

*На правах рукописи*

*Нагаев*

НАГАЕВ Николай Борисович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТОПКИ ВОСКА С  
ОБОСНОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО АГРЕГАТА**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» на кафедре «Технические системы в АПК».

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки и техники РФ  
**Некрашевич Владимир Федорович**

**Официальные оппоненты:**

**Курдюмов Владимир Иванович,**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Ульяновская государственная  
сельскохозяйственная академия  
им. П.А.Столыпина», профессор, заведующий  
кафедрой агротехнологий, машин и  
безопасности жизнедеятельности

**Хмыров Виктор Дмитриевич,**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный  
аграрный университет»,  
профессор кафедры технологических  
процессов и техносферной безопасности.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Научно-  
исследовательский институт пчеловодства"  
(ФГБНУ НИИП).

Защита диссертации состоится 5 апреля 2016 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета, тел. (4912) 37-37-40, e-mail: ds220.057.03@yandex.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом - на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации [www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru).

Автореферат разослан «1» марта 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент



А.В. Шемякин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В условиях жестких экономических санкций в нашей стране, покупающей пчелиный воск за рубежом около 700 тонн ежегодно, все острее стоит проблема импортозамещения этого продукта. Разрешение сложившейся ситуации осуществимо при соблюдении отечественными пчеловодами определенной дисциплины по сбору воска во время активной отстройки пчелами сотов. Кроме того на пасеках нашей страны используются морально устаревшие воскотопки способные извлекать не более 70 % воска из воскового сырья. Остальной воск, остающийся в мерве, в большинстве случаев не отжимается и не сдается в соответствующие организации для более полного извлечения.

Ситуация на внутреннем рынке обязывает на крупных и средних пасеках пчеловодов использовать на пасеках более современные и эффективные установки способные извлекать больше воска из того же количества воскового сырья для решения проблем импортозамещения этого продукта. Повысить эффективность процесса вытопки воска возможно благодаря отжиму разваренной мервы, в которой содержится в связанном состоянии около 40-50% воска. Кроме того, необходимо повышать качество получаемого воска с помощью фильтрации в процессе отжима.

**Степень разработанности темы.** Анализ современной теории процесса вытопки воска, способов и оборудования для его вытопки, изложены в работах: К.В. Богомолва, Н.В. Бышова, Л. В. Давыдова, Д.Е. Каширина, Ю.Н. Кирьянова, В.Ф. Некрашевича, А. Ритше, А.А. Рогова, А. Рута, В.А. Темнова и других авторов показал, что вопрос получения большего количества воска высокого качества при его вытопке требует более тщательного изучения и исследования.

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)», а так же инновационного проекта У.М.Н.И.К (г. Рязань, 2014г.) по теме «Разработка энергоресурсосберегающей технологии и агрегата для вытопки воска паром с отжатием мервы»

**Цель исследований.** Повышение эффективности процесса вытопки воска путем разработки центробежного агрегата, увеличивающего его выход.

**Объект исследований.** Процесс вытопки воска с использованием центробежного агрегата.

**Предмет исследований.** Закономерности влияния параметров центробежного агрегата на выход воска.

**Задачи исследования:**

1 – провести анализ существующих способов вытопки воска и определить направление совершенствования устройств для его вытопки;

2 – исследовать физико-механические и теплофизические свойства воскового сырья и воска;

3 – разработать рабочий процесс центробежного агрегата для вытопки воска;

4 – обосновать теоретически и экспериментально уточнить параметры центробежного агрегата для вытопки воска;

5 – произвести проверку разработанного центробежного агрегата для вытопки воска в производственных условиях и определить экономическую эффективность его применения.

**Научная новизна** диссертационной работы:

- рабочий процесс центробежного агрегата для вытопки воска;
- параметры центробежного агрегата для вытопки воска;
- результаты экспериментальных исследований центробежного агрегата для вытопки воска.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложенные теоретические зависимости позволяют расчетным путем определять конструктивно-режимные параметры центробежного агрегата для вытопки воска. Новизна подтверждена патентом на изобретение РФ №2528960 «Агрегат для вытопки воска». Разработанный центробежный агрегат позволяет увеличить выход воска и снизить энергоемкость процесса вытопки. Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют большую практическую значимость для конструкторских, проектных организаций и пчеловодческих предприятий.

**Методология и методы исследований.** При проведении теоретических исследований использовались известные законы физики, теоретической и прикладной механики, а так же математики. При осуществлении лабораторных исследований свойств воскового сырья и воска применялись общеизвестные методики и разработанные на их базе – частные. Лабораторные и производственные испытания проводились с использованием современных электронных и механических устройств, установок и приборов специально разработанных и изготовленных. Обработка экспериментальных данных исследований осуществлялась методом математической статистики с использованием ПК и современных компьютерных программ: Statistica 10, Mathematica 10, Mathcad 15, Microsoft Excell 15.

**Положения, выносимые на защиту:**

- рабочий процесс центробежного агрегата для вытопки воска;
- параметры центробежного агрегата для вытопки воска;
- результаты лабораторных исследований параметров центробежного агрегата для вытопки воска;
- результаты проверки эффективности разработанного центробежного агрегата для вытопки воска в производственных условиях.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и обеспечена применением современных методик, контрольно-измерительной аппаратуры и средств обработки результатов экспериментов. Разработанный центробежный агрегат

прошел производственную проверку в ОАО «Рязанская пчела» и крупных пасеках Рязанской области.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях «Пчела и человек» Дом науки ФГБНУ ВСТИСП, Рязанского ГАТУ, Пензенской ГСХА, Белгородского ГАУ 2012 – 2015г, опубликованы в 13 научных работах, в том числе в 6 изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патентах РФ на изобретение и полезную модель.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** отражена актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, выполненной работы. Приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** «Анализ способов и устройств для вытопки воска из воскового сырья» представлен обзор и анализ существующих способов, конструкций устройств и выполненных исследований по изучению процесса вытопки воска. Аргументирована необходимость создания агрегата для вытопки, обеспечивающего высокий выход качественного воска и дезинфекцию рамок, для увеличения количества получаемого воска с помощью отжима разваренного воскового сырья.

