

## ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

*D.N. Byshov, D.E. Kashirin, I.A. Uspensky,  
M.Yu. Kostenko, D.R. Gorshkov*

### THE STUDY OF WAX RAW MATERIALS ULTRASONIC CLEANING

**Бышов Д.Н.** – канд. техн. наук, доц. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Каширин Д.Е.** – д-р техн. наук, доц., зав. каф. электроснабжения Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Успенский И.А.** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технической эксплуатации транспорта Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань.

E-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

**Костенко М.Ю.** – д-р техн. наук, проф. каф. технологии металлов и ремонта машин Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Горшков Д.Р.** – студ. 4-го курса Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Byshov D.N.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machine and Tractor Park Operation, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Kashirin D.E.** – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Uspensky I.A.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Chair of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan.

E-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

**Kostenko M. Yu.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Technology of Metals and Repair of Cars, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan.

E-mail: kadm76@mail.ru

**Gorshkov D.R.** – 4-Year Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan.

E-mail: kadm76@mail.ru

*Цель исследования – определение рациональных параметров и режимов процесса очистки суши сотов от перги в воде под действием ультразвука. Основным загрязнителем воскового сырья, значительно снижающим качество и выход товарного воска при перетопке, является перга. Наиболее перспективным с позиций промышленного применения представляется предварительная очистка пчелиных сотов от перги перед тепловой перетопкой. Результаты ранее проведенных исследований показывают, что хорошие перспективы имеет технология, заключающаяся в удалении перги из ячеек пчелиного сота путем вымывания в воде. Для активации процесса вымыва-*

*ния перги в воде предлагается использование ультразвукового воздействия. В статье представлены методика и результаты эксперимента по определению эффективности очистки образцов пчелиных сот при воздействии ультразвуком в воде. Исследовано влияние двух факторов – времени воздействия ультразвука и времени замачивания сотов перед обработкой ультразвуком – на процент удаленной перги. При проведении исследования использовали теорию планирования эксперимента. Проводили ранжирование последовательности выполнения экспериментов в каждой точке плана, с целью нивелирования воздействия неуправляемых факторов. В ре-*

зультате статистической обработки опытных данных установлена адекватная эмпирическая зависимость, определяющая влияние исследуемых факторов на очистку воскового сырья. Произведена оптимизация полученной модели, определены значения факторов, при которых целесообразно осуществлять ультразвуковую очистку загрязненной суши пчелиных сотов. В частности, установлено, что относительное изменение сухой массы ( $\Delta m\% = 31,39\%$ ) стремится к максимуму при времени обработки ультразвуком  $t_1 = 38$  мин и времени предварительного замачивания перед обработкой  $t_2 = 2910$  мин. Результаты исследования позволяют определить основные параметры процесса ультразвуковой очистки воскового сырья от органических загрязнений в воде.

**Ключевые слова:** пчелиные соты, перга, воск, очистка, время, ультразвук.

*The aim of the study is to determine rational parameters and modes of the process of cleaning honeycombs from perga in water under the action of ultrasound. The main pollutant of wax raw materials, significantly reducing the quality and yield of commercial wax during digging, is perga. The most promising from the point of view of industrial application is preliminary cleaning of bee cells from perga before thermal overfilling. The results of early studies show that the technology of removing bee pollen from the cells of the honeycomb by leaching in water has good prospects. To activate the process of leaching perga in water, it is proposed to use ultrasonic action. The study presents the methods and results of the experiment to determine the effectiveness of cleaning samples of honeycombs under the influence of ultrasound in water. The influence of two factors – the time of exposure to ultrasound and the time of soaking the cells before ultrasound treatment – on the percentage of removed perga is investigated. The study uses the theory of planning the experiment. The ranking of the sequence of experiments at each point of the plan has been carried out in order to neutralize the impact of uncontrollable factors. As a result of statistical processing of experimental data, an adequate empirical dependence has been established; it determines the influence of studied factors on the purification of wax raw materials. The optimization*

*of received model has been made; values of factors at which it is expedient to carry out ultrasonic cleaning of the polluted land of bee honeycombs have been defined. In particular, it has been established that relative change of dry weight aspires to a maximum at processing time ultrasound of  $t_1 = 38$  minutes and the time of preliminary soaking before processing of  $t_2 = 2910$  minutes. The results of the study allow determining the main parameters of the process of ultrasonic cleaning of wax raw materials from organic contaminants in water.*

**Keywords:** honeycombs, perga, wax, cleaning, time, ultrasound.

**Введение.** Воск – один из важнейших продуктов пчеловодства, имеющий богатейший органический состав, благодаря которому он находит широкое применение в различных отраслях промышленности. В настоящее время спрос на воск неудовлетворен в полной мере, а замена его высокомолекулярным углеводородом в некоторых отраслях невозможна. Традиционно воск получают путем перетопки пчелиных сотов, непригодных для выращивания расплода пчел.

