

На правах рукописи



Мамонов Роман Александрович

ТЕХНОЛОГИЯ И СУШИЛКА ПЫЛЬЦЕВОЙ ОБНОЖКИ

Специальность 05.20.01 - технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2008

Работа выполнена на кафедре “Механизация животноводства” ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора П. А. Костычева».

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Цекрашевич Владимир Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Курдюмов Владимир Иванович
ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА»;
кандидат технических наук, доцент
Тришкин Иван Борисович
ФГОУ ВПО «Рязанская ГСХА»

Ведущее предприятие: ГНУ «Научно-исследовательский институт
пчеловодства».

Защита состоится: “ 17 ” июня 2008 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.02 при ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия» по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия» и на сайте: www.rgsha.ru

Автореферат разослан “14” мая 2008 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, Ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.В. Шемякин

2008А
6206

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из отраслей сельского хозяйства, которая может повысить уровень развития земледелия и животноводства является пчеловодство. От пчелиной семьи получают ряд ценных продуктов (мед, пчелиный яд, прополис, воск, маточное молочко, перга, пыльцевая обножка и другие), которые широко используются в народном хозяйстве.

Обножка является одним из ценных продуктов пчеловодства. Она богата питательными и биологически активными соединениями, такими как белки, жиры, углеводы, витамины, ферменты, гормоны, минеральные вещества и т.д. Поэтому она широко применяется в косметической, медицинской и пищевой промышленности.

Одной из важнейших операций технологии заготовки пыльцевой обножки является сушка непосредственно на пасеке. Именно от этой операции во многом зависит качество производимой обножки, так как ее сушка должна осуществляться в условиях, предотвращающих развитие в ней вредных микроорганизмов, личинок насекомых и возникновение необратимых изменений, которые могут привести к ухудшению качества продукта. Однако операция сушки обножки остается малоизученной, ее режимы не исследованы, а существующие конструкции сушильных установок из-за низкой производительности, неравномерности прогрева слоя материала и больших затрат энергии на процесс сушки не могут быть использованы для ее промышленного производства.

Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности процесса сушки пыльцевой обножки, являются актуальными, нужными и полезными.

Цель исследований. Повышение эффективности процесса сушки пыльцевой обножки путем разработки технологии и сушилки с обоснованием ее режимов работы, обеспечивающих сокращение продолжительности сушки и снижение затрат энергии, улучшающих качество производимой обножки.

Объект исследований. Технологический процесс конвективно-кондуктивной сушки пыльцевой обножки в барабанной сушилке с сетчатыми радиальными перегородками.

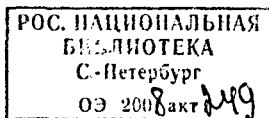
Предмет исследований. Взаимосвязи параметров и закономерности технологического процесса сушки пыльцевой обножки в барабанной сушилке с сетчатыми радиальными перегородками.

Методика исследований. Достижение поставленной цели осуществлялось теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Теоретические исследования выполнялись с использованием основных законов и методов классической механики, теплотехники и математики.

Экспериментальные исследования выполнены на специально изготовленных установках с использованием стандартных и частных методик с применением методов планирования эксперимента.

Обработка результатов полученных экспериментальных данных проводилась методами математической статистики с применением ЭВМ.



Научная новизна заключается в том, что в процессе сушки осуществляется пересыпание и перемешивание обножки за счет установки в барабане сушилки сетчатых перегородок, в результате чего она равномернее прогревается, интенсивнее испаряется влага, снижаются затраты энергии, улучшается качество.

Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель № 50644 «Барабанная сушилка для сыпучих термочувствительных материалов».

Практическая ценность и реализация работы. Разработанная барабанная сушилка позволяет снизить время, затраты труда и энергии на процесс сушки пыльцевой обножки. Опытно – производственный образец барабанной сушилки испытан в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гранулирования и брикетирования кормов Рязанской ГСХА, ГУП РО «Рязанская пчела» и частных пасеках Рязанской области.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях Рязанской ГСХА г.Рязани в 2003 - 2006 г., на научно-практических конференциях «Инновационные технологии в пчеловодстве» Академии пчеловодства г. Рыбное, 2004 - 2007г.

Защищаемые положения:

- предложенная технология и конструктивно-технологическая схема барабанной сушилки для сушки пыльцевой обножки;
- показатели физико-механических, теплофизических и аэродинамических свойств пыльцевой обножки;
- теоретические зависимости, обосновывающие конструктивно-технологические параметры установки для сушки пыльцевой обножки;
- оптимальные технологические параметры процесса конвективной сушки пыльцевой обножки и режимы работы сушильной установки;
- результаты проверки предложенной технологии в производственных условиях и рекомендации производству.

Публикации. По основным положениям диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 входят в перечень ВАК РФ и патент на полезную модель РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из реферата, введения, пяти разделов, выводов, списка использованной литературы, включающем 132 наименования, приложений. Работа изложена на 182 страницах машинописного текста, из которых основной текст содержит 144 страниц и иллюстрирован 42 рисунками и 7 таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы и ее народнохозяйственное значение. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Анализ способов и средств сушки цветочной пыльцы (обножки)» на основании анализа литературных источников описаны области использования пыльцевой обножки в народном хозяйстве, приведен обзор способов сбора, консервирования и хранения, а также способов и средств механизации сушки пыльцевой обножки. Обоснована необходимость в создании специализированной сушилки пыльцевой обножки.

В создание современной теории сушки и сушильного оборудования большой вклад внесли такие ученые, как А.В. Лыков, Г.К. Филоненко, И.М. Федоров, А.С. Гинзбург, П.Д. Лебедев, М.Ю. Лурье, В.П. Горячкин, П.Г. Романков, В.Ю. Валушис, Б. М. Смольский, В.В. Красников, А.П. Журавлев, В.Г. Коба, А.В. Авдеев, В.И. Анискин, В.И. Атаназевич, В.Р. Краус, О. Кришнер и другие.

Однако процесс сушки пыльцевой обножки в барабанной сушилке с сетчатыми радиальными перегородками теоретически мало изучен.

