

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 631.363.258/638.178

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЖНЕГО ШТИФТА, ГРАНУЛЫ ПЕРГИ И ДНИЩА ВЕРТИКАЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПЕРГОВЫХ СОТОВ

В. Ф. Некрашевич, М. Ю. Костенко, Р. А. Мамонов, К. В. Буренин, Е. И. Буренина

В работе представлены теоретические исследования траектории движения гранулы перги по дну измельчителя перговых сотов. Результаты этих исследований позволяют определить угол схода гранулы перги со штифта измельчителя, что в свою очередь необходимо для обоснования конструктивных размеров решетки и исключения защемления гранулы между ее прутками. На основе, приведенной в статье конструктивно-технологической схемы измельчителя, составлены дифференциальные уравнения сил, действующих на гранулу при выходе ее через решетку. Получены и проанализированы уравнения движения гранулы перги в рабочей зоне измельчителя, а также определен угол схода гранулы перги со штифта.

Ключевые слова: пчеловодство, перга, гранула, перговый сот, измельчитель.

Введение

Перга – это пыльца растений, собранная пчелами, уложенная в ячейки сотов, залитая сверху медом и герметично законсервированная образующейся молочной кислотой. В последние годы к перге, как к продукту богатому белками, незаменимыми аминокислотами и жирными кислотами, углеводами, витаминами и другими биологически активными веществами, проявляется все больший интерес [1, 4, 5].

Важнейшей операцией в технологии извлечения перги является измельчение охлажденных перговых сотов [6]. Для механического разрушения сотов нами разработана конструктивно-технологическая схема измельчителя, представленная на рисунке 1 [2].

Процесс измельчения заключается в следующем. Подготовленные к измельчению куски перговых сотов помещаются на заслонку 3. При достижении определенной массы заслонка 3 поворачивается и куски перговых сотов попадают в рабочую камеру 1, где при вращении вала 4 со штифтами 5, приводящегося в движение при помощи электродвигателя 7, измельчаются. Далее смесь из отдельных гранул перги и разрушенной восковой основы сота проходит через решетку 6. Отверстия решетки 6 сепарируют проходящую воскоперговую массу, не позволяя проходить через выгрузное окно не разрушенным кускам перговых сотов [3].

Целью работы является определение угла схода гранулы перги со штифта измельчителя, позволяющего обосновать конструктивные размеры решетки и исключить защемление гранул между ее прутками.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является процесс прохождения гранул перги через решетку выгрузного окна измельчителя перговых сотов. При выполнении исследования использовался теоретический анализ рабочего процесса измельчителя перговых сотов выполненный на основе методов интегро-дифференциального исчисления и численного решения дифференциальных уравнений.

Рассмотрим движение гранулы по нижнему штифту измельчителя (рис. 2), вращающегося в плоскости чертежа с угловой скоростью ω . Гранула

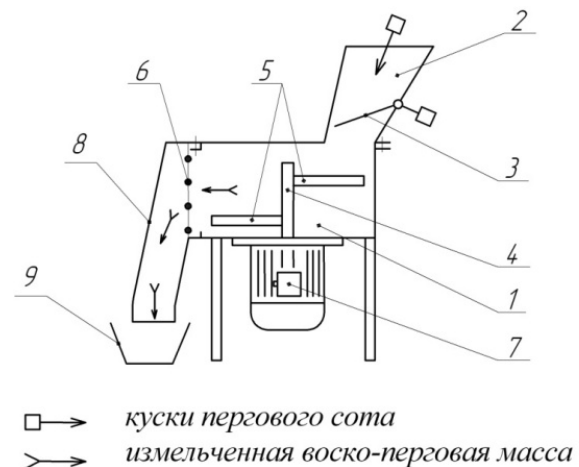


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема измельчителя: 1 – рабочая камера; 2 – загрузочная горловина; 3 – заслонка; 4 – вал; 5 – штифты; 6 – решетка; 7 – электродвигатель; 8 – выгрузной патрубкок; 9 – емкость для сбора измельченного продукта

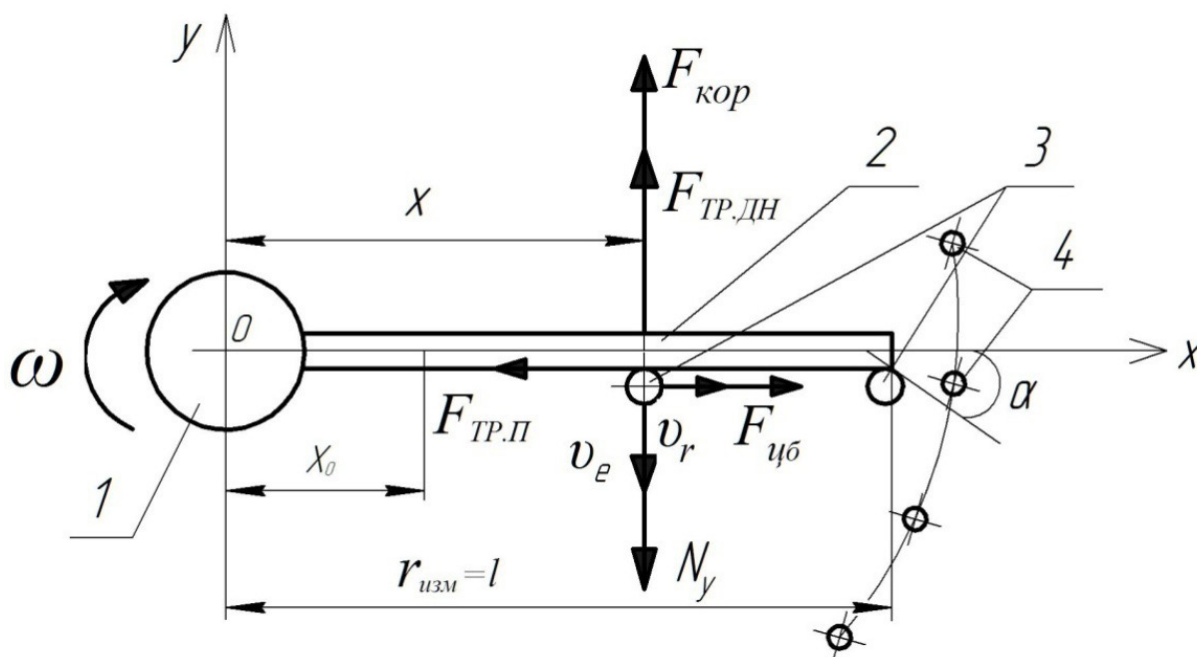


Рис. 2. Схема сил, действующих на гранулу при выходе через решетку (вид сверху): 1 – вал; 2 – штифт; 3 – гранула перги; 4 – прутки

массой m участвует в относительном движении по штифту и в переносном движении вместе со штифтом.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим движение гранулы по отношению к подвижной системе координат, связанной с нижним штифтом. Так как штифт движется равномерно, ускорение вдоль оси ou будет равно 0.

Дифференциальное уравнение относительного движения имеет вид

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{тр.п} + F_{цб} \\ 0 = F_{тр.дн} + F_{кор} - N_y \\ N_z - mg = 0 \\ F_{тр.п} = fN_y \\ F_{тр.дн} = fN_z \end{cases}, \quad (1)$$

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

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

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

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

$F_{кор}$ – сила Кориолиса, Н.

$$\vec{F}_{кор} = 2m \cdot |\vec{v}_r \times \vec{\omega}| = 2 \cdot \omega \cdot m \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

где v_r – относительная скорость гранулы перги,

м/с;

N_y – сила нормального давления вдоль оси y , Н;

f – коэффициент трения;

N_z – сила нормального давления вдоль оси z , Н.

Из второго уравнения системы (1) определим силу нормального давления вдоль оси y

$$N_y = F_{тр.дн} + F_{кор} \quad (4)$$

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

$$N_y = fmg + 2 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \omega \cdot m \quad (5)$$

Значение N_y поставим в четвертое уравнение системы (1) и полученное значение $F_{тр.п}$ поставим

в первое уравнение системы (1). Тогда

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -f \left(fmg + 2 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \omega \cdot m \right) + m\omega^2x. \quad (6)$$

Разделим обе части уравнения на m и перенесем члены уравнения с x в одну сторону

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2f\omega \frac{dx}{dt} - \omega^2x = -f^2g \quad (7)$$

Составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0 \quad (8)$$

Выразим корни квадратного уравнения (8)

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

Общее решение однородного уравнения

$$x = C_1(t)e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2(t)e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \quad (9)$$

Частное решение неоднородного уравнения ищем методом вариации

$$\begin{cases} C_1'(t)x_1 + C_2'(t)x_2 = 0 \\ C_1'(t)x_1' + C_2'(t)x_2' = -f^2g \end{cases} \quad (10)$$

Подставим значение x_1 и x_2

$$\begin{cases} C_1'(t)e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t)e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} = 0 \\ C_1'(t) \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2'(t) \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} = -f^2g \end{cases} \quad (11)$$

Применим Вронскиан

$$W = e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}) \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} - e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}) = e^{-2tf\omega} \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1}) \quad (12)$$

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

Проинтегрируем

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

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

Проинтегрируем

$$C_2(t) = \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \int e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} dt = \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2$$

Общее решение линейного неоднородного уравнения второго порядка будет

$$x = \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_1 \right] + \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2 \right] \quad (13)$$

Возьмем производную от уравнения (13)

$$x' = \frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1} \cdot (f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} \cdot e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}) \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} + C_1 \right] \cdot e^{t(-f\omega-\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}) + \frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}) \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} + C_2 \right] \cdot e^{t(-f\omega+\omega\sqrt{f^2+1})} \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}) \quad (14)$$

Подставим начальные условия

$$t_0 = 0; x = x_0; v_x = 0$$

$$\begin{aligned}
 x_0 &= \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} + C_1 \right] + \\
 &+ \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} + C_2 \right] \\
 0 &= \frac{-gf^2 \cdot (f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})}{2\omega\sqrt{f^2+1} \cdot (f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + \\
 &+ \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1} \cdot (f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + C_1 \right] \cdot \\
 &\cdot (-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}) + \frac{f^2g(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{2\omega\sqrt{f^2+1} \cdot (f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} + \\
 &+ \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1} \cdot (f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} + C_2 \right] \cdot (-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Из первого уравнения системы (15) выразим C_1

$$\begin{aligned}
 C_1 &= x_0 - \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} + C_2 \right] - \\
 &- \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \right]
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Подставим полученное значение C_1 во второе уравнение системы (15), выразим C_2 , произведем необходимые сокращения и преобразования. Получим

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \frac{f^2g}{4\omega^2(f^2+1) \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})} - \\
 &- \frac{x_0(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)} - \frac{f^2g(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}
 \end{aligned}$$

(17)

Подставим полученное значение C_2 в уравнение (16) и получим окончательное значение C_1 и подставим данные значения в уравнение (13)

$$\begin{aligned}
 x &= \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot e^{t(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + x_0 - \right. \\
 &- \left. \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} + \frac{f^2g}{4\omega^2(f^2+1) \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot \right. \\
 &- \left. \frac{x_0(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)} - \frac{f^2g(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} \right] \cdot \\
 &- \left[\frac{-gf^2}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\cdot e^{t(-f\omega - \omega\sqrt{f^2+1})} + \\
 &+ \left[\frac{f^2g}{2\omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \frac{1}{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}} \cdot \right. \\
 &+ \left. \frac{e^{t(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}}{4\omega^2(f^2+1) \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})} + \frac{f^2g}{4\omega^2(f^2+1) \cdot (2\omega\sqrt{f^2+1})} - \right. \\
 &- \left. \frac{x_0(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)} - \frac{f^2g(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})}{4\omega^2(f^2+1)(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} \right]
 \end{aligned}$$

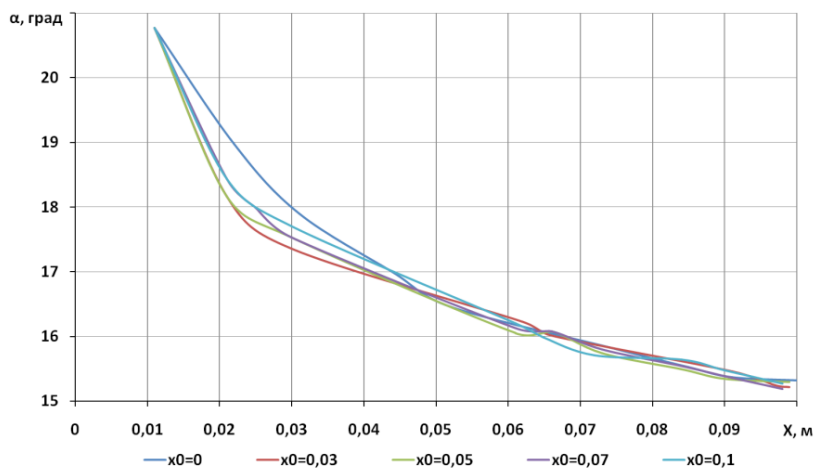


Рис. 3. График зависимости значения угла схода гранулы перги со штифта от ее движения по штифту

$$e^{t(-f\omega + \omega\sqrt{f^2+1})} \quad (18)$$

Значение y будет равно

$$y = x \cdot \omega \cdot t \quad (19)$$

По полученным выражениям x и y в программе MathCad 14.0. была проанализирована траектория движения гранулы по нижнему штифту.

Далее определим угол схода гранулы перги со штифта по выражению

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{y}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \quad (20)$$

Результат полученных значений представлен на рисунке 3.

Выводы

Проанализировав полученные зависимости можно сказать, что угол схода гранулы меняется незначительно и находится в пределах от 15 до 21°, даже при условии разного первоначального расстояния, с которого гранула начинает двигаться по штифту.

Список литературы

- [1] Некрашевич, В.Ф. Технология, средства механизации и экономика производства перги / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, М.В. Коваленко. // Монография. – Рязань: РГАТУ, 2013. – 102 с.
- [2] Пат. 141008 Российская Федерация МПК В02С13/18. Измельчитель перговых сотов/заявитель: В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, С.В. Некрашевич, Т.В. Торженева, И.И. Трухин, К.В. Буренин; патентообладатель Некрашевич Владимир Федорович. – № 2014102833/13, заявл. 28.01.2014; опубл. 27.05.2014, Бюл.№ 15. – 3 с.
- [3] Некрашевич, В.Ф. Агрегат АИП-10 для извлечения перги из сотов/ В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, К.В. Буренин, И.Ф. Карачун// Пчеловодство. – 2014. – № 9. – С. 58–59.
- [4] Некрашевич, В.Ф. Совершенствование средств механизации первичной переработки продукции пчеловодства/В.Ф. Некрашевич, А.А. Курочкин, А.М. Афанасьев // Инновационная техника и технология. – 2016. – № 1 (06). – С. 19–24.
- [5] Некрашевич, В.Ф. Комбинированный агрегат для переработки пчеловодной продукции/В.Ф. Некрашевич, А.А. Курочкин, А.М. Афанасьев //Пчеловодство. – 2016. – № 5. – С. 21–23.
- [6] Пат. 2553236 Российская Федерация МПК А01К59/00. Способ извлечения перги/заявитель: В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженева, К.В. Буренин; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – № 2014111011/13, заявл. 21.03.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл.№ 16. – 6 с.

THE THEORY OF THE INTERACTION OF THE LOWER PINS, BEE AND GRANULES OF THE BOTTOM VERTICAL HONEYCOMB BEE-READ CHOPPER

V. F. Nekrashevich, M. Yu. Kostenko, R. A. Mamonov, K. V. Burenin, E. I. Burenina

The paper presents the theoretical research trajectory granules of pollen on the bottom of the chopper pergovyh combs. The results of these studies allow us to determine the angle of descent of pollen granules from the shredder pin, which in turn is necessary to substantiate the structural lattice sizes and exclude trapping of granules between its rods. Based in the article-tively constructive and technological chopper circuit composed by the differential equation of the forces acting on the granule at its exit through the grate. We obtained and analyzed equations of motion of pellets pergi in the working area chopper and determined corner gathering pollen granules from the pin.

Keywords: *pchelovodstvo, pollen, granule, pergolysot, chopper.*

References

- [1] Nekrashevich, V.F. Technology, means of mechanization and economy of production of a beebread/ V.F. Nekrashevich, R.A. Mamonov, T. V. Torzhenova, M.V. kovalenko.// Monograph.–Ryazan: RGATU, 2013.– 102 p.
- [2] Stalermate.141008 Russian Federation MPK B02C13/18. The grinder of beebread's combs/ applicants: V.F. Nekrashevich, R.A. Mamonov, S. V. Nekrashevich, T. V. Torzhenova, I. I. Truhin, K. V. Burenin; patent holder Nekrashevich Vladimir Fedorovich.–No. 2014102833/13, zayavl.1/28/2014; opubl. 5/272014, Bulletin No. 15.– 3 p.
- [3] Nekrashevich, V.F. The aggregate AIP-10 to extract beebread from the combs/ V.F. Nekrashevich, R. A. Mamonov, K. V. Burenin, I. F. Karachun// Beekeeping.– 2014.–No.9.–P. 58–59.
- [4] Nekrashevich, V.F. Improving mechanization of primary processing products /V.F. Nekrashevich, A. A. Kurochkin, A. M. Afanasiev // Innovative technology and technology.– 2016.– № 1 (06).–P. 19–24.
- [5] Nekrashevich, V.F. Combination unit for the processing of beekeeping products /V.F. Nekrashevich, A. A. Kurochkin, A. M. Afanasiev // Beekeeping.– 2016.– № 5.–P. 21–23.
- [6] Stalermate. 2553236 Russian Federation MPK A01K59/00. The method of extracting of beebread/ applicants: V.F. Nekrashevich, R. A. Mamonov, T. V. Torzhenova, K. V. Burenin; patent holder of FGBOU VPO «Ryazan state agrotechnological university of P.A. Kostychev».–No. 2014111011/13, zayavl.3/21/2014; opubl. 6/10/2015, Bulletin No. 16.– 6 p.