Основным загрязнителем старых сотов является перга и оболочки коконов личинок, остающиеся в ячейках сотов после вывода нового поколения пчел [1, 2]. Наличие загрязнений в восковом сырье приводит к снижению выхода воска, а также к значительному ухудшению качества получаемого продукта. Иногда потери воска могут достигать 80 % от его содержания в сырье, так как в расплавленном виде он поглощается загрязнениями, а отделение его от загрязнений представляется весьма затруднительным и в ряде случаев – экономически невыгодным [3, 4].

Предварительно проведенные исследования показывают, что перга – продукт с выраженными гигроскопическими свойствами, более того, при выдерживании в воде перга распадается на отдельные пыльцевые зерна [5, 6]. Однако продолжительность процесса естественного растворения перги составляет десятки часов, что затрудняет механизацию процесса очистки воскового сырья [7, 8].

**Цель исследования:** определение рациональных параметров и режимов процесса очистки суши сотов от перги в воде под действием ультразвука.

**Материалы и методы исследования.**

Предварительно проведенное исследование позволило определить наиболее значимые факторы, влияющие на процесс ультразвуковой водной очистки воскового сырья и пределы их варьирования [9, 10].

Исследуемыми факторами являлись:

$t_1$  – продолжительность предварительного выдерживания сотов в воде, мин;

$t_2$  – продолжительность ультразвукового воздействия на соты в водяной ванне, мин (табл.).

При выборе диапазона варьирования фактора учитывали ранее установленные закономерности измерения прочностных свойств перги от ее влажности [11, 12], а исследование измене-

ния влажности от продолжительности ее выдерживания в воде позволило определить возможные значения продолжительности предварительного замачивания сотов в виде [13–15].

Вторым исследуемым фактором являлась продолжительность ультразвукового воздействия. Максимальное значение этого фактора ограничивалось 38 мин, так как при более продолжительном воздействии ультразвука наблюдается разрушение восковой основы сота.

Принимая во внимание структуру проводимого исследования, было решено проводить опыты по плану экспериментов Бокса-Бенкина второго порядка.

**Исследуемые факторы и диапазоны их варьирования**

Исследуемый фактор	Величина фактора		
	-1	0	+1
$t_1$ – продолжительность предварительного выдерживания сотов в воде, мин	30	1470	2910
$t_2$ – продолжительность ультразвукового воздействия на соты в водяной ванне, мин	2	20	38

Для выполненных опытов использовали ультразвуковой стерилизатор марки УЗО01-НЕДЕЛ с рабочей частотой ( $22_{-1,6}^{+1,7}$ ) кГц, и акустической мощностью излучателя от 75 до 110 Вт. Установка представляет собой рабочую ванну объемом 10 л, закрываемую крышкой, снабженной ультразвуковым излучателем. Блок управления позволяет задавать продолжительность ультразвукового воздействия с точностью до  $\pm 0,1$  с.

Предварительно заготовленные старые пчелиные соты, сильно загрызенные пергой и коконами личинок пчел, разрезали на куски размером 45 × 45 мм. Затем куски пчелиных сотов взвешивали на весах марки Digital Scales точно до  $\pm 0,01$  и маркировали. Подготовленные образцы замачивали в ванне с водой, температура которой составляла  $18 \pm 1$  °С, и выдерживали их в течение заданного планом опыта времени. После замачивания образцы извлекали и помещали в ванну установки УЗО1. Продолжительность воздействия ультразвука задавали согласно плану с помощью пульта управления. По истечении времени воздействия очищаемые образцы извлекали, промывали под

струей воды и подвергали сушке до влажности, которая была перед началом исследования. После просушивания образцы повторно взвешивали, полученные результаты фиксировали. Опыты проводили с 3-кратной повторностью в каждой точке плана опыта.