Для выполнения указанной цели диссертационной работы поставлены следующие задачи исследования:

- 1 – изучить физико-механические, теплофизические и аэродинамические свойства пыльцевой обножки;
- 2 – разработать технологию и конструктивно-технологическую схему установки для сушки пыльцевой обножки;
- 3 – обосновать теоретически и экспериментально параметры и режимы для сушки пыльцевой обножки на разработанной установке;
- 4 – произвести проверку режимов сушки на разработанной установке в производственных условиях;
- 5 – оценить экономическую эффективность процесса сушки пыльцевой обножки.

Во втором разделе «Исследование физико-механических, теплофизических и аэродинамических свойств пыльцевой обножки» изложена программа и методика исследований, приведены методы определения влажности, объемной массы коэффициента внутреннего трения, статического и динамического коэффициентов трения о сталь, теплофизических и аэродинамических свойств пыльцевой обножки. Дано описание используемых для проведения опытов приборов и измерительной аппаратуры.

В ходе проведенных исследований получены следующие результаты.

Средний размер частиц обножки составил 2,475 мм.

Уменьшение относительной влажности гранул пыльцевой обножки от 26,61% до 12,68 % вызывает увеличение её объемной массы от 598,23 до 633,32 кг/м³.

Установлено, что с уменьшением влажности обножки с 26,61 до 12,68 % уменьшаются коэффициенты трения: внутреннего с 0,701 до 0,626, статический о сталь с 0,549 до 0,440 и динамический о сталь с 0,342 до 0,241.

При снижении относительной влажности гранул пыльцевой обножки с 25,96% до 12,35% происходит уменьшение коэффициента температуропроводности с $19,968 \cdot 10^{-8}$ до $10,2 \cdot 10^{-8}$ м²/с, теплоемкости с 2,205 до 1,869 кДж/(кг·°С) и коэффициента теплопроводности с 0,537 до 0,232 Вт/(м·°С), а с повышением температуры от 17,33 до 42°С коэффициент температуропроводности возрастает.

тает с $12,7 \cdot 10^{-8}$ до $16 \cdot 10^{-8}$ м²/с, теплоемкость с 1,981 до 2,095 кДж/(кг·°С) и коэффициент теплопроводности с 0,307 до 0,409 Вт/(м·°С).

Анализ аэродинамических свойств пыльцевой обножки показывает, что предельная скорость движения воздуха в сушилке не должна превышать 5,4 м/с, так как при больших скоростях движения воздуха будет наблюдаться процесс уноса материала из сушильной камеры.

В третьем разделе «Теоретическое обоснование процесса сушки обножки» дано описание конструктивно-технологической схемы установки для сушки пыльцевой обножки и ее параметрической модели, проведено теоретическое исследование рабочего процесса сушильной установки, в результате которого получены аналитические зависимости для расчета ее конструктивно-технологических параметров. Установлено влияние конструктивных параметров на пропускную способность сушилки по влажному материалу.

Конструктивно-технологическая схема сушильной установки изображена на рисунке 1.

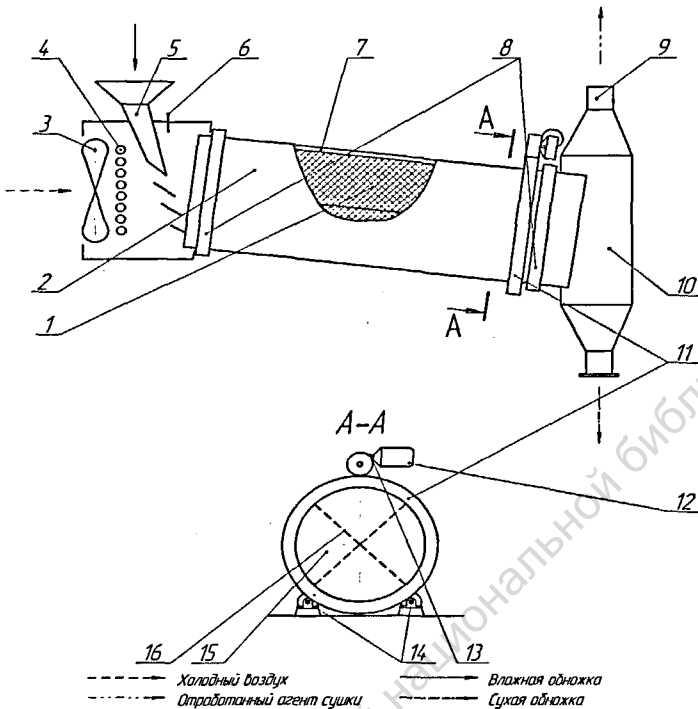
Установка для сушки пыльцевой обножки состоит из вращающегося корпуса 2, на внутренней поверхности которого закреплена вставка 1, выполненная в виде четырех сетчатых радиальных перегородок 16, расположенных под углом 90° друг к другу и образующих сектора 15. На одном торцевом конце корпуса 2 установлено загрузочное устройство 5, нагреватель 4 и вентилятор 3, а со стороны другого торца расположен разгрузочный бункер 10. Вращающийся корпус 2 установлен на бандажу 8, опирающиеся на четыре опорных ролика 14. Вращение корпуса 2 осуществляется через цилиндрическую зубчатую передачу 11 и червячный редуктор 13 от электродвигателя 12. Разгрузочный бункер 10 соединен с патрубком 9 вывода отработанного теплоносителя. Корпус 2 барабана установлен с наклоном в сторону разгрузочного торца.

Барабанная сушилка работает следующим образом. Вентилятор 3 засасывает из окружающей среды воздух и подает его в нагреватель 4. После чего нагретый воздух (теплоноситель) подается в сушильное пространство корпуса 2. Одновременно с вентилятором и калорифером в работу включается электродвигатель 12, который через червячный редуктор 13 и цилиндрическую передачу 11 начинает вращать корпус 2 вместе с вставкой 1, закрепленной на его внутренней поверхности.

После прогрева конструкции барабанной сушилки загрузочное устройство 5 равномерным потоком подает гранулы пыльцевой обножки на внутреннюю поверхность вращающегося корпуса.

Пыльцевая обножка, поступившая в сушильное пространство, омывается теплым воздухом, в результате чего происходит ее нагрев, а имеющаяся в ней влага начинает испаряться. В процессе вращения корпуса сушилки, обножка пересыпается внутри секторов 15.

Применение сетчатых перегородок позволяет увеличить прямой контакт теплоносителя с высушиваемым материалом и создает шадящие условия нагревания и перемешивания материала, что увеличивает объем испаряемой влаги и интенсифицирует процесс сушки обножки, и гарантирует получение обножки с качеством, соответствующим требованиям ГОСТ 28887—90.



1 – вставка; 2 – корпус; 3 – вентилятор; 4 – нагреватель; 5 – загрузочное устройство; 6 – датчик температуры; 7 – теплоизолирующий материал; 8 – направляющие бандажи; 9 – патрубок вывода отработанного теплоносителя; 10 – разгрузочный бункер; 11 – цилиндрическая зубчатая передача; 12 – электродвигатель; 13 – червячный редуктор; 14 – опорные ролики; 15 – сектор; 16 – сетчатая перегородка.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема сушилки обложки.

При обосновании движения материала в барабанной сушилке приняли гранулу пыльцевой обложки за материальную точку.

Движение материальной точки в барабанной сушилке с сетчатыми радиальными перегородками складывается из:

- движение по цилиндрической поверхности (рис. 2);
- движение по радиальной перегородке от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана (рис. 3);
- движение по радиальной перегородке от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности (рис. 4).

Движения материальной точки по цилиндрической поверхности барабанной сушилки описано системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} mr\ddot{\varphi} = -mg \cos \alpha \sin(\psi + \varphi) - fN \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{r^2\dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \\ -mr\dot{\varphi}^2 = mg \cos \alpha \cos(\psi + \varphi) - N + m(\omega^2 r + 2\omega r\dot{\varphi}), \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2\dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса материальной частицы, кг;
 r – радиус цилиндрической поверхности, м;
 φ – угол между r и осью x , является функцией времени, рад;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 α – угол наклона цилиндрической поверхности барабана, рад;
 ψ – угол, на который повернулась ось Ox , град;
 f – коэффициент трения скольжения частицы по поверхности цилиндра;
 N – сила нормального давления, Н;
 ω – угловая скорость переносного движения частицы, рад/с;
 z – перемещение материальной частицы вдоль оси Oz , м.

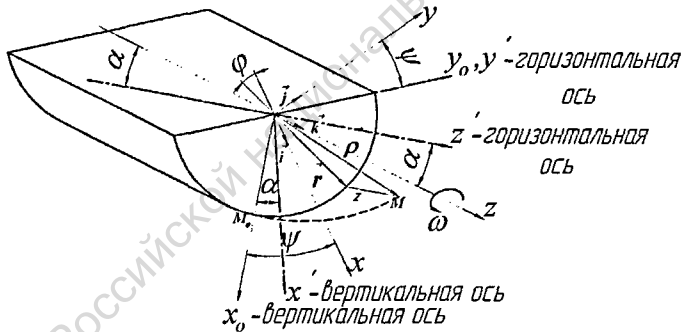


Рисунок 2 – Схема цилиндрической и декартовой систем координат для вывода кинематических соотношений.

Выразим из второго уравнения системы дифференциальных уравнений (1) реакцию нормального давления N и подставим в первое и третье, сократив при этом на m . Таким образом, получим систему двух нелинейных дифференциальных уравнений относительно двух неизвестных функций $\varphi(t)$ и $z(t)$

$$\begin{cases} r\ddot{\varphi} = -g \cos \alpha \sin(\psi + \varphi) - f \left[r(\dot{\varphi} + \omega)^2 + g \cos \alpha \cos(\psi + \varphi) \right] \cdot \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{r^2\dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}}, \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f \left[r(\dot{\varphi} + \omega)^2 + g \cos \alpha \cos(\psi + \varphi) \right] \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2\dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2}} \end{cases} \quad (2)$$

Точное аналитическое решение системы уравнений (2) не представляется возможным. Технические условия задачи, а именно, небольшие значения угла $\alpha = 1^\circ \dots 5^\circ$, угловой скорости $\omega = 0,15 \dots 0,52$ рад/с, позволит принять допущения, упрощающие полученную систему уравнений. Ввиду малости угла α и угловой скорости ω , величиной $\frac{r\omega^2}{g} \ll 1$ и $\left(\frac{\dot{z}}{r\dot{\varphi}}\right)^2 \ll 1$ можно пренебречь.

Так как $\dot{\varphi} < 0$, а $\psi = \psi_0 + \omega t_0$, то окончательно имеем

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} = -\frac{g \cos \alpha}{r \cos f_0} \sin(\psi_0 + \varphi - f_0 + \omega t_0) \\ \ddot{z} = g \left(\sin \alpha - f \cos \alpha \cos(\psi_0 + \varphi + \omega t_0) \frac{\dot{z}}{r|\dot{\varphi}|} \right), \end{cases} \quad (3)$$

где f_0 – коэффициент трения частицы о цилиндрическую поверхность;

t_0 – время движения частицы по цилиндрической поверхности, с;

ψ_0 – угол, при котором начинается скольжение частицы по цилиндрической поверхности, рад.

Движение материальной точки по радиальной перегородке от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана описано системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -mg \sin \psi \cos \alpha - f_c N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 x \\ 0 = -mg \cos \psi \cos \alpha + N - 2m\omega \dot{x} \\ m\ddot{z} = mg \sin \alpha - f_c N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} \end{cases}, \quad (4)$$

где f_c – коэффициент трения частицы о сетчатую поверхность радиальной перегородки.

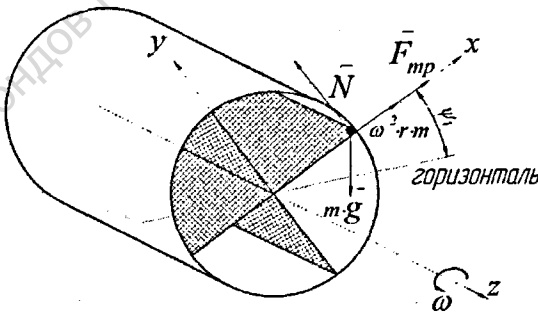


Рисунок 3. – Силы, приложенные к материальной точке, находящейся на радиальной перегородке, при движении от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана.

Выразим из второго уравнения системы дифференциальных уравнений (4) реакцию нормального давления N и подставим в первое и третье, сократив при этом на m . Таким образом, с учетом допущений $\frac{\ddot{z}^2}{\dot{x}^2} \ll 1$, получим систему двух нелинейных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \ddot{x} = -g \sin \psi \cos \alpha + f_c (g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x}) + \omega^2 x \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f_c (g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x}) \frac{\dot{z}}{|\dot{x}|} \end{cases} \quad (5)$$

В первое уравнение входит только координата x и его можно решить аналитически

$$\begin{cases} 0 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 (1 + f_c^2)} [\sin \psi_\kappa (1 - f_c^2) - 2f_c \cos \psi_\kappa] \\ \ddot{z} = g \sin \alpha - f_c (g \cos \psi \cos \alpha + 2\omega \dot{x}) \frac{\dot{z}}{|\dot{x}|} \end{cases}, \quad (6)$$

где $\psi_\kappa = \psi_1 + \omega t_1$; ψ_1 – угол, при котором начинается скольжение материальной точки по радиальной перегородке от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана (отсчитывается от горизонтали), град; C_1, C_2 – постоянные интегрирования, м; t_1 – время движения материальной точки по радиальной перегородке от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана, с; $\lambda_{1,2}$ – действительные корни характеристического уравнения, c^{-1} .

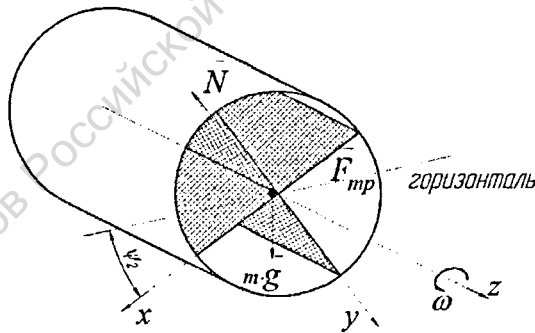


Рисунок 4 – Силы, приложенные к материальной точке, находящейся на радиальной перегородке, при движении от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности.

Аналогичным образом получаем систему дифференциальных уравнений, описывающих движение материальной точки по радиальной перегородке от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности, решая которую получим

$$\left\{ \begin{aligned} r &= C_1 e^{\lambda t_2} + C_2 e^{-\lambda t_2} - \frac{g \cos \alpha}{2\omega^2 (1 + f_c^2)} \left[\sin \psi_\kappa (1 - f_c^2) - 2f_c \cos \psi_\kappa \right] \\ \ddot{z} &= g \sin \alpha - f_c (g \cos \psi_\kappa \cos \alpha - 2\omega \dot{x}) \frac{\dot{z}}{|\dot{x}|} \end{aligned} \right. \quad (7)$$

где $\psi_\kappa = \psi_2 + \omega t_2$; ψ_2 – угол, при котором начинается скольжение материальной точки по радиальной перегородке от оси вращения к цилиндрической поверхности барабана (отсчитывается от горизонтали), град; t_2 – время движения материальной точки по радиальной перегородке от оси вращения к цилиндрической поверхности барабана, с.

Первые уравнения (3, 6, 7) можно решить приближенно одним из методов последовательных приближений, а вторые уравнения (3, 6, 7) по оси z можно решить численно в системе Mathcad.

Полное перемещение частицы по оси z за один поворот барабана будет равно

$$z = z_1 + z_2 + z_3, \text{ м}, \quad (8)$$

где z_1, z_2, z_3 – соответственно перемещения частицы вдоль оси z по цилиндрической поверхности, по радиальной перегородке при движении от цилиндрической поверхности к оси вращения и по радиальной лопасти при движении от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности, м.

Пропускная способность сушилки по влажному материалу определяется по формуле

$$II = \frac{60 \cdot z \cdot n_6 \cdot V_6 \cdot \beta \cdot \gamma}{L_6}, \text{ кг/ч}, \quad (9)$$

где n_6 – частота вращения барабана, мин^{-1} ;

V_6 – полный объем барабана, м^3 ;

β – коэффициент заполнения барабана в долях единицы;

L_6 – длина барабана, м;

γ – объемная масса высушиваемого материала, кг/м^3 .

Количество влаги, удаленной в процессе сушки, определяется из уравнения материального баланса

$$G_1 = G_2 + W_u, \quad (10)$$

где G_1, G_2 – соответственно количество обножки, поступающей на сушку и высушенной, кг/ч ;

W_u – количество испаренной влаги, кг/ч .

$$W_u = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}, \quad (11)$$

где ω_1, ω_2 – начальная и конечная относительная влажность обножки, %.

$$M_1^H + M_1^B = M_2^H + M_2^B, \quad (12)$$

где M_1^A, M_1^B – количество влаги, поступившей в сушильную камеру соответственно с обножкой и воздухом, кг/ч;

M_2^A, M_2^B – количество влаги, ушедшей соответственно с обножкой и воздухом, кг/ч.

количество влаги, удаленной из обножки за время сушки

$$W_u = L \frac{\chi_2 - \chi_1}{1000}, \quad (13)$$

где L – количество сухого воздуха, используемого при сушке, кг/ч;

χ_1, χ_2 – влагосодержание воздуха, соответственно на входе в сушильную камеру и выходе из нее, кг водяного пара/кг сухого воздуха.

В разделе представлен тепловой баланс процесса сушки. Уравнение теплового баланса имеет следующий вид

$$Q_A^{\text{ВХОД}} + Q_K + Q_M^{\text{ВХОД}} = Q_A^{\text{ВЫХОД}} + Q_M^{\text{ВЫХОД}} + Q_{\text{П}}, \quad (14)$$

где $Q_A^{\text{ВХОД}}, Q_A^{\text{ВЫХОД}}$ – теплота, поступающая и уходящая из сушильной установки с атмосферным воздухом за время сушки соответственно, кДж;

Q_K – теплота, получаемая воздухом в калорифере, кДж;

$Q_M^{\text{ВХОД}}, Q_M^{\text{ВЫХОД}}$ – теплота, поступающая и уходящая из сушильной установки с пылевоздушной обножкой, кДж;

$Q_{\text{П}}$ – теплота, теряемая в результате теплопередачи через стенки сушильной установки, кДж.

Развернутое уравнение материального баланса можно представить как

$$L \cdot I_0 + Q_K + T_1(c_o \cdot g_1) = L \cdot I_2 + c_u \cdot T_2 \cdot g_2 + \alpha_c \cdot F_n(t_{\text{ст}} - t_o) \cdot \tau, \quad (15)$$

где I_0, I_2 – удельная энтальпия воздуха на входе и выходе из сушильной установки соответственно, кДж/кг;

c_o, c_u – удельная теплоемкость пылевоздушной обножки до и после сушки соответственно, кДж/(кг · °С);

T_1, T_2 – температура пылевоздушной обножки на входе и выходящей из сушильной установки соответственно, °С;

g_1, g_2 – масса обножки до и после сушки соответственно, кг;

α_c – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением через стенки барабана сушильной установки, кДж/(м² · ч · °С);

F_n – площадь наружной поверхности барабана сушильной установки, м²;

$t_{\text{ст}}$ – средняя температура стенки барабана, °С;

t_o – температура окружающей среды, °С;

τ – время сушки, ч.

Расход теплоты выделяемой калорифером можно записать

$$Q_K = L(I_2 - I_0) + c_u \cdot T_2 \cdot g_2 + \alpha_c \cdot F_n(t_{\text{ст}} - t_o) \cdot \tau - T_1(c_o \cdot g_1). \quad (16)$$

Последнее уравнение показывает, что теплота, вырабатываемая калорифером, расходуется на: нагрев воздуха, поступающего в сушильную камеру; нагрев обножки и испарение из нее влаги, и на компенсацию теплопотерь. На ос-

нове данного уравнения можно определить количество теплоты, расходуемое на сушку обножки в разработанной сушильной установке.

В четвертом разделе «Исследование процесса сушки пыльцевой обножки в лабораторных условиях» изложена программа и методика исследований, приведено описание лабораторной установки, оборудования и приборов, представлены результаты экспериментов. Обработка полученных данных производилась согласно приведенной методике статистической программой «Statistica 6.0» с помощью ПЭВМ РС. Лабораторные исследования проводились в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гранулирования и брикетирования кормов ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени проф. П.А. Костычева».

Программа исследований состояла из двух этапов.

На первом этапе определялись оптимальные параметры сушильного агента. Была получена графическая зависимость влияния скорости воздушного потока на среднюю скорость сушки обножки, представленная на рисунке 5.

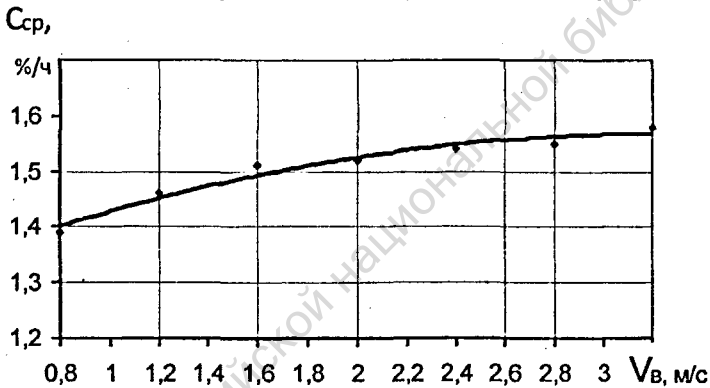


Рисунок 5 – Графическая зависимость средней скорости сушки обножки от скорости сушильного агента при его температуре 40 °С.

Из представленной графической зависимости видно, что при увеличении скорости сушильного агента происходит увеличение средней скорости сушки. Увеличению скорости сушильного агента выше 3,2 м/с практически не приводит к значительному увеличению средней скорости сушки обножки. Поэтому для проведения следующих экспериментов целесообразно использовать диапазон изменения скорости сушильного агента, в пределах от 2,0 до 3,2 м/с.

Для определения влияния температуры сушильного агента на среднюю скорость сушки обножки при различных скоростях движения агента сушки была получена графическая зависимость средней скорости сушки обножки от температуры сушильного агента (рис. 6).

Из графической зависимости (рис.6) видно, что увеличение температуры агента сушки приводит к увеличению средней скорости сушки. Процесс сушки

обножки с различными скоростями движения агента сушки отличается абсолютными значениями средней скорости сушки, но имеет общую динамику.



Рисунок 6 – Графическая зависимость средней скорости сушки обножки от температуры сушильного агента.

Можно отметить, что на процесс сушки оказывает влияние как скорость так и температура сушильного агента. Поэтому их влияние на процесс сушки нужно рассматривать в совокупности. Они влияют на температуру нагрева обножки. Фактором, лимитирующим выбор скорости движения и температуры воздуха, является максимально допустимая температура нагрева обножки, значение которой не должно превышать 40 – 41 °С, и удельные затраты энергии на процесс сушки.

Для определения совместного влияния скорости и температуры агента сушки на удельные затраты энергии процесса сушки был проведен 2-х факторный эксперимент.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была получена адекватная математическая модель зависимости удельного расхода энергии на испарение одного процента влаги из высушиваемой обножки $N_2/C_{сп}$ от температуры $T_{а.с.}$ и скорости $V_в$ сушильного агента (рис. 7)

$$\frac{N_2}{C_{сп}} = 26585,537 - 950,15 \cdot T_{а.с.} + 177,963 \cdot V_в + 8,8533 \cdot T_{а.с.}^2 - 4,9167 \cdot T_{а.с.} \cdot V_в + 24,537 \cdot V_в^2 \quad (17)$$

Из графической зависимости, представленной на рисунке 7, видно, что на удельные затраты энергии значительное влияние оказывает температура сушильного агента.

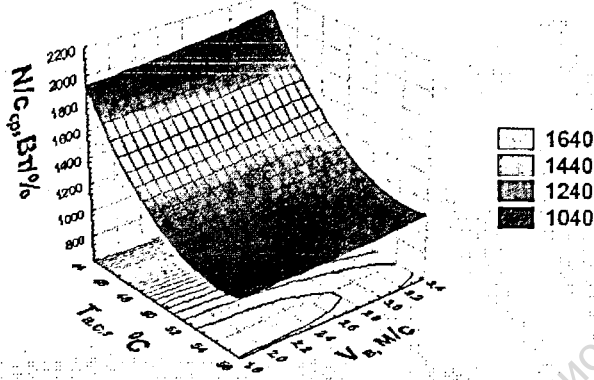


Рисунок 7 – Графическая зависимость удельного расхода энергии от скорости и температуры сушильного агента.

При увеличении температуры сушильного агента от 45 до 54,5°C происходит снижение удельных затрат энергии. Это связано с увеличением интенсивности испарения влаги с поверхности гранул обножки. При дальнейшем увеличении температуры сушильного агента удельные затраты энергии повышаются, так как скорость испарения влаги с поверхности становится больше скорости диффузии влаги внутри материала. Теплота, подводимая к материалу, начинает расходоваться не только на испарение из него влаги, но и на его интенсивный нагрев.

Влияние скорости сушильного агента менее значительно, и с увеличением скорости от 2,0 до 3,2 м/с удельные затраты энергии повышаются.

Таким образом, наиболее рациональная сушка происходит с температурой сушильного агента 54,5 °С и его скоростью 2 м/с, так как в этом случае наблюдаются минимальные затраты электроэнергии.

На втором этапе производились исследования, направленные на определение оптимального режима работы сушилки с выбранными параметрами агента сушки. Был проведен ряд 2-х факторных экспериментов.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости средней скорости конвективной сушки обножки от угла наклона и частоты вращения барабана сушильной установки

$$C_{cp} = 5,4513 - 0,5332 \cdot n_6 - 0,2274 \cdot \alpha + 0,0363 \cdot n_6^2 + 0,0074 \cdot n_6 \cdot \alpha + 0,005 \cdot \alpha^2, \quad (18)$$

и математическая модель зависимости производительности сушилки от угла наклона и частоты вращения барабана сушильной установки

$$П = -7,1175 + 9,368 \cdot n_6 - 1,3764 \cdot \alpha - 1,0502 \cdot n_6^2 + 1,4809 \cdot n_6 \cdot \alpha + 0,55 \cdot \alpha^2. \quad (19)$$

Статистический анализ этих уравнений показал, что данные уравнения достаточно точно описывают исследуемые зависимости. Графические изображения полученных моделей показаны на рисунках 8 и 9.

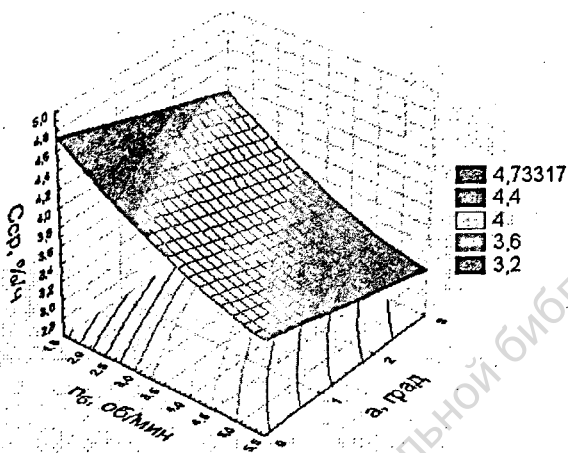


Рисунок 8 – Графическая зависимость средней скорости конвективной сушки от угла наклона и частоты вращения барабана сушильной установки.

Из графической зависимости, представленной на рисунке 8, видно, что с увеличением угла наклона барабана сушилки средняя скорость конвективной сушки снижается. Так увеличение угла α от 0 до 2 градусов при частоте вращения барабана 3,5 об/мин приводит к уменьшению средней скорости сушки от 3,96 до 3,68 %/ч. Увеличение частоты вращения барабана приводит также к снижению средней скорости сушки. При увеличении числа оборотов от 1,8 до 5,2 об/мин приводит к снижению средней скорости сушки с 4,16 до 3,31 %/ч при угле наклона барабана 2 градуса.

Из рисунка 9 видно, что при увеличении угла наклона барабана сушилки от 0 до 2 градусов производительность сушилки увеличивается с 11,05 до 23,62 кг/ч, при частоте вращения барабана 3,5 об/мин. При увеличении частоты вращения барабана с 1,8 до 5,2 об/мин производительность сушилки увеличивается с 8,2 до 19,3 кг/ч, при угле наклона барабана 1°.

Анализируя представленные зависимости, можно сделать вывод, что при увеличении угла наклона барабана от 0 до 2° и частоты его вращения от 1,8 до 5,2 об/мин происходит увеличение пропускной способности сушильной установки по влажному материалу от 7,10 до 27,97 кг/ч, а процент снятой влаги уменьшается с 4,62 до 3,31 %/ч, а следовательно увеличивается количество раз прохождения материала через барабан сушилки.

Поэтому для выявления оптимального угла наклона и частоты вращения барабана необходимо знать, как эти параметры влияют на удельные затраты энергии при выбранной скорости и температуре агента сушки.

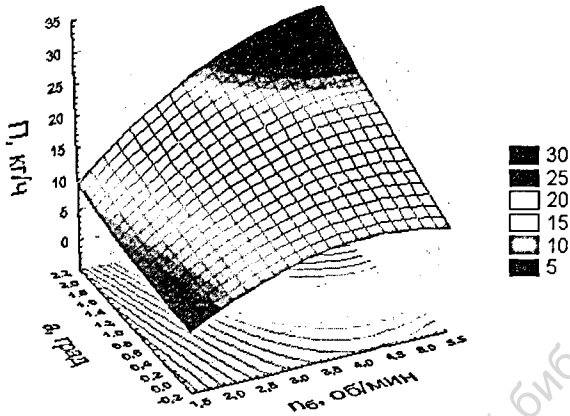


Рисунок 9 – Графическая зависимость производительности сушилки от угла наклона и частоты вращения барабана сушильной установки.

В качестве фактора оптимизации был выбран удельный расход энергии на испарение одного килограмма влаги из высушиваемой обложки.

В результате статистической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель зависимости удельного расхода энергии на испарение одного килограмма влаги из высушиваемой обложки Q_{y0} от угла наклона α и частоты вращения барабана n_g (рис. 10)

$$Q_{y0} = 33,5147 - 1,0143 \cdot n_g - 2,3997 \cdot \alpha + 0,1205 \cdot n_g^2 + 0,3971 \cdot n_g \cdot \alpha + 0,5633 \cdot \alpha^2. (20)$$

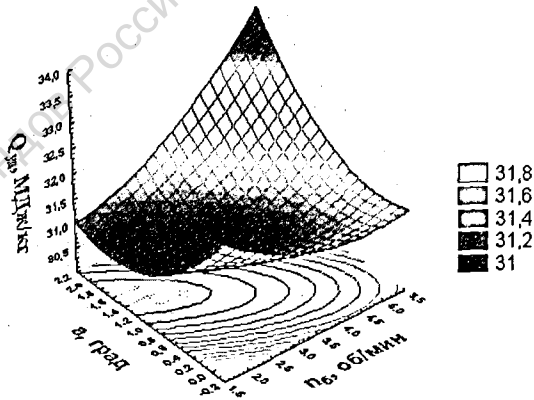


Рисунок 10 – Графическая зависимость удельного расхода энергии от угла наклона и частоты вращения барабана.

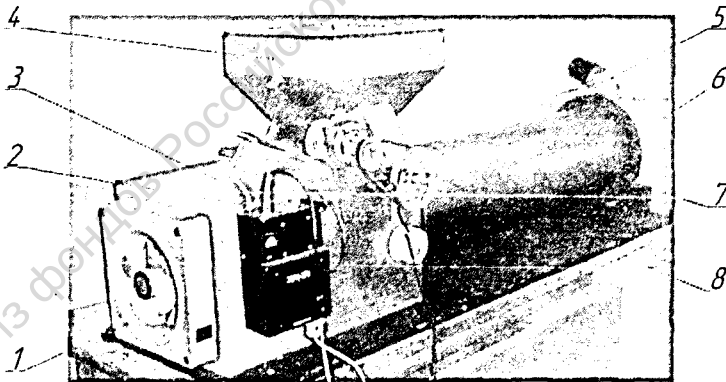
Статистический анализ этого уравнения показал, что данное уравнение достаточно точно описывает исследуемую зависимость.

Рассматривая зависимость, представленную на рисунке 10, необходимо отметить, что наименьшие затраты энергии на испарение одного килограмма влаги наблюдаются при частоте вращения 1,8 об/мин и угле наклона барабана 1,5 градуса.

Таким образом, наиболее экономически эффективной сушкой будет являться сушка с температурой сушильного агента 54,5 °С и скоростью 2 м/с, с частотой вращения барабана 1,8 об/мин и углом наклона 1,5 градуса так как в этом случае наблюдаются минимальные затраты электроэнергии на испарение 1 кг влаги, которые составили 29,84 МДж/кг.

В пятом разделе «Исследование процесса ковективной сушки обножки в производственных условиях и экономическая оценка эффективности её применения» изложены программа, методика и результаты исследований, определена экономическая эффективность применения барабанной сушилки пыльцевой обножки.

С использованием результатов лабораторных опытных данных в проблемной научно-исследовательской лаборатории гранулирования и брикетирования кормов ФГОУ ВПО «Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени проф. П.А. Костычева» был разработан, изготовлен и испытан опытно-производственный образец барабанной сушилки (рис. 11), со следующими техническими характеристиками: внутренний диаметр барабана 250 мм, длина барабана 1000 мм, количество сетчатых радиальных перегородок 4 шт., размер отверстий сетки 1×1 мм. Производственные испытания которой проводились в ГУП РО «Рязанская пчела».



1 – вентилятор; 2 – блок питания; 3 – нагреватель; 4 – загрузочный бункер; 5 – привод вращения сушильной камеры; 6 – разгрузочный бункер; 7 – сушильная камера; 8 – привод барабанного дозатора.

Рисунок 11. – Общий вид опытно-производственной установки для сушки пыльцевой обножки.

Производственными исследованиями установлено, что предложенная конструкция сушилки работоспособна. Оптимальным режимом работы барабанной сушилки обножки является, частота вращения барабана 1,8 об/мин, угол наклона барабана 1,5 градуса, температура сушильного агента 54,5 °С и скорость 2 м/с. При этом производительность сушилки по выходу готовой продукции 3,1 кг/ч, удельные затраты энергии на испарение 1 кг влаги 28,97 МДж/кг, удельные затраты электроэнергии на высушивание 1 кг готовой продукции 1,38 кВт·ч/кг.

Применение барабанной сушилки показало её преимущество перед лотковой сушилкой обножки СП-2 по основным технико-экономическим показателям. При работе в течение 33 дней и объеме высушиваемой обножки 330 кг годовой экономической эффект составил 27510 рублей, экономия затрат труда - 327 чел·ч, а её срок окупаемости - 0,73 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Важнейшим процессом обработки обножки является сушка, предложенная технология которой предусматривает более интенсивное её пересыпание и перемешивание. Аналитически установлено, что наиболее целесообразным способом сушки обножки является конвективный.

2. Сушилка пыльцевой обножки должна состоять из наклонно расположенного вращающегося барабана, внутри которого установлены сетчатые радиальные перегородки с размером отверстий сетки меньше минимального размера гранул обножки. Сетчатые перегородки позволяют увеличить массу находящегося в сушилке материала и время его контакта с теплоносителем, что в конечном итоге приводит к увеличению её производительности и снижению расхода теплоты.