Вопросами тепловой обработки и отжима сельскохозяйственной продукции занимались: Бышов Н.В., Иойриш Н.П., Каширин Д.Е., Кован Т.В., Курдюмов В.И., Хмыров В.Д.. В области совершенствования технологий и устройств для вытопки воска трудились: Кирьянов Ю.Н., Кован Т.В., Некрашевич В.Ф., Ритше, Рогов А.А., Рут А., Темнов В.А., Чудаков В.Г., Ярцев А.Н. и другие.

Однако, вопросы повышения выхода качественного воска остаются актуальными и требуют дальнейшего изучения.

**Во втором разделе** «Физико-механические и теплофизические свойства воскового сырья и воска» изложены программа и методика исследований, приведены методы исследования коэффициентов трения воскового сырья и воска, вязкости воска выше температуры плавления, коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и удельной теплоемкости воскового сырья. Так же выявлены и представлены графические зависимости данных свойств воска и воскового сырья от изменения температуры. Представлено описание используемых для проведения исследований приборов, установок и контрольно-измерительной аппаратуры.

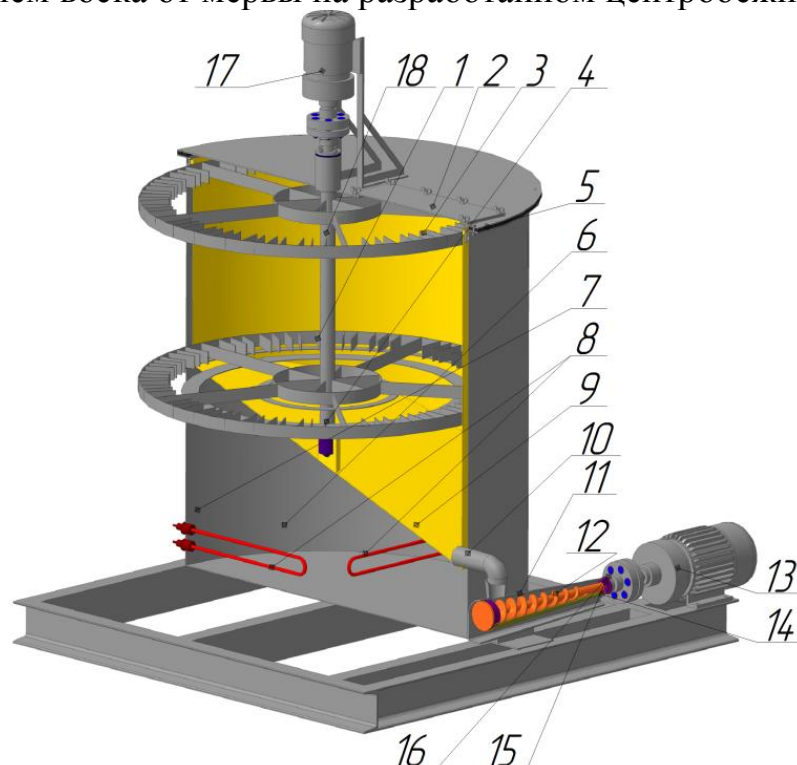
Углом наклона стальной поверхности для свободного стекания разваренного воскового сырья следует считать  $50^{\circ}$ .

При повышении температуры от  $65$  до  $85^{\circ}\text{C}$  вязкость воска уменьшается с  $25,61$  до  $16,37$  МПа·с.

При исследовании теплофизических свойств воскового сырья установлено, что при повышении температуры воскового сырья от  $25^{\circ}\text{C}$  до  $65^{\circ}\text{C}$  для фракции менее  $2$  мм происходит увеличение коэффициента температуропроводности от  $8,9 \cdot 10^{-8}$  до  $75,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициента теплопроводности от  $0,06$  до  $0,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$  и удельной теплоемкости от  $0,44$  до  $2,44 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ . Для фракции  $2,0-4,0$  мм

варьирование коэффициента температуропроводности от  $11,8 \cdot 10^{-8}$  до  $84,2 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициента теплопроводности от 0,074 до 0,95 Вт/(м·°С) и удельной теплоемкости от 0,63 до 2,72 кДж/(кг·°С). Для фракции 4,0-7,0 мм изменение коэффициента температуропроводности от  $15,2 \cdot 10^{-8}$  до  $95,9 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициента теплопроводности от 0,123 до 1,03 Вт/(м·°С) и удельной теплоемкости от 1,05 до 3,34 кДж/(кг·°С).

**В третьем разделе** «Теоретическое исследование процесса вытопки воска с использованием центрифуги с отжатием мервы шнековым прессом» дано описание усовершенствованного процесса вытопки воска из рамок с восковым сырьем с отжатием воска от мервы на разработанном центробежном агрегате.