Процент загрязнений, удаленных из воскового сырья, подсчитывали по формуле

$$\Delta m\% = \frac{m_n - m_k}{m_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

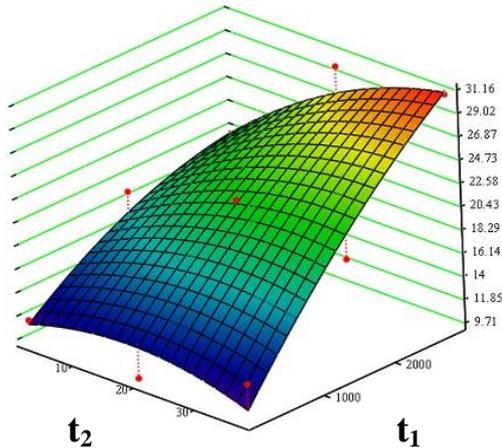
где  $m_k$  – количество загрязнений удаленных из навески сота в процессе опыта, г.;  $m_n$  – количество загрязнений в исследуемой навески перед началом опытов, г.

Модель прошла проверку на адекватность по критерию Фишера (F-критерию). На уровне значимости  $\alpha = 0,05$  расчетное значение F-критерия не превышает табличного (критического) значения:

$$(F_{\text{расч}} = 2,782) < (F_{\text{кр}} = 3,16).$$

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате статистической обработки опытных данных было получено уравнение регрессии

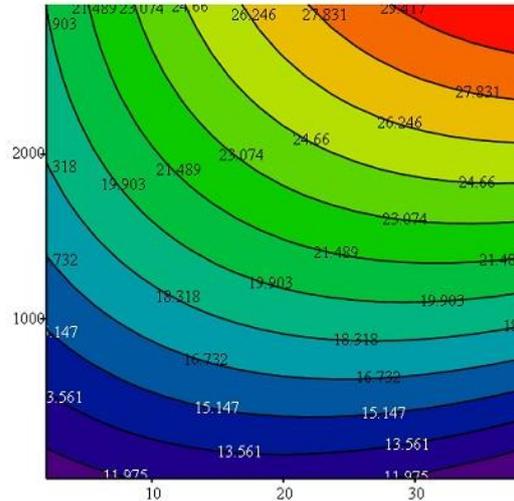
$$\Delta m\%(t_1, t_2) = 10,5 + 0,2 \cdot t_1 + 0,005 \cdot t_2 \cdot 0,01 \cdot t_1 \cdot t_2 - 0,0056 \cdot t_1^2 \quad (2)$$



Зависимость извлеченных загрязнений от времени замачивания  $t_1$  и времени ультразвуковой обработки  $t_2$

Анализ уравнения регрессии показывает, что все исследуемые факторы оказались значимыми, а исследуемый процесс эффективным.

Полученное уравнение представлено графически на рисунке.



**Выводы.** Для получения воскового сырья из суши сотов водная очистка является эффективной. Очистка предполагает операции замачивания в воде и ультразвуковой обработки в ванне.

Анализ полученных результатов позволил установить, что рациональный режим очистки суши сотов достигается при обработке вблизи верхней границы факторного пространства по обоим факторам. Результаты показывают, что оба фактора имеют практически равнозначное влияние на критерий оптимизации, изменение массы по времени воздействия ультразвука стабилизируется после 30 мин воздействия, а, в свою очередь, изменение массы по времени замачивания растет практически линейно и область стабилизации прослеживается только при малом времени воздействия ультразвуком. Максимальная величина критерия оптимизации  $\Delta m\% = 31,39\%$  получается при следующем сочетании факторов:  $t_1 = 38$  мин,  $t_2 = 2910$  мин.

## Литература

1. *Каширин Д.Е.* Технология и устройство для измельчения перговых сотов: дис. ... канд. техн. наук. – Рязань, 2001.
2. *Каширин Д.Е.* Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / МГУ им. Н.П. Огарева. – Рязань, 2013.
3. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Павлов В.В.* К вопросу влияния загрязнений, содержащихся в пчелиных сотах, на выход товарного воска // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Дню российской науки / Пензен. гос. с.-х. акад. – Пенза, 2015. – С. 280–282.
4. *Бышов Н.В., Бышов Д.Н., Каширин Д.Е.* и др. Исследование процесса получения воска из воскового сырья различного качества // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 145–149.
5. *Бышов Н.В., Каширин Д.Е., Харитонова М.Н.* Исследование гигроскопических свойств

- перги // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 2. – С. 122–124.
6. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Павлов В.В.* Исследование гигроскопических свойств загрязнителей воскового сырья // Электрон. науч.-метод. журнал Омского ГАУ. – 2016. – № 2. – С. 35.
7. *Павлов В.В., Бышов Д.Н., Каширин Д.Е.* К вопросу очистки воскового сырья путем диспергирования загрязняющих компонентов // Наука молодых – инновационному развитию АПК: мат-лы X Юбилейной всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых / Башкир. гос. аграр. ун-т. – Уфа, 2017. – С. 226–233.
8. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Павлов В.В.* и др. Исследование эффективности очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 12 (135). – С. 115–122.
9. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Павлов В.В.* Результаты многофакторного экспериментального исследования дисперсионных свойств перги // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 2 (125). – С. 115–121.
10. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Павлов В.В.* К вопросу механизированной очистки воскового сырья // Аграрная наука в инновационном развитии АПК: мат-лы междунар. молодежного аграр. форума: сб. науч. ст. / под ред. В.А. Бабушкина. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2018. – С. 49–55.
11. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Гобелев С.Н.* и др. Исследование влияния влажности и температуры на прочностные свойства перги // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 1 (112). – С. 97–101.
12. *Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Гобелев С.Н.* и др. Исследование прочностных свойств перговых гранул при их сжатии // Вестн. Рязан. гос. агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. – 2016. – Т. 29, № 1. – С. 59–62.
13. Пат. № 2662169 РФ. Способ очистки пчелиных сотов от загрязнений / *Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Протасов.* – Заявл. 07.03.2017; опубл. 24.07.2018, Бюл. № 21. – 3 с.
14. Пат. № 2656968 РФ. Способ очистки воскового сырья / *Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин, В.В. Павлов.* – Заявл. 20.02.2017; опубл. 07.06.2018, Бюл. № 16. – 8 с.
15. Пат. № 2483812 РФ. Способ очистки пчелиных сотов / *Н.В. Бышов, Д.Е. Каширин, А.В. Куприянов.* – Заявл. 20.12.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

#### Literatura

1. *Kashirin D.E.* Tehnologija i ustrojstvo dlja izmel'chenija pergovyh sotov: dis. ... kand. tehn. nauk. – Rjazan', 2001.
2. *Kashirin D.E.* Jenergosberegajushhie tehnologii izvlechenija pergi iz sotov specializirovannymi sredstvami mehanizacii: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.01 / MGU im. N.P. Ogareva. – Rjazan', 2013.
3. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Pavlov V.V.* K voprosu vlijanija zagriznenij, sodержa-shhihsja v pchelinyh sotah, na vyhod tovarnogo voska // *Образование, наука, практика: инновационный аспект: сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф., posvjashh. Dnju rossijskoj nauki / Penzen. gos. s.-h. akad.* – Penza, 2015. – S. 280–282.
4. *Byshov N.V., Byshov D.N., Kashirin D.E.* i dr. Issledovanie processa poluchenija voska iz voskovogo syr'ja razlichnogo kachestva // *Vestn. KrasGAU.* – 2015. – № 6. – S. 145–149.
5. *Byshov N.V., Kashirin D.E., Haritonova M.N.* Issledovanie gigroskopicheskikh svojstv pergi // *Vestn. KrasGAU.* – 2013. – № 2. – S. 122–124.
6. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Pavlov V.V.* Issledovanie gigroskopicheskikh svojstv zagriznitelej voskovogo syr'ja // *Jelektron. nauch.-metod. zhurnal Omskogo GAU.* – 2016. – № 2. – S. 35.
7. *Pavlov V.V., Byshov D.N., Kashirin D.E.* K voprosu ochistki voskovogo syr'ja putem dispergirovanija zagriznjajushhih komponentov // *Nauka molodyh – innovacionnomu razvitiju APK: mat-ly X Jubilejnoj vseros. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh