашевич, В.Ф. Сравнительная оценка заготовки обножки и перги / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженова, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун, М.С. Потапов // Журнал Пчеловодство. - 2015. - № 5. - С. 60-62.

78. 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 государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева». - 2016. - № 3 (31). - С. 61-65.
79. Некрашевич, В.Ф. Технологическая линия извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Н.Б. Нагаев, К.В. Буренин, М.В. Коваленко, Е.И. Буренина // Журнал Пчеловодство. - 2015. - № 9. - С. 56-59.
80. Некрашевич, В.Ф. Технология, средства механизации и экономика производства перги./ В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженова, М.В. Коваленко.- Монография. -Рязань, 2013. - 102 с.
81. Некрашевич, В.Ф. Энергосберегающая технология и средства механизации извлечения перги из пчелиных сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, М.В. Коваленко, Т.В. Торженова, К.В. Буренин // Энергоэффективные и энергосберегающие технологии и системы: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию института механики и энергетики. – Саранск,2012. - С. 128-132.
82. Омаров, Ш.М. Апитерапия при заболеваниях желудочно-кишечного тракта / Ш.М. Омаров // Пчеловодство. - 1995. - № 12. - С. 16-18.
83. Осипов, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В.А. Осипов. - М.: Энергия, 1969. - 392 с.
84. Патент на изобретение № 17213 ВУ, А91К59/00, В02С13/20. Измельчитель перговых сотов / П.В. Пестис, С.Н. Ладутько, Н.В. Халько, М.В. Пестис, А.Н. Халько, В.К. Пестис (ВУ). № а 20101374; Заявлено 24.09.2010; Опубликовано 30.06.2013.
85. Патент на изобретение № 2171715 РФ, В02С13/284. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, В.И. Бронников, Д.Е. Каширин (РФ). № 99114472/13; Заявлено 05.07.1999; Опубликовано 10.08.2001.



86. Патент на изобретение № 2302729 РФ, А01К59/00, В07В1/40. Вибрационная установка для извлечения перги из ячеек сот / Д.Е. Каширин, А.М. Лавров, Н.Г. Кипарисов (РФ). № 2005135380/03; Заявлено 14.11.2005; Опубликовано 20.07.2007. Бюл. № 20.
87. Патент на изобретение № 2309797 РФ, В02С2/04. Измельчитель перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ). № 2006110917/03; Заявлено 04.04.2006; Опубликовано 10.11.2007. Бюл. № 31.
88. Патент на изобретение № 2326531 РФ, А01К59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин, А.В. Ларин, М.Е. Троицкая (РФ). № 2006145241/12; Заявлено 19.12.2006; Опубликовано 20.06.2008. Бюл. № 17.
89. Патент на изобретение № 2367150 РФ, А01К59/00. Установка для извлечения перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ). № 2008119793/12; Заявлено 19.05.2008; Опубликовано 20.09.2009. Бюл. № 26.
90. Патент на изобретение № 2397639 РФ, А01К59/00. Способ извлечения перги из сотов / Д.Е. Каширин (РФ). № 2009114650/21; Заявлено 17.04.2009; Опубликовано 27.08.2010. Бюл. № 24.
91. Патент на изобретение № 2412590 РФ, А01К59/00. Установка для извлечения и очистки перги из перговых сотов / Д.Е. Каширин (РФ). № 2009145367/21; Заявлено 07.12.2009; Опубликовано 27.02.2011. Бюл. № 6.
92. Патент на изобретение № 2452175 РФ, А01К59/00, В02С2/04. Агрегат для извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Т.В. Торженева, С.В. Некрашевич, Р.А. Мамонов (РФ). № 2010147625/13; Заявлено 22.11.2010; Опубликовано 10.06.2012. Бюл. № 16.
93. Патент на изобретение № 2498178 РФ, F26В9/06. Устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.В. Журавлев (РФ). № 2012122841/06; Заявлено 01.06.2012; Опубликовано 10.11.2013 Бюл. № 31.

94. Патент на изобретение № 2549380 РФ, F26B15/04. Устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.В. Журавлев (РФ). № 2014116334/06; Заявлено 22.04.2014; Опубликовано 27.04.2015 Бюл. № 12.
95. Патент на изобретение № 2553236 РФ, A01K59/00. Способ извлечения перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин (РФ). № 2014111011/13; Заявлено 21.03.2014; Опубликовано 10.06.2015. Бюл. № 16.
96. Патент на полезную модель № 141008 РФ, B02C13/18. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева, И.И. Трухин, К.В. Буренин (РФ). № 2014102833/13; Заявлено 28.01.2014; Опубликовано 27.05.2014. Бюл. № 15.
97. Патент на полезную модель № 146365 РФ, F26B11/08. Устройство для сушки перговых сотов / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.В. Журавлев (РФ). № 2014115520/06; Заявлено 17.04.2014; Опубликовано 10.10.2014 Бюл. № 28.
98. Патент на полезную модель № 152375 РФ, A01K59/00. Измельчитель перговых сотов / В.Ф. Некрашевич, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин (РФ). № 2014151982/13; Заявлено 16.12.2014; Опубликовано 27.05.2015. Бюл. № 15.
99. Патент на полезную модель № 81657 РФ, B02C13/02. Измельчитель перговых сотов / Ю.Н. Кирьянов, К.В. Богомолов (РФ). № 2008143934/22; Заявлено 05.11.2008; Опубликовано 27.03.2009. Бюл. № 9.
100. Пестис, В.К. Пчеловодство/ В.К. Пестис, Н.И. Кривцов, В.И.Лебедев и др. - Минск: Новое знание; М.: ИНФРА - М., 2012 – 480 с.
101. Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - М.: КолосС, 2007. - 760 с.
102. Полош, Е. Апитерапия сегодня: Практические сведения по составу и применению ценных с биологической точки зрения продуктов

- пчеловодства и препаратов из них в питании и лечении человека. Междунар. конф. технол. и эконом. пчеловодства / Е. Полош. - Бухарест: Апимондия, 1985. - 88 с.
103. Пономарева, Е.Г. Эффективность опылительной деятельности пчел в условиях высокой агротехники/ Е.Г. Пономарева. - Труды ВСХИЗО, 1978. - 117с.
104. Пустильник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустильник. - М.: Наука 1968. - 288 с.
105. Рачков, А.К. Апитерапия /А.К. Рачков и др. - Рязань, 1995. - 116 с.
106. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. - М.: Наука, 1971. - 192 с.
107. Рыбальченко, А.М. Загадки пчелиного роя / А.М. Рыбальченко. - Минск: Урожай, 1983. - 127 с.
108. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. - М.: Издательство «ХИМИЯ», 1968. - 384 с.
109. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности Издание 2 / П.М. Сиденко. - М.: Издательство «ХИМИЯ», 1977. - 368 с.
110. Синяков, А.Ф. Большой медовый лечебник/ А.Ф. Синяков. - М.:Эксмо,2012. - 640 с.
111. Сокольский, С.С. Научно обоснованная технология производства продуктов пчеловодства /С.С. Сокольский, Н.И. Кривцов, В.И. Лебедев // Краснодар: «Агропромполграфист». – 2000. – 277 с.
112. Таранов, Г.Ф. Книга пчеловодства / Г.Ф. Таранов, В.И. Лебедев. - М.: Росагропромиздат, 1992. - 251 с.
113. Таранов, Г.Ф. Корма и кормление пчёл / Г.Ф. Таранов. - М.: Россельхозиздат, 1986. - 160 с.
114. Торженева Т.В. Организационно-экономические аспекты эффективного производства перги: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Торженева Татьяна Владимировна.- Рязань, 2010. - 181 с.

115. Торженева, Т.В. Механизация и экономические аспекты промышленного производства перги / Т.В. Торженева, Р.А. Мамонов, В.Д. Хмыров // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: Материалы национальной конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. - С. 128-131.
116. Финансы. Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 1997.
117. Фомина, В.А. Перга в кардиологии / В.А. Фомина, В.Г. Окорочков и др. // Пчеловодство. - 1994. - № 2. - С. 58.
118. Френнель, М.М. Пчелы - косметике / М.М. Френнель // Пчеловодство. - 1985. - № 9. - С. 30.
119. Фролов, В.М. Апии-фитотерапия желудочных заболеваний / В.М. Фролов, Н.А. Пересадин // Пчеловодство. - 1993. - №7. - С. 40-42.
120. Хисматулина, Н.З. Апитерапия / Н.З. Хисматулина. - Пермь: Мобиле, 2005. - 43 с.
121. 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.
122. 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.
123. Хмыров, В.Д. Некоторые экстерьерные особенности пчел / В.Д. Хмыров, В.С. Калинин // Сборник научных трудов по пчеловодству. – Орел. – 2004. – №11.
124. Хмыров, В.Д. Особенности содержания пчел в двухкорпусных лежаках / В.Д. Хмыров, В.С. Калинин // Сборник научных трудов по пчеловодству. – Орел. – 2004. – №11.

125. 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: Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина, 2010. - 212 с.
126. Чудаков, В.Г. Технология продуктов пчеловодства / В.Г. Чудаков. - М.: Колос, 1979. - 160 с.
127. Benson, K. About some physical characteristics of the pollen loads collected by *Apis mellifera* L. / K. Benson, H.A. Berutich, I. Bootello, B.M. Lourdes // *Apicultura*. - 1990.- №6. - P. 179-191.
128. Benson, K. Cleaning and handling pollen / K. Benson // *American Bee Journal*. - 1984. - Vol.131, №4. - P.303-305.
129. Bogdanov, S. Quality and standards for pollen and beeswax / S. Bogdanov // XXXVIIth Apimondia international apicultural congress. Ljubljana. - 2003. - P. 604.
130. Gannuzzi, G. Pollen: food for honey bee and man? Second of a four part article / G. Gannuzzi // *American Bee Journal*. - 1993. - Vol.133, №6. - P.414-417.
131. Gannuzzi, G. Pollen: food for honey bee and man? Third-of a four part article / G. Gannuzzi // *American Bee Journal*. - 1993. - Vol.133, №7. - P.496-500.
132. Ishikawa, Y. Inhibitory effect of honeybee-collected pollen on mast cell degranulation in vivo and in vitro / Y. Ishikawa, T. Tokura, N. Nakano, M. Hara, F. Niyonsaba, H. Ushio, Y. Yamamoto, T. Tadokoro, K. Okumura, H. Ogawa// *J Med Food*. - 2008 Mar. - №11(1). - P. 14-20.
133. 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.
134. Nakajima, Y. Comparison of bee products based on assays of antioxidant capacities/ Y. Nakajima, K. Tsuruma, M. Shimazawa, S. Mishima, H. Hara// *BMC Complement Altern Med*. - 2009 Feb 26;9:4. doi: 10.1186/1472-6882-9-4.

135. Olstrom, J.M. Pollen trapping experiences some dos and don'ts / J.M. Olstrom  
// Am. Bee J. - 1984. - 124, 4. - P. 292-297.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты исследований коэффициентов трения гранул перги от влажности и от температуры воскового сырья.

Таблица А.1 – Коэффициент внутреннего трения от влажности гранул перги.

Влажность перги, %	Коэффициент внутреннего трения			
	1	2	3	Среднее значение
10,78	0,539	0,538	0,546	0,541
12,42	0,581	0,583	0,588	0,584
14,48	0,603	0,597	0,600	0,600
16,37	0,652	0,649	0,652	0,651
19,12	0,754	0,759	0,758	0,757

Таблица А.2 – Коэффициент внутреннего трения от среднего размера частиц воскового сырья.

Средний размер частиц, мм	Коэффициент внутреннего трения			
	1	2	3	Среднее значение
0,5	0,479	0,491	0,494	0,488
1,5	0,615	0,592	0,608	0,605
2,5	0,639	0,641	0,646	0,642
3,5	0,677	0,665	0,668	0,67
4,5	0,631	0,641	0,639	0,637
5,5	0,671	0,678	0,676	0,675
6,5	0,757	0,762	0,761	0,76
7,5	0,814	0,809	0,816	0,813



Таблица А.3 – Коэффициент трения гранул перги различной влажности по нержавеющей стали.

Влажность перги, %	Коэффициент трения			
	1	2	3	Среднее значение
8,8	0,388	0,420	0,392	0,4
10,92	0,437	0,433	0,438	0,436
12,59	0,458	0,471	0,469	0,466
13,25	0,441	0,453	0,450	0,448
14,81	0,472	0,477	0,473	0,474
16,87	0,486	0,483	0,480	0,483
18,2	0,509	0,494	0,497	0,5

Таблица А.4 – Коэффициент трения воскового сырья различного гранулометрического состава по нержавеющей стали от температуры.

Средний размер частиц, мм	Температура воскового сырья, °С	Коэффициент трения			
		1	2	3	Среднее значение
0,5	-10	0,859	0,865	0,868	0,864
	0	0,961	0,952	0,958	0,957
	5	0,987	0,992	0,991	0,99
	20	1,051	1,046	1,053	1,05
	40	1,064	1,055	1,061	1,06
	60	1,185	1,188	1,197	1,19
1,5	-10	0,842	0,853	0,855	0,85
	0	0,871	0,868	0,880	0,873
	5	0,878	0,879	0,874	0,877
	20	0,970	0,979	0,991	0,98

Продолжение таблицы А.4

	40	-	-	-	-
	60	1,082	1,104	1,084	1,09
2,5	-10	0,747	0,751	0,752	0,75
	0	-	-	-	-
	5	0,834	0,847	0,836	0,839
	20	0,927	0,917	0,916	0,92
	40	0,978	0,974	0,988	0,98
	60	0,996	1,019	1,015	1,01
	3,5	-10	0,684	0,697	0,695
0		0,726	0,718	0,716	0,72
5		0,663	0,664	0,668	0,665
20		0,824	0,819	0,817	0,82
40		0,868	0,866	0,876	0,87
60		0,943	0,936	0,941	0,94
4,5		-10	0,629	0,633	0,628
	0	-	-	-	-
	5	0,656	0,663	0,658	0,659
	20	0,777	0,768	0,765	0,77
	40	0,825	0,836	0,829	0,83
	60	0,853	0,851	0,846	0,85
	5,5	-10	0,583	0,576	0,575
0		0,597	0,605	0,607	0,603
5		-	-	-	-
20		0,703	0,697	0,700	0,7
40		-	-	-	-
60		0,801	0,795	0,804	0,8
6,5		-10	0,522	0,529	0,530
	0	0,588	0,579	0,576	0,581

Продолжение таблицы А.4

	5	-	-	-	-
	20	0,674	0,671	0,665	0,67
	40	-	-	-	-
	60	0,753	0,752	0,745	0,75
7,5	-10	0,555	0,548	0,544	0,549
	0	0,534	0,539	0,532	0,535
	5	-	-	-	-
	20	0,564	0,572	0,574	0,57
	40	0,672	0,665	0,673	0,67
	60	0,722	0,715	0,723	0,72

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты значений влажности перги, температуры охлаждения и времени выдержки при прочности в 40 кПа.

Таблица Б – Значения влажности перги, температуры охлаждения и времени выдержки при прочности в 40 кПа.

Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин	Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин
14,1	-3	36,8	17,4	-15	57,3
17,4	-5	68,9	15,3	-11	44,4
15,3	-19	38,5	18,2	-11	66,1
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
18,2	-3	77,9	18,9	-3	82,3
23,3	-3	96,3	15,9	-11	50,5
14,7	-19	33,5	20,6	-19	63,6
15,9	0	60,3	14,7	-3	44,3
17,4	-11	61,8	15,3	-3	51,3

## Продолжение таблицы Б

Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин	Влажность перги, %	Температура охлаждения, °С	Время выдержки, мин
17,4	0	74,3	18,9	-7	76,3
18,9	-15	64,8	23,3	-15	70,9
19,7	-5	83,2	21,1	-19	63,8
14,1	-19	28,3	21,1	-15	71,1
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
23,3	-19	61,4	21,1	-11	78,2
23,3	-11	80,4	14,7	0	46,2
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

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты исследования крошимости гранул перги от частоты вращения вала измельчителя при различном диаметре штифтов.

Таблица В – Крошимость гранул перги от частоты вращения вала измельчителя при различном диаметре штифтов.

Диаметр штифтов, мм	Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	Среднее значение крошимости гранул перги, %
6	1000	7,1
	1500	8,6
	2000	9,9
	2500	11,2
	3000	12,8
9	1000	5,8
	1500	7,9
	2000	9,2
	2500	10,6
	3000	11,5

## Продолжение таблицы В

12	1000	4,4
	1500	6,1
	2000	7,8
	2500	8,2
	3000	9,3
15	1000	3,6
	1500	4,9
	2000	5,9
	2500	6,6
	3000	7,7
18	1000	3,4
	1500	4,7
	2000	5,6
	2500	6,3
	3000	7,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты исследования крошимости гранул перги и количество воска на перге от количества штифтов.

Таблица Г.1 – Крошимости гранул перги от количества штифтов.

Число штифтов, шт	Крошимость гранул перги, %			
	1	2	3	Среднее значение
2	2,93	2,94	2,98	2,95
4	3,27	3,28	3,26	3,27
5	3,71	3,71	3,77	3,73
6	3,93	3,89	3,88	3,90
8	4,88	4,92	4,93	4,91

Таблица Г.2 – Количество воска на перге от количества штифтов.

Число штифтов, шт	Количество воска на перге, %			
	1	2	3	Среднее значение
2	4,06	4,03	4,03	4,04
4	3,86	3,88	3,84	3,86
5	3,87	3,92	3,91	3,90
6	3,78	3,82	3,77	3,79
8	3,80	3,84	3,79	3,81

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты исследования крошимости гранул перги и количество воска на перге от разного размера ячеек в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала.

Таблица Д.1 – Крошимость гранул перги от разного размера ячеек в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала.

Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	Размер ячеек в решетки, мм	Крошимость гранул перги, %			
		1	2	3	Среднее значение
1500	8	5,64	5,67	5,64	5,65
	10	5,35	5,28	5,30	5,31
	12	5,25	5,21	5,26	5,24
	14	4,88	4,85	4,85	4,86
	16	4,76	4,72	4,71	4,73
1750	8	6,38	6,41	6,41	6,4
	10	5,92	5,93	5,94	5,93
	12	5,67	5,66	5,59	5,64
	14	5,59	5,56	5,56	5,57
	16	4,96	4,95	5,03	4,98
2000	8	7,18	7,22	7,23	7,21
	10	6,67	6,63	6,62	6,64
	12	6,29	6,25	6,30	6,28
	14	5,55	5,52	5,58	5,55
	16	5,44	5,41	5,44	5,43

Продолжение таблицы Д.1

2250	8	7,55	7,56	7,51	7,54
	10	7,39	7,35	7,40	7,38
	12	6,87	6,91	6,86	6,88
	14	6,23	6,24	6,28	6,25
	16	5,24	5,18	5,24	5,22
2500	8	8,66	8,62	8,67	8,65
	10	8,01	7,98	7,98	7,99
	12	7,79	7,82	7,82	7,81
	14	7,22	7,21	7,26	7,23
	16	5,67	5,70	5,70	5,69

Таблица Д.2 – Количество воска на перге от разного размера ячеек в решетке выгрузного окна при различной частоте вращения вала.

Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	Размер ячеек в решетки, мм	Количество воска на перге, %			
		1	2	3	Среднее значение
1500	8	0,65	0,68	0,65	0,66
	10	0,98	1,03	0,99	1
	12	1,24	1,27	1,27	1,26
	14	1,47	1,48	1,43	1,46
	16	1,98	2,00	2,05	2,01
1750	8	0,55	0,52	0,52	0,53
	10	0,90	0,86	0,88	0,88
	12	1,13	1,17	1,12	1,14
	14	1,12	1,07	1,08	1,09
	16	1,73	1,69	1,74	1,72
2000	8	0,45	0,49	0,5	0,48
	10	0,95	0,89	0,89	0,91
	12	0,87	0,88	0,86	0,87
	14	1,28	1,33	1,29	1,3
	16	1,47	1,49	1,42	1,46
2250	8	0,19	0,20	0,15	0,18
	10	0,36	0,36	0,42	0,38
	12	0,43	0,42	0,47	0,44
	14	0,49	0,53	0,54	0,52
	16	0,55	0,52	0,55	0,54
2500	8	0,19	0,15	0,17	0,17
	10	0,27	0,31	0,32	0,3
	12	0,38	0,33	0,34	0,35
	14	0,40	0,37	0,40	0,39
	16	0,42	0,38	0,43	0,41

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Результаты проведения экспериментальных исследований по изучению совместного влияния размера ячеек решетки  $S_{\text{реш}} (X_1)$  и толщины прутка  $d_{\text{пр}} (X_2)$  на крошимость гранул перги  $K_{\text{гр}}$ .

Таблица Е – Влияние размера ячеек решетки  $S_{\text{реш}} (X_1)$  и толщины прутка  $d_{\text{пр}} (X_2)$  на крошимость гранул перги  $K_{\text{гр}}$ .

№ опыта	№ рандомизации	$S_{\text{реш}}$ , мм ( $X_1$ )	$d_{\text{пр}}$ , мм ( $X_2$ )	1	2	3	$K_{\text{гр}}$ , %
1	7	10	1,5	3,64	3,71	3,69	3,68
2	8	10	2,7	3,23	3,19	3,24	3,22
3	2	14	1,5	3,02	3,03	2,98	3,01
4	6	14	2,7	2,61	2,67	2,67	2,65
5	9	10	2,1	3,26	3,31	3,33	3,30
6	3	14	2,1	2,78	2,81	2,84	2,81
7	5	12	1,5	3,12	3,13	3,20	3,15
8	4	12	2,7	2,85	2,82	2,91	2,86
9	1	12	2,1	2,95	2,98	2,95	2,96

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результаты проведения экспериментальных исследований по изучению совместного влияния толщины прутка  $d_{\text{пр}} (X_1)$  и размера ячеек решетки  $S_{\text{реш}} (X_2)$  на количество воска на гранулах перги  $K_{\text{воск}}$ .



Таблица Ж – Влияние толщины прутка  $d_{пр}$  ( $X_1$ ) и размера ячеек решетки  $S_{реш}$  ( $X_2$ ) на количество воска на гранулах перги  $K_{воск}$ .

№ опыта	№ рандомизации	$d_{пр}$ , мм ( $X_1$ )	$S_{реш}$ , мм ( $X_2$ )	1	2	3	$K_{воск}$ , %
1	7	1,5	10	2,76	2,82	2,82	2,80
2	8	1,5	14	4,50	4,44	4,62	4,52
3	2	2,7	10	0,53	0,56	0,53	0,54
4	6	2,7	14	1,27	1,23	1,28	1,26
5	9	1,5	12	3,52	3,60	3,50	3,54
6	3	2,7	12	0,84	0,88	0,89	0,87
7	5	2,1	10	1,11	1,07	1,09	1,09
8	4	2,1	14	1,86	1,86	1,92	1,88
9	1	2,1	12	1,39	1,43	1,38	1,40

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

Результаты экспериментальных испытаний агрегата для извлечения перги.

Таблица И – Удельные энергозатраты и производительность агрегата для извлечения перги.

№ опыта	Удельные энергозатраты, кВт-ч/кг	Производительность, кг/ч
1	0,0382	6,3
2	0,0387	6,8
3	0,0386	6,4
Среднее значение	0,0385	6,5

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

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 Торженова 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.

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:

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. Торженова

аспирант



К.В. Буренин

От ООО Агротехнопарк «АВИК»

А.В. Крикотненко

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

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 Торженова 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

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.

Сушка осуществлялась в ульевых корпусах установленных на сушилку СП-40 при температуре 40-42 °С. Время сушки скарифированных 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.Некрасhevич

 Р.А. Мамонов

 Т.В. Торженова

 К.В. Буренин



 К.А. Половинкин

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2553236

**СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРГИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014111011

Приоритет изобретения 21 марта 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 15 мая 2015 г.

Срок действия патента истекает 21 марта 2034 г.

*Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Л.Л. Кирий*



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.

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович  
(RU),  
Мамонов Роман Александрович (RU),  
Торженова 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)

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.



Время охлаждения кусков перговых сотов определяется по формуле  $t_{\text{выд}} = -277,4073 -$

$1,9408 \cdot T_{\text{охл}} + 31,6739 \cdot W + 0,0014 \cdot T_{\text{охл}}^2 + 0,1799 \cdot T_{\text{охл}} \cdot W - 0,657 \cdot W^2$ , мин, где  $T_{\text{охл}}$  - температура среды, в которой охлаждаются перговые соты от 0 до  $-20^\circ\text{C}$ ;  $W$  - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%. Изобретение обеспечивает снижение затрат энергии и времени и повышение производительности процесса, качества и количества выхода перговых гранул.

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к пчеловодству, и может быть использовано в технологии получения гранул перги.

Известен способ извлечения перги, включающий скарификацию поверхностного слоя пергового сота, его конвективную сушку при температуре  $40-42^\circ\text{C}$  до влажности 14-15%, охлаждение при температуре  $-(3-4)^\circ\text{C}$  в течение 30-40 мин и измельчение на дробилке до получения отдельных перговых комочков с их последующей пневматической сепарацией с целью повышения качества и эффективности извлечения перги из сотов, полученные после измельчения перговые комочки подвергают сжатию до величины 4,9-5,0 мм, а их пневматическую сепарацию проводят при скорости воздушного потока 5-8 м/с с разделением перговых комочков на фракции размерами 1,5-6,0 мм (а.с. СССР № 1386129, МПК А01К 59/00, заявл. 09.09.1985, опубл. 07.04.1988. Бюл. № 13).

Известный способ извлечения перги имеет недостатки.

В процессе сушки перговых сотов теплота тратится как на сушку гранул перги, так и на нагрев деревянной рамки и восковой основы сота, что приводит к дополнительным неоправданным затратам энергии.

Наиболее близким из известных способов по наличию сходных признаков является 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 в вакууме. Перед началом извлечения перги из сотов удаляют остатки меда, после чего проводят глубокое охлаждение отделенных от рамок кусков перговых сотов до замерзания перги при температуре от  $-18$  до  $-19^\circ\text{C}$  в течение 5-6 ч, охлажденные куски перговых сотов измельчают до образования отдельных перговых гранул и воскового вороха, полученные после пневматической сепарации замороженные перговые гранулы вторично измельчают до порошкообразного состояния, а затем осуществляют сушку в вакууме. Перговые гранулы вторично измельчают до среднего размера частиц 0,3-1,5 мм и сушат в вакууме слоем 12-15 мм на теплоподводящей поверхности, разогретой до температуры  $48-50^\circ\text{C}$ , в течение 1,8-2 часов до влажности перги 13-14% (патент РФ № 2326531, МПК А01К 59/00, заявл. 19.12.2006, опубл. 20.06.2008. Бюл. № 17).

Перед извлечением перги из перговых сотов удаляют остатки меда. Для этого имеющиеся в соте медовые ячейки распечатывают и откачивают мед центрифугированием. После центрифугирования соторамки помещают в улей с пчелами на 2-3 дня для удаления мелких капель меда, рассеянных по поверхности сота. От подготовленных таким образом соторамок отделяют куски сотов и помещают их в морозильную камеру с температурой от  $-18$  до  $-19^\circ\text{C}$  на 5-6 часов. В процессе глубокого замораживания восковая основа сотов становится хрупкой, а перговые гранулы приобретают высокую прочность, при этом

поверхностный слой перговых гранул, пропитанный медом, утрачивает адгезионную (липкостную) способность. Дальнейшее извлечение перги из кусков перговых сотов можно проводить на различном оборудовании, например, используя установку для извлечения перги из перговых сотов, содержащую циклон, аспирационный канал, рабочую камеру, а также вал с рабочими органами. При извлечении перги на рекомендуемой установке охлажденные куски перговых сотов измельчают до получения целых перговых гранул и воскового вороха. Высвобожденные при измельчении кусков сотов перговые гранулы покрыты оболочкой, которая разрушается под действием рабочих органов в рабочей камере измельчителя. Отделение перги от восковых частиц происходит в аспирационном канале установки для извлечения перги из перговых сотов, куда подается воскоперговая смесь при скорости воздушного потока 7,5-8 м/с. Полученные замороженные перговые гранулы вторично измельчают в измельчителе, например, молоткового типа до среднего размера частиц 0,3-1,5 мм и сушат в вакууме величиной 0,098-0,099 МПа на теплоподводящей поверхности, разогретой до температуры 48-50°C, слоем 12-15 мм в течение 1,8-2 часов до влажности 13-14%. Вторичное измельчение стало необходимым для получения частиц размером 0,3-1,5 мм, так как в случае измельчения до указанных размеров при первичном измельчении частицы перги в 1,5 мм и менее уносятся воздушным потоком в аспирационном канале установки вместе с восковыми частицами. Высушенный полученный продукт практически не содержит восковых частиц и представляет собой порошок пригодный для таблетирования или консервации.

Однако известный способ имеет недостатки.

Охлаждение при низких температурах -18... -19°C в течение 5-6 часов, размораживание и последующая сушка при 48-50°C в течение 1,8-2 часов приводят к существенным затратам энергии. Такое выполнение технологического процесса ничем не обосновано, является энергозатратным и снижает производительность процесса извлечения перги. Кроме того, нецелесообразно гранулы перги сначала разрушать до порошкообразного состояния, а затем таблетировать. Гранулы перги сами являются естественными спрессованными препаратами.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в снижении затрат энергии и повышении производительности процесса извлечения перги из пчелиных сотов.

Техническое решение заключается в том, что снижение затрат энергии обеспечивается за счет охлаждения поверхностного слоя гранул перги до приобретения прочности, необходимой для механического разрушения пергового сота в измельчителе, а повышение производительности процесса извлечения перги - за счет уменьшения времени на процесс охлаждения и последующей сушки.

Техническое решение достигается тем, что 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, а 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  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявленный способ соответствует критерию «новизна», т.к. имеет существенные отличия.

1. Охлаждение осуществляется до достаточной для переработки сота прочности гранул перги на сжатие 40 кПа.

2. Охлаждению подвергается поверхностный слой гранул перги, а внутренние слои сохраняют пластичные свойства.

3. Пластичные свойства внутренних слоев гранул перги способствуют при деформации отделению восковой оболочки пергового сота.

4. Время охлаждения 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  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

С целью извлечения гранул перги перговые соты охлаждают для придания восковой основе хрупких свойств, а гранулам перги - прочности на сжатие 40 кПа, которая достаточна для сопротивления внешним воздействиям при измельчении. Охлаждению подвергается только поверхностный слой гранул перги, что снижает затраты энергии на данный процесс, а благодаря сохранению пластичных свойств внутренних слоев сокращается крошимость гранул. Время выдержки при охлаждении можно определить по представленной 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  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  - влажность гранул перги в соте от 14% до 24%.

Способ извлечения перги из сотов осуществляется следующим образом. Перед извлечением перги из перговых сотов от соторамок отделяют куски сотов. Затем определяют влажность перги и выбирают температуру охлаждения. По предложенной формуле определяют необходимое время выдержки

$$t_{\text{выд}} = -277,4073 - 1,9408 \cdot T_{\text{охл}} + 31,6739 \cdot W + 0,0014 \cdot T_{\text{охл}}^2 + 0,1799 \cdot T_{\text{охл}} \cdot W - 0,657 \cdot W^2, \text{ мин.}$$

где  $T_{\text{охл}}$  - температура среды, в которой охлаждаются перговые соты от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

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 сохранят 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 Н

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 141008

**ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ПЕРГОВЫХ СОТОВ**Патентообладатель(ли): *Некрашевич Владимир Федорович (RU)*Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014102833

Приоритет полезной модели 28 января 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 18 апреля 2014 г.

Срок действия патента истекает 28 января 2024 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **141 008** <sup>(13)</sup> **U1**(51) МПК  
*B02C 13/18* (2006.01)**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014102833/13, 28.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.01.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.01.2014

(45) Опубликовано: 27.05.2014 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 10, кв. 73,  
Некрашевичу Владимиру Федоровичу

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),  
Мамонов Роман Александрович (RU),  
Некрашевич Сергей Владимирович (RU),  
Торженова Татьяна Владимировна (RU),  
Трухин Игорь Иванович (RU),  
Буренин Кирилл Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Некрашевич Владимир Федорович (RU)

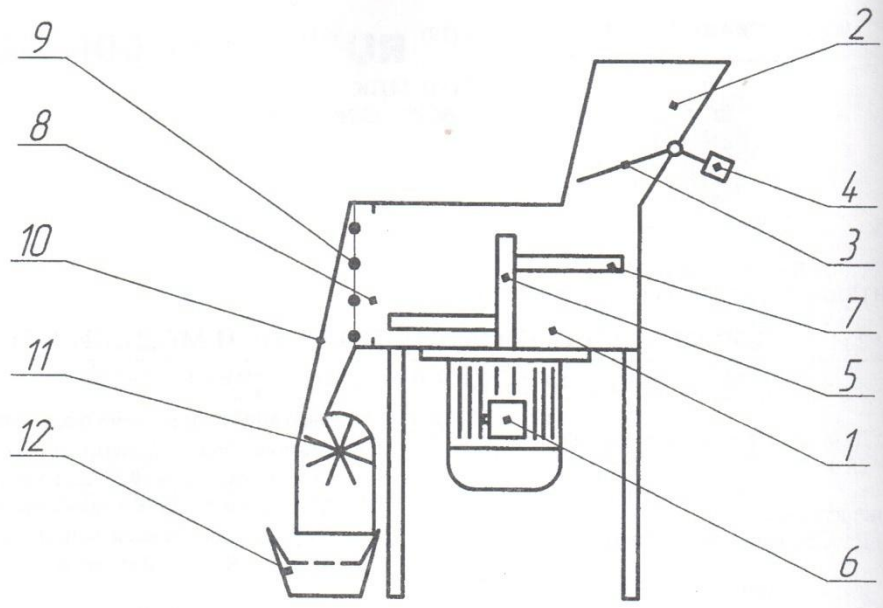
**(54) ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ПЕРГОВЫХ СОТОВ****(57) Формула полезной модели**

1. Измельчитель перговых сотов, содержащий рабочую камеру с загрузочным и выгрузным окнами, внутри корпуса рабочей камеры, на вертикальном валу ротора поярусно и радиально расположены билы в виде стержней и привод, отличающийся тем, что он дополнительно снабжен приставкой в виде выгрузного канала, верхний конец которого через решетку присоединен к выгрузному окну корпуса рабочей камеры, а нижний - снабжен шлюзовым затвором в виде крыльчатки, ось вращения которой смещена от осевой линии выгрузного канала.

2. Измельчитель по п.1, отличающийся тем, что над загрузочным окном корпуса рабочей камеры установлена горловина с расположенной в ней заслонкой с противовесом.

RU 141008 U1

RU 141008 U1



RU 141008 U1

## ПРИЛОЖЕНИЕ П

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 152375

**ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ПЕРГОВЫХ СОТОВ**Патентообладатель(ли): *Некрашевич Владимир Федорович (RU)*Автор(ы): *Некрашевич Владимир Федорович (RU), Некрашевич Сергей Владимирович (RU), Торженова Татьяна Владимировна (RU), Мамонов Роман Александрович (RU), Буренин Кирилл Викторович (RU)*

Заявка № 2014151982

Приоритет полезной модели 16 декабря 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28 апреля 2015 г.

Срок действия патента истекает 16 декабря 2024 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 152 375 (13) U1

(51) МПК  
A01K 59/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

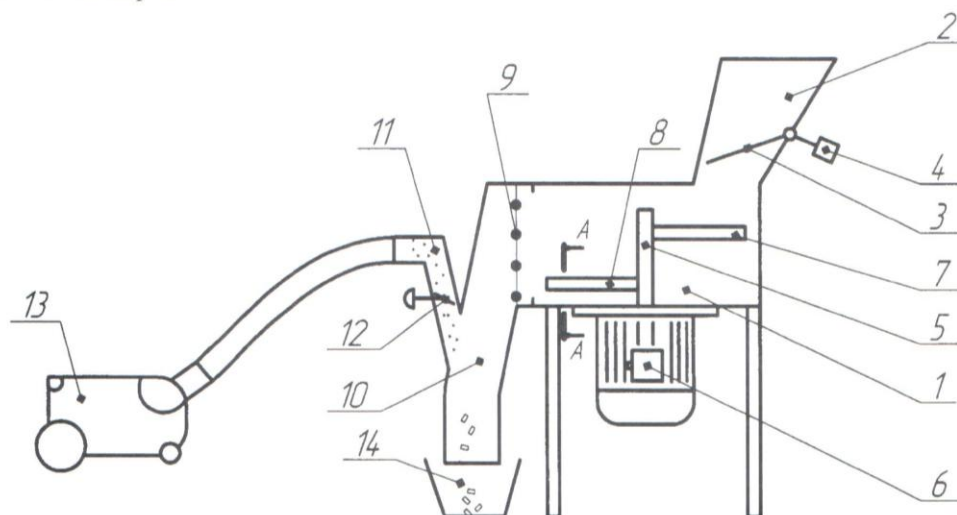
(21)(22) Заявка: 2014151982/13, 16.12.2014  
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 16.12.2014  
 Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 16.12.2014  
 (45) Опубликовано: 27.05.2015 Бюл. № 15  
 Адрес для переписки:  
 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 10, кв. 73.  
 Некрашевичу В.Ф.

(72) Автор(ы):  
 Некрашевич Владимир Федорович (RU),  
 Некрашевич Сергей Владимирович (RU),  
 Торженова Татьяна Владимировна (RU),  
 Мамонов Роман Александрович (RU),  
 Буренин Кирилл Викторович (RU)  
 (73) Патентообладатель(и):  
 Некрашевич Владимир Федорович (RU)

## (54) ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ПЕРГОВЫХ СОТОВ

## (57) Формула полезной модели

1. Измельчитель перговых сотов, содержащий рабочую камеру с загрузочным и выгрузным окнами, при этом выгрузное окно снабжено приставкой в виде выгрузного канала, верхним концом через решетку присоединенной к рабочей камере, внутри рабочей камеры на вертикальном валу ротора поперечно и радиально расположены билы в виде стержней и привод, отличающийся тем, что к внешней стороне приставки присоединен патрубок воздухопровода с заслонкой, связанный с пневмосистемой.
2. Измельчитель по п. 1, отличающийся тем, что поперечное сечение нижней билы выполнено в виде сегмента, хорда которого расположена параллельно плоскости дна рабочей камеры.



Стр.: 1

RU 152375 U1

RU 152375 U1

## ПРИЛОЖЕНИЕ Р



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А.КОСТЫЧЕВА»

# Почётная Грамота

*Награждается*

*асистент кафедры «Механизация животноводства»*

*Буренин*

*Кирилл Викторович*

*За активное участие в работе Международной научно-практической  
конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и их  
инновационные решения»*

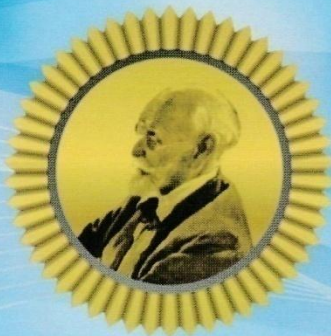
*19-21 ноября 2013 год*

Ректор Рязанского государственного  
агротехнологического университета,  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы



Н.В.БЫШОВ

Правительство Рязанской области  
Совет молодых ученых и специалистов  
при Губернаторе Рязанской области



# ДИПЛОМ

награждается

**Буренин  
Кирилл Викторович**

*аспирант*  
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный  
агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»

за участие в конкурсе  
«Молодой ученый года – 2014 года»  
имени академика И.П. Павлова

Губернатор Рязанской области

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'O.I. Kovalev'.

О.И. Ковалев

Председатель Совета молодых ученых  
и специалистов при Губернаторе  
Рязанской области

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V.E. Vezlomtsev'.

В.Е. Везломцев



# ДИПЛОМ

награждается

**БУРЕНИН**

**Кирилл Викторович**

- аспирант ФГБОУ ВО «Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени профессора П.А. Костычёва»

участник выставки инновационных разработок  
и технологических стартапов в рамках  
VII Всероссийского молодёжного форума  
«Сельское хозяйство - территория возможностей»

Министр  
сельского хозяйства  
Российской Федерации



*А.Н. Ткачев*  
А.Н. Ткачев



Губернатор Рязанской области

# СВИДЕТЕЛЬСТВО


№ 3

*о присуждении  
премии Губернатора Рязанской области  
«Молодой ученый года» в 2016 году*

**Буренину Кириллу Викторовичу**

*аспиранту ФГБОУ ВО  
«Рязанский государственный  
агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»*

за высокие результаты  
в научно-исследовательской деятельности

Губернатор Рязанской области  О.И. Ковалев

г. Рязань, 2016



Губернатор Рязанской области

# ДИПЛОМ

награждается

**Буренин Кирилл Викторович**

*аспирант ФГБОУ ВО  
«Рязанский государственный агротехнологический  
Университет имени П.А. Костычева»*

за участие в конкурсе на присуждение премии  
Губернатора Рязанской области  
«Молодой ученый года»

Губернатор Рязанской области  О.И. Ковалев

г. Рязань, 2016