1 – центрифуга; 2 – люк для загрузки рамок; 3 – держатели; 4 – парообразователь; 5 – крышка; 6 – бак для воды; 7 – водомерное стекло; 8 – ТЭНы, 9 – дно камеры центрифуги; 10 – сливной патрубков; 11 – воскопресс; 12 – прессующий шнек; 13 – мотор-редуктор привода воскопресса; 14 – фильтр сетка; 15 – выгрузное отверстие; 16 – регулировочный винт; 17 – мотор-редуктор привода центрифуги; 18 – ротор.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема центробежного агрегата для вытопки воска (Патент № РФ № 2528960)

Процесс вытопки воска из рамок с восковым сырьем представляет собой последовательное выполнение следующих операций:

- загрузка рамок с восковым сырьем в центрифугу;
- разваривание насыщенным паром воскового сырья;
- очистка рамок от остатков воскового сырья;
- перемещение разваренной массы в воскопресс;
- отпрессовка воскового сырья
- сбор чистого воска и вытопок

Центробежный агрегат для вытопки воска из рамок с восковым сырьем работает следующим образом. В центрифугу 1 через люк 2 загружаются

радиально гнездовые и магазинные рамки и закрепляются в держателях 3. Парообразователь 4 закрывается герметичной крышкой 5. В бак 6 заливается вода. Уровень воды контролируется через водомерное стекло 7. Нагревательные ТЭНы 8 подключаются к электрической сети и нагревают воду до температуры кипения ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При кипении воды выделяется насыщенный пар, который распространяется в центрифуге. Происходит процесс разваривания воскового сырья в рамках. Разваренное восковое сырье под действием силы тяжести попадает на наклонное дно 9 центрифуги и перемещается сначала в сливной патрубков 10, а затем в воскопресс 11. Разваренное восковое сырье с механическими примесями подпрессовывается при помощи вращения прессующего шнека 12 конусовидной формы, получающего привод от мотор-редуктора 13, и фильтра-сетки 14. Воск и конденсат проникает через фильтр-сетку и стекает в соответствующую ёмкость для сбора, а выжимки с механическими примесями удаляются через выгрузное отверстие 15 воскопресса в другую ёмкость (ёмкости для сбора не показаны). Степень подпрессовки разваренной массы устанавливается регулировочным винтом 16, расположенным на выходном отверстии пресса. При этом увеличивается выход чистого воска. После того, как основная часть воскового сырья разварилась и стекла в воскопресс, включается в работу центрифуга. Она начинает вращаться с помощью мотор-редуктора 17 приводится в действие ротор 18, с закрепленными в держателях рамками. Под действием центробежных сил от рамок отделяются остатки воскового сырья, и тем же путем, что и основная масса разваренного сырья попадают в воскопресс для опрессовки. После этого открывается люк, заменяются рамки с восковым сырьем на новые, при необходимости доливается вода, и процесс вытопки воска продолжается.

Количество рамок, которые возможно разместить в агрегате при заданных геометрических характеристиках определяется из условия:

$$n = \frac{360^{\circ}}{4 \cdot \arcsin\left(\frac{L_{\text{рамки}}^2}{R_{\text{ротора}}^2}\right)}, \text{ шт} \quad (1)$$

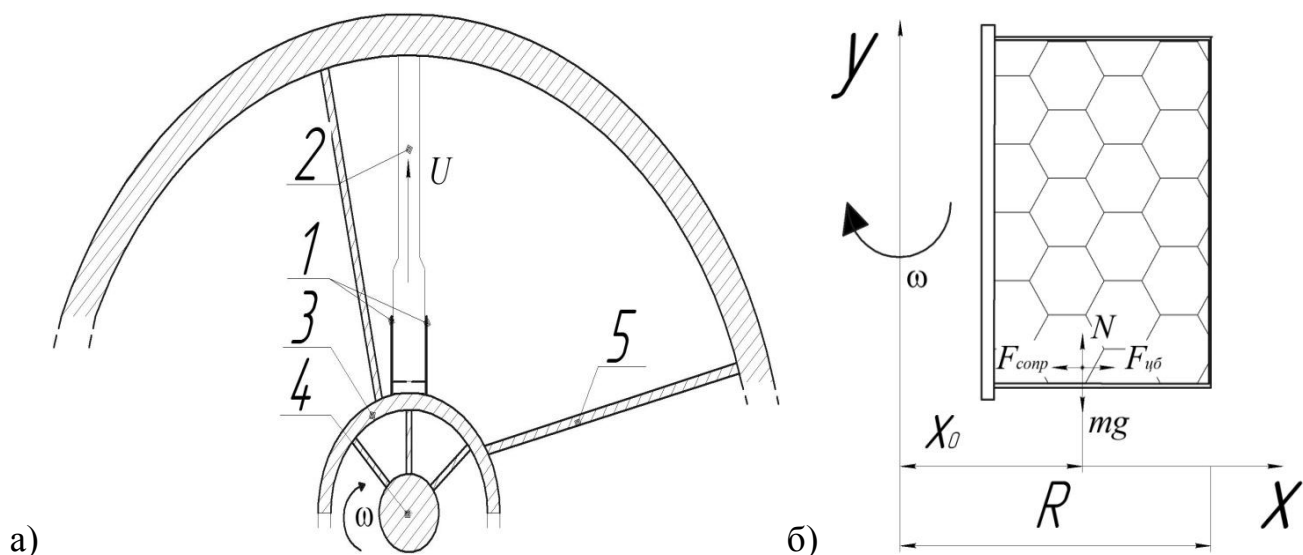
где  $L_{\text{рамки}}$  – общая длина окружности для размещения рамки, м;

$R_{\text{ротора}}$  – радиус внутренней обечайки ротора, м.

Для обоснования количества и мощности ТЭНов был рассчитан тепловой баланс центробежного агрегата с учетом потерь в окружающую среду.

В результате анализа очистки рамок от разваренного воскового сырья установлено, что наибольшее время будет занимать отделение восковых капель с боковых планок рамки. Для выявления закона движения восковой капли по боковой планке рамки рассмотрим расчетную схему (рис. 2)

Так как мы имеем дело с разваренным воском, желеобразной консистенции, при его отрыве от боковых планок необходимо учесть силы внутреннего сцепления, которые характеризуются коэффициентом вязкости.



1 – держатель; 2 – рамка с восковым сырьем; 3 – внутренняя обечайка ротора; 4 – ротор; 5 – ступицы.