3. Наиболее значимыми показателями физико-механических и теплофизических свойств обножки, влияющими на рабочий процесс сушилки, являются: объемная масса, коэффициент внутреннего трения, коэффициенты статического и динамического трения о сталь, коэффициент температуропроводности, коэффициент теплопроводности и теплоемкость. Числовые значения этих показателей зависят от ее влажности и температуры.

Уменьшение относительной влажности гранул пыльцевой обножки с 26,61% до 12,68 % вызывает увеличение их объемной массы от 598,23 до 633,32 кг/м³ и снижение коэффициентов трения: внутреннего с 0,701 до 0,626, статического о сталь с 0,549 до 0,440 и динамического о сталь с 0,342 до 0,241.

При уменьшении относительной влажности гранул пыльцевой обножки с 25,96% до 12,35% происходит уменьшение коэффициента температуропроводности с $19,968 \cdot 10^{-8}$ до $10,2 \cdot 10^{-8}$ м²/с, теплоемкости с 2,205 до 1,869 кДж/(кг·°С) и коэффициента теплопроводности с 0,537 до 0,232 Вт/(м·°С), а с повышением температуры от 17,33 до 42°С коэффициент температуропроводности возрастает с $12,7 \cdot 10^{-8}$ до $16 \cdot 10^{-8}$ м²/с, теплоемкость с 1,981 до 2,095 кДж/(кг·°С) и коэффициент теплопроводности с 0,307 до 0,409 Вт/(м·°С).

4. Теоретически установлено, что продвижение гранул пыльцевой обножки вдоль оси барабана складывается из трех перемещений: по цилиндрической поверхности барабана; по радиальной перегородке при движении от цилиндрической поверхности к оси вращения барабана; по радиальной перегородке при движении от оси вращения барабана к цилиндрической поверхности. Установлено, что скорость передвижения материала вдоль сушильного барабана зависит от частоты вращения, угла наклона и диаметра вращающегося барабана, а производительность от скорости перемещения материала, площади поперечного сечения слоя материала и его объемной массы.

5. Теплота, необходимая для процесса сушки пыльцевой обножки в барабанной сушилке, сушильное пространство которой разделено четырьмя радиальными сетчатыми перегородками, в 1,76 раза больше передается ей конвективно, чем кондуктивно.

6. В процессе сушки пыльцевой обножки с увеличением угла наклона барабана от 0 до 2 градусов и частоты его вращения от 1,8 до 5,2 об/мин увеличивается пропускная способность сушильной установки по влажному материалу от 7,10 до 27,97 кг/ч, а процент снятой влаги уменьшается с 4,62 до 3,31 %/ч.

7. Для предложенной сушилки барабанного типа с длиной барабана 1 м и диаметром 0,25 м оптимален следующий режим работы: скорость сушильного агента 2 м/с, температура сушильного агента 54,5 °С, частота вращения барабана 1,8 об/мин и угол наклона барабана 1,5 градуса. При этом режиме сушки обеспечиваются минимальные удельные затраты энергии на испарение 1 кг влаги, составляющие 29,84 МДж/кг.

8. В ходе производственных испытаний производительность сушилки по выходу готовой продукции составила 2,7 - 2,9 кг/ч, а коэффициент заполнения барабана - 0,15...0,16. При этом затраты энергии на 1 кг испаренной влаги составили 28,65 - 30,97 МДж/кг, а удельные затраты электроэнергии на сушку 1 кг товарной обножки - 1,38 кВт·ч/кг при ее нагреве не более 41 °С, что подтверждают результаты лабораторных исследований. Установлено, что при уменьшении влажности гранул обножки с 20,8 % до 9,6 %, уменьшается их крошимость в барабанной сушилке с 1,95 % до 0,83 %.

9. Сушильная установка барабанного типа более экономична по сравнению с лотковой СП-2. При работе в течение 33 дней и объеме высушиваемой обножки 330 кг годовой экономический эффект составил 27510 рублей, экономия затрат труда - 327 чел·ч, а её срок окупаемости - 0,73 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

в изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК»

1. Мамонов Р.А. Технологические свойства пыльцы / Мамонов Р.А. // Пчеловодство, №5, 2007. – С. 54-55.

2. Мамонов Р.А. Барабанная сушилка для пыльцевой обножки / Некрашевич В.Ф., Мамонов Р.А. // Пчеловодство, №7, 2007. – С. 52-53.

в других изданиях

3. Патент на полезную модель №50644 РФ, F 26 В 11/04. Барабанная сушилка для сыпучих термочувствительных материалов / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов (РФ). № 2005117131/22; Заявлено 03.06.2005; Опубл. 20.01.2006 Бюл. № 02.

4. Мамонов Р.А. Выбор способа сушки пыльцевой обножки / Мамонов Р.А. // Экологические аспекты производства, переработки и использования продуктов пчеловодства. – Рыбное, 2005. – С. 109-111.

5. Мамонов Р.А. Барабанная сушилка для пыльцевой обножки / Мамонов Р.А. // Инновационные технологии в пчеловодстве. – Рыбное, 2006. – С. 176-177.

6. Мамонов Р.А. Определение скоростей витания частиц обножки. / Мамонов Р.А. // Интенсивные технологии производства продуктов пчеловодства, их переработка и применение. – Рыбное, 2007. – С. 82-84.

7. Мамонов Р.А. Тепловой баланс пневмобарабанной сушилки обножки / Мамонов Р.А. // Современные направления научно-технического прогресса в пчеловодстве. Материалы Международной научной конференции, посвященной 100 летию со дня рождения Г.Ф. Таранова. – Рыбное, 2007. – с. 312.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать ризографическая.

Усл. печ. л.1, Тираж 100 экз. Заказ №276

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А. Костычева»

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

Отпечатано в информационном редакционно-издательском центре

ГОУ ВПО РГСХА

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

Из фондов Российской национальной библиотеки

2008A
6206

0-6200

Из фондов Российской национальной библиотеки