Рисунок 2 – Размещение рамки в центрифуге (а), действие сил на каплю воска в процессе центрифугирования (б)

Спроецировав силы на координатные оси, составим дифференциальное уравнение движения капли разваренного воскового сырья:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{цб} - F_{сопр} \quad (2)$$

где  $m$  – масса элементарной восковой капли, кг;

$F_{цб}$  – сила инерции капли, Н;

$F_{сопр}$  – сила сопротивления, обусловленная вязкостью воска, Н.

Распишем силу инерции и сопротивления:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m\omega^2 x - ku \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения центрифуги, рад/с;

$x$  – расстояние от капли до оси вращения, м;

$k$  – коэффициент вязкости, Па·с/м;

$u$  – скорость капли воска, м/с.

Затем решив дифференциальное уравнение, получим закон перемещения капли разваренного воскового сырья в процессе отделения от рамок центробежными силами, применение которого позволяет определить значения частоты вращения ротора центрифуги и времени его вращения.

$$x = \frac{\omega^2 x_0 e^{\left(\frac{k}{2m} - \sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \omega^2}\right)t}}{2 \left(\sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \omega^2}\right)} + \frac{\omega^2 x_0 e^{\left(\frac{k}{2m} + \sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \omega^2}\right)t}}{-2 \left(\sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \omega^2}\right)}, \text{ м} \quad (4)$$

Подставив известные величины в выражение (4), построим зависимость перемещения капли воска от частоты вращения ротора центрифуги (рис. 3) приняв массу капли равной 0,03 г.



На рисунке 3 показан штриховыми линиями диапазон вращения ротора центрифуги, при котором достигается полное очищение рамок от воскового сырья в процессе центрифугирования. Данные значения варьируются от 250 до 370 мин<sup>-1</sup>. При меньшей частоте вращения разваренный воск остается на планке рамки, а при большей частоте будет чрезмерно разбрызгиваться на стенки агрегата, что потребует большего времени на перемещение его в воскопресс.

На рисунке 4 показан штриховыми линиями диапазон времени вращения ротора центрифуги, при котором достигается полное очищение рамок от воскового сырья в процессе центрифугирования. Данные значения варьируются от 110 до 260 с. При времени вращения ротора меньше указанных значений, рамки не очистятся полностью. Более продолжительное время вращать рамки нет необходимости, так как на них уже не будет воскового сырья.

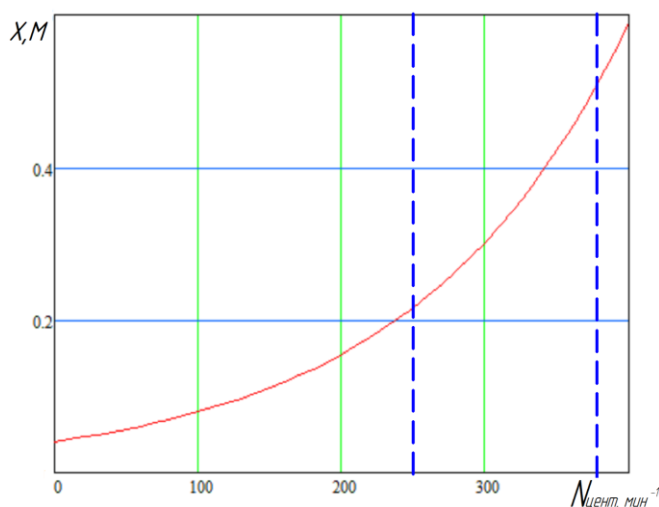


Рисунок 3 — Зависимость перемещения (x) капли воска от частоты вращения ротора центрифуги ( $N_{цент}$ )

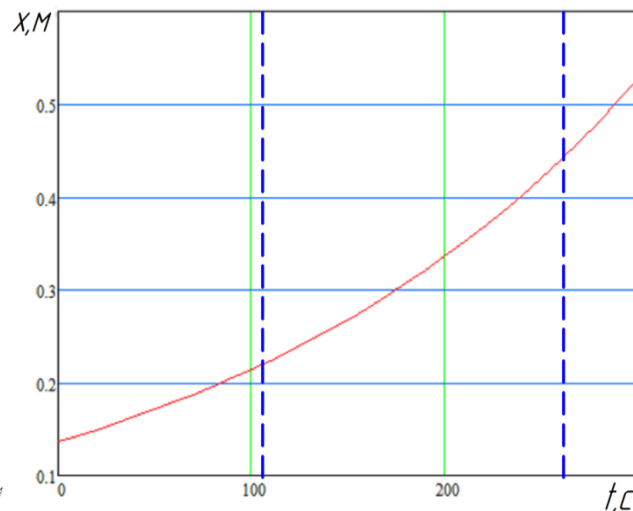


Рисунок 4 — Зависимость перемещения (x) капли воска от времени вращения ротора центрифуги (t)

**В четвёртом разделе** «Исследование процесса вытопки воска из рамок с восковым сырьем в лабораторных условиях» приведены программа и методики исследований, изложено описание опытного образца центробежного агрегата, оборудования и приборов, представлены результаты исследований. Обработка полученных данных проводилась согласно приведенной методике с использованием программ STATISTICA 10, Wolfram Mathematica 10 с помощью ЭВМ.

В результате лабораторных исследований процесса вытопки воска из рамок с восковым сырьем был получен ряд зависимостей. Из них видно, что при увеличении частоты вращения ротора центрифуги с 200 до 750 мин<sup>-1</sup> (рис. 5), энергоемкость процесса плавно возрастает с 929 до 1142 Вт·ч/кг. При этом выход воска увеличивается с 72,2 до 82,0 %. При частоте вращения ротора более 500 мин<sup>-1</sup> наблюдалось разрушение рамок.

С увеличением частоты вращения шнека воскопресса от 50 до 300 мин<sup>-1</sup> (рис б) энергоемкость процесса вытопки возрастает от 911 до 960 Вт·ч/кг. Выход

воска увеличивается с 78,2 до 82,1 %, достигая максимального значения 82,1 % при частоте вращения  $200 \text{ мин}^{-1}$ .

Из представленных зависимостей (рис. 7) видно, что при увеличении подачи пара с 10 до 30 г/мин происходит уменьшение энергоёмкости процесса вытопки от 987 до 907 Вт·ч/кг и выход воска плавно растёт от 81,2 до 82,1 %.

Для выявления рациональных режимов работы опытного образца центробежного агрегата при вытопке воска из рамок с восковым сырьём был проведён трёхфакторный эксперимент по определению совокупного влияния ранее обозначенных факторов на энергоёмкость процесса и выход воска.

Выявление факторов и уровней их варьирования осуществлялось в ходе постановочных экспериментов: изменение частоты вращения ротора центрифуги от 200 до 400  $\text{мин}^{-1}$ , частоты вращения шнека воскопресса от 100 до 300  $\text{мин}^{-1}$ , подачи пара от 10 до 30 г/мин.

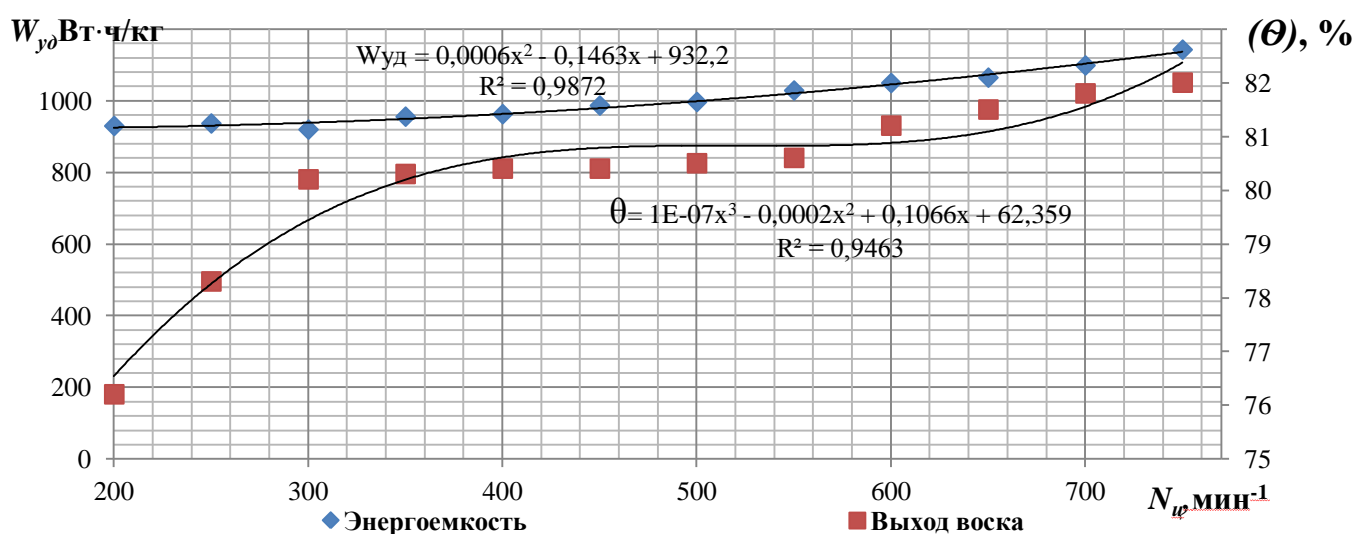


Рисунок 5 – Изменение энергоёмкости процесса вытопки ( $W_{уд}$ ) и выхода воска ( $\theta$ ) от частоты вращения ротора центрифуги ( $N_{ц}$ )

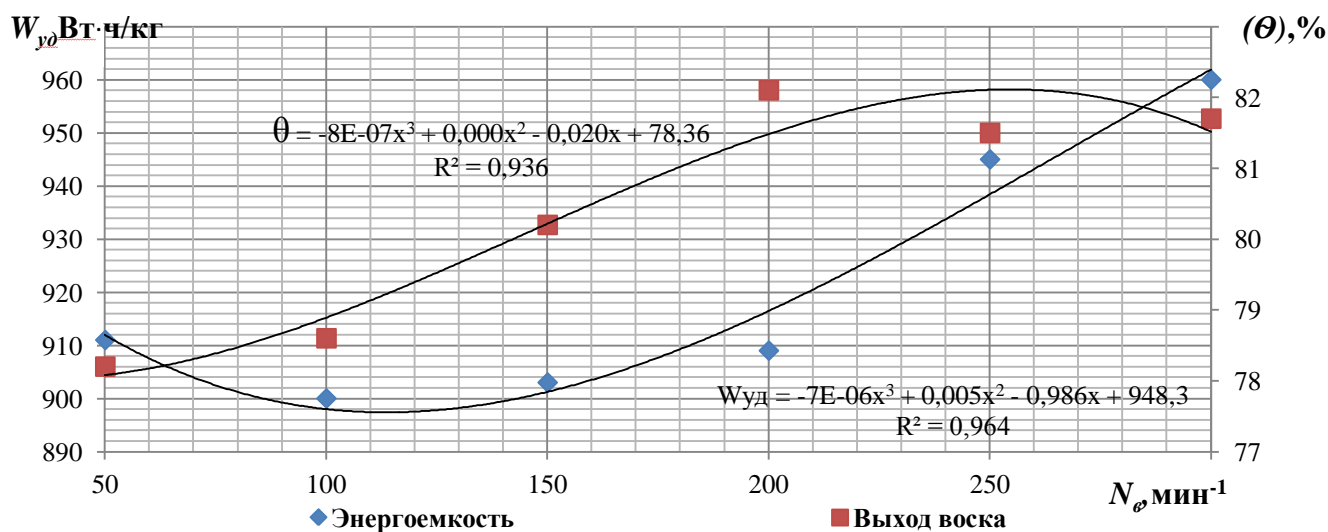


Рисунок 6 – Изменение энергоёмкости процесса вытопки ( $W_{уд}$ ) и выхода воска ( $\theta$ ) от частоты вращения шнека воскопресса ( $N_{ш}$ )

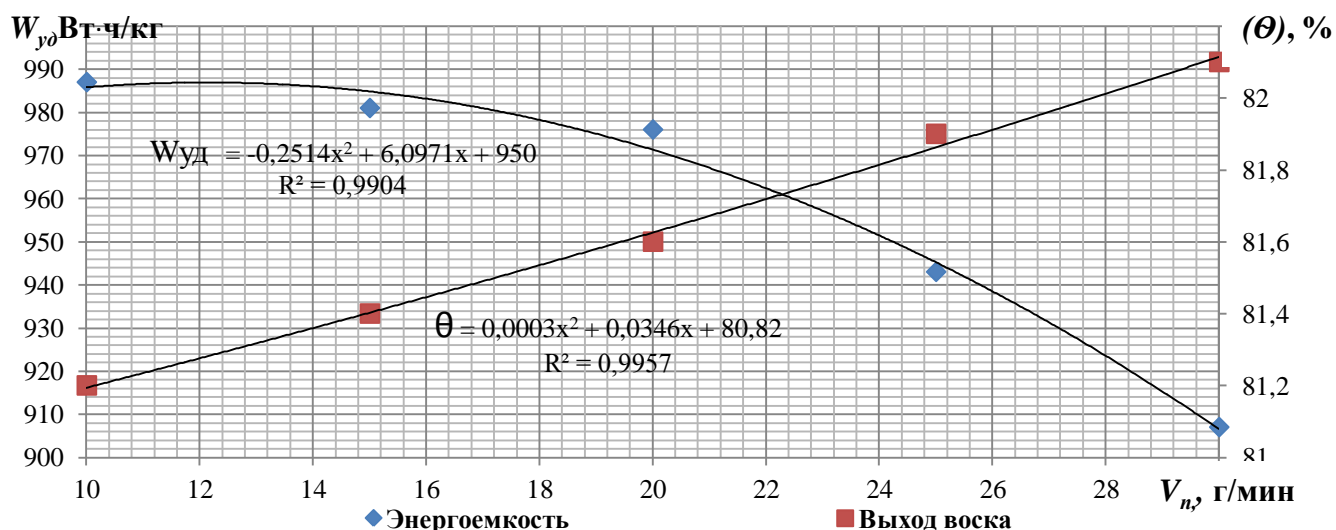


Рисунок 7 – Изменение энергоёмкости процесса вытопки ( $W_{уд}$ ) и выхода воска ( $\theta$ ) от подачи пара ( $V_n$ )

В результате обработки результатов многофакторного эксперимента на ЭВМ, получены следующие адекватные модели регрессии. Для определения выхода воска,  $\theta$  (%)

$$\theta = 71,8603 + 0,0282144x - 0,000076432x^2 + 0,0325403y + 0,0000498576xy - 0,000105324y^2 + 0,00188291z + 0,0003xz - 0,000075yz + 0,00154668z^2 \quad (5)$$

где  $x$  – частота вращения ротора центрифуги,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $y$  – частота вращения шнека воскопресса,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $z$  – подача пара, г/мин.

Для определения энергоёмкости,  $W_{уд}$  (Вт·ч/кг)

$$W_{уд} = 1002,65 + 0,231013x - 0,00033038x^2 - 0,043481y + 0,000149051xy + 0,0000936709y^2 - 4,89589z - 0,00275xz - 0,00125yz + 0,116772z^2 \quad (6)$$

Полученные модели регрессии были проверены на адекватность с помощью критерия Фишера.

Математические модели (5, 6) позволяют расчетным путем определить численные значения выхода воска и энергоёмкости процесса вытопки в пределах варьирования уровней факторов эксперимента.

Анализ и исследование полученных моделей проводился с целью уточнения параметров центробежного агрегата при помощи компьютерной программы «Statistica 10» в результате были построены графические зависимости частных сечений выхода воска и энергоёмкости процесса вытопки воска при фиксированных значениях подачи пара, частоты вращения ротора центрифуги и частоты вращения шнека воскопресса. Приведены поверхности отклика при фиксированной подаче пара 30 г/мин (рис. 8)

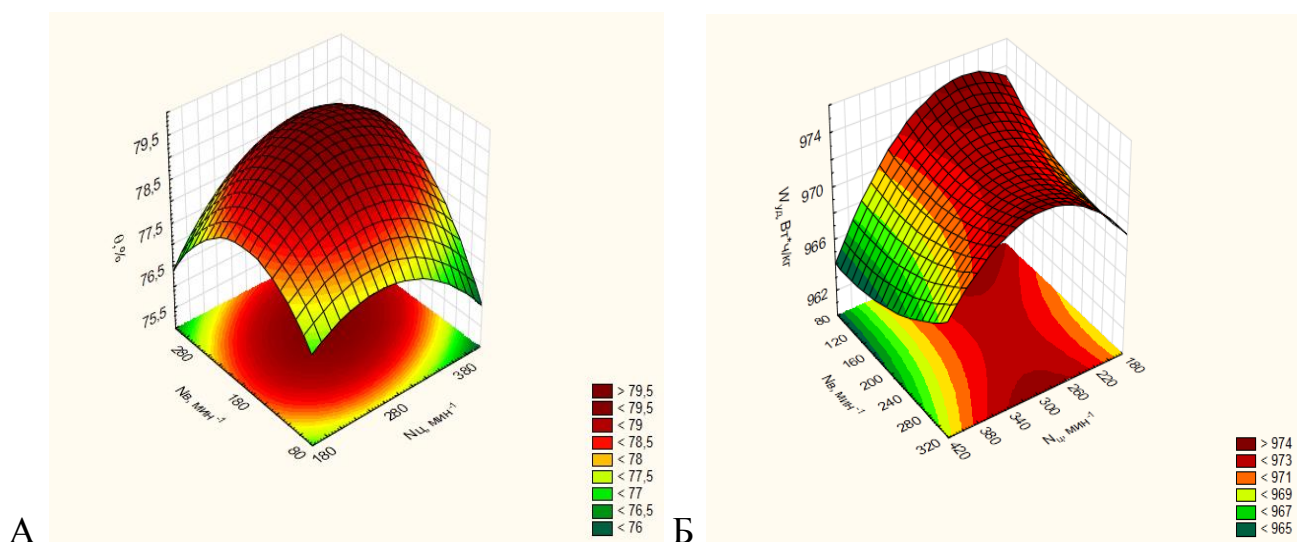


Рисунок 8 – Поверхности отклика, характеризующая выход воска (А) и энергоёмкости (Б) от частоты вращения ротора центрифуги  $N_{ц}$  и частоты вращения шнека воскопресса  $N_{ш}$  при расходе пара  $V_n=30$  г/мин

Из рисунка 8 видно, что максимального выхода воска центробежный агрегат достигает при следующем режиме работы: частота вращения ротора центрифуги  $310 \text{ мин}^{-1}$ , частота вращения шнека воскопресса  $190 \text{ мин}^{-1}$  и подача пара  $30 \text{ г/мин}$ .

**В пятом разделе** «Испытание центробежного агрегата для вытопки воска в производственных условиях и экономическая эффективность его применения» изложены программа и результаты производственных испытаний, методика и расчёт экономической эффективности разработанного центробежного агрегата для вытопки воска. На основании результатов теоретических и лабораторных исследований процесса вытопки воска из рамок с восковым сырьем, была разработана техническая документация и изготовлен опытно-производственный образец центробежного агрегата (рис. 9). Разработанный центробежный агрегат для вытопки воска был испытан в лаборатории инновационных и энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в растениеводстве и животноводстве с привлечением сотрудников ОАО «Рязанская пчела» и частных пчеловодов Рязанской области, предоставивших сырье для испытаний.

За время производственных испытаний центробежного агрегата было вытоплено  $45 \text{ кг}$  воска, который реализовывался на ЗАО Пчеловодный комбинат «Коломенский». Подтвержден рациональный режим работы: время разваривания воскового сырья в рамках от  $16$  до  $27$  минут в зависимости от срока их использования в улье, после этого предусмотрено включение центрифуги на  $2$  минуты для отделения остатков воскового сырья от рамок при частоте вращения ротора  $310 \text{ мин}^{-1}$ , затем отпрессовка сырья в воскопрессе при частоте вращения шнека  $190 \text{ мин}^{-1}$ , и подаче пара  $30 \text{ г/мин}$ . При этом энергоёмкость процесса вытопки составляет  $989 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$ . Установлено, что для работы агрегата необходимо в среднем  $0,79$  литра воды на один цикл вытопки или  $0,19$  литра на килограмм воскового сырья.



1 – центрифуга; 2 – парогенератор; 3 – крышка агрегата; 4 – привод центрифуги; 5 – ротор; 6 – малая обечайка; 7 – большая обечайка; 8 – держатели; 9 – спицы; 10 – наклонное дно; 11 – втулка; 12 – патрубок центрифуги; 13 – воскопресс; 14 – загрузочная горловина воскопресса; 15 – корпус воскопресса; 16 – прессующий шнек; 17 – фильтр-сетка; 18 – выгрузное отверстие воскопресса; 19 – емкость для сбора чистого воска; 20 – емкость для сбора выжимок; 21 – привод воскопресса; 22 – магазинная рамка.

Рисунок 9 – Общий вид и основные узлы опытно-производственного образца центробежного агрегата для вытопки воска из рамок с восковым сырьем (Патент РФ № 2528960)

В итоге проведенных испытаний было получено из 1 кг воскового сырья восковитостью 90,1% воска 0,786 кг воска или 78,6 %, что составляет 87,2%. При этом получилось вытопок 0,2136 кг восковитостью 22,2 %. Это свидетельствует о работоспособности агрегата и его высоких показателях по выходу воска.

Годовая прибыль от реализации произведенного воска с помощью центробежного агрегата при переработке 240 кг воскового сырья составила 37064,06 рублей. Выход воска по сравнению с существующими паровыми воскотопками увеличился на 15%. Срок окупаемости агрегата – 1,75 года

### Заключение

1. Анализ существующих способов и средств вытопки воска из воскового сырья показал, что современные паровые устройства способны извлекать не более 70% воска из воскового сырья. Поэтому нами предлагается усовершенствованный процесс вытопки воска, который должен включать загрузку рамок в центрифугу, разваривание воскового сырья насыщенным паром, отделение остатков воскового

сырья от рамок центробежными силами с последующим отжимом воска от мервы в разогретом состоянии в шнековом прессе.

2. Установлено, что при повышении температуры от 65 до 85<sup>0</sup>С вязкость воска уменьшается с 25,61 до 16,37 МПа·с.

Определено, что углом наклона стальной поверхности для свободного стекания разваренного воскового сырья следует считать 50<sup>0</sup>.

3. Рабочий процесс центробежного агрегата должен быть организован следующим образом. Восковое сырье, содержащееся в рамках, установленных в центрифуге разваривается насыщенным паром, затем под действием силы тяжести попадает на наклонное дно камеры центрифуги и скатываясь по нему попадает в воскопресс. После того как основная масса воскового сырья разварилась и попала в воскопресс, включается в работу ротор центрифуги, с целью отделения остатков воскового сырья от рамок и последующей отпрессовкой из него воска шнеком.

4. Теоретически установлено, что частота вращения ротора центрифуги для отделения воскового сырья от рамок варьируется от 250 до 370 мин<sup>-1</sup>, при времени вращения от 110 до 260 с.

Экспериментально уточнены параметры центробежного агрегата: частота вращения ротора центрифуги 310 мин<sup>-1</sup>, время вращения рамок в центрифуге 2 минуты, частота вращения шнека воскопресса 190 мин<sup>-1</sup>, подача пара 30 г/мин.

5. Установлено, что при усовершенствованном процессе вытопки из 1 кг воскового сырья восковитостью 90,1% получено 0,786 кг воска или 78,6 %. При этом получилось вытопок 0,2136 кг восковитостью 22,2 %.

Определено, что удельные энергозатраты на вытопку воска с применением предлагаемого агрегата составляют 989 Вт·ч/кг и удельные затраты труда – 0,26 чел·ч/кг.

6. Годовая прибыль от реализации произведенного воска с помощью центробежного агрегата при переработке 240 кг воскового сырья составила 37064,06 рублей. Выход воска увеличился по сравнению с существующими паровыми воскотопками на 15%.

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

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении разработки и создания технических средств для вытопки воска из измельченного воскового сырья и пасечных вытопок.

**Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

#### **Статьи в изданиях рекомендованных ВАК РФ:**

1. Нагаев, Н.Б. Исследование процесса вытопки воска [Текст] / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Н.Е. Лузгин, Т.В. Торженова, Н.А. Грунин //Пчеловодство. – 2014. – №3. – С.50-51.

2. Нагаев, Н.Б. Оптимальный угол течения воска [Текст] / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, Н.А. Грунин, Д.А. Епифанцев // Пчеловодство – 2014. – № 10. – С. 45-48.
3. Нагаев, Н.Б. Тепловой баланс центробежного агрегата для вытопки воска из пчелиных сотов АВВЦ 20/19 [Текст] / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета – 2014, – №4 (24). – С. 124-128.
4. Нагаев, Н.Б. Центробежный агрегат для вытопки воска из пчелиных сотов АВВЦ 20/19 [Текст] / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Т.В. Торженова, Д.А. Епифанцев, М.В. Урляпов // Пчеловодство – 2015. – № 2.– С. 52-53.
5. Нагаев, Н.Б. Испытания агрегата для вытопки воска из рамок [Текст] / В.Ф. Некрашевич, Н.Б. Нагаев, Н.А. Грунин, К.В. Буренин // Сельский механизатор 2015. – № 7.– С. 26-27.
6. Нагаев, Н.Б. Теоретическое исследование процесса отделения воскового сырья центробежными силами [Текст] / В.Ф. Некрашевич, А.С. Попов, Н.Б. Нагаев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета – 2015. – №3 (27). – С. 76-79.

#### **Патенты на изобретения и полезные модели:**

1. Патент Российской Федерации № 2528960, МПК А01К 59/06. Агрегат для вытопки воска [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., Торженова Т.В., Липин В.Д.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ - 2013112090/13.; заявл. 18.03.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 26, - 11 с.: ил.
2. Патент Российской Федерации № 155462, МПК А01К 59/06. Агрегат для вытопки воска [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., Торженова Т.В., Липин В.Д., Д.А. Епифанцев, М.В. Урляпов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ - 2014148450/05, 01.12.2014; заявл. 01.12.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28, - 11 с.: ил.

#### **В других изданиях:**

1. Нагаев, Н.Б. Агрегат для вытопки воска [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., //Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения// Ряз. гос. агротех. ун-т. – Рязань, 2013. – С. 116-120.
2. Нагаев, Н.Б. Исследование адгезионных и пластических свойств воска [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., Грунин Н.А. // Сбор. науч. трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной юбилею специальных кафедр инженерного факультета // Ряз. гос. агротех. ун-т. – Рязань, 2013. – С. 54-58.
3. Нагаев, Н.Б. Исследование вязкости расплавленного воска [Текст] / Лузгин Н.Е., Грунин Н.А., Исаев А.Е., Нагаев Н.Б. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные

приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития» // Ряз. гос. агротех. ун-т. – Рязань, 2013. – С. 71-75.

4. Нагаев, Н.Б. Определение теплофизических свойств воскового сырья [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., Мамонов Р.А., Лузгин Н.Е., Грунин Н.А., Урляпов М.В., Ушаков А.И.// Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Том II.// РИО ПГСХА – Пенза, 2015. – С.115-119.

5. Нагаев, Н.Б. Исследование теплофизических и реологических свойств воскового сырья и воска [Текст] / Некрашевич В.Ф., Нагаев Н.Б., Лузгин Н.Е., Грунин Н.А., Урляпов М.В., Ушаков А.И. Водяков В.Н.// Сборник по материалам онлайн – конференции посвященной Дню российской науки «Исследования молодых ученых – аграрному производству» Типография Белгородского ГАУ – Белгород, 2015. – С. 102-110.

6. Нагаев, Н.Б. Обоснование оптимального угла течения разваренного воскового сырья [Текст] / Сборник по материалам 66-й Международной конференции посвященной 170 – летию со дня рождения профессора П.А. Костычева «Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона» Часть 2 // Ряз. гос. агротех. ун-т. – Рязань, 2015. – С. 200-203.

7. Нагаев, Н.Б. Инновационные технологии и агрегаты для вытопки воска [Текст]/ Сборник по материалам Сборник по материалам XIX Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий»// ФГБОУ ВО ОрелГАУ, – Орел, 2015, –С.201-202



*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз. Заказ № 1296  
подписано в печать 26.02.2016*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П. А. Костычева»*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и  
учебно-методических пособий*

*ФГБОУ ВО РГАТУ*

*390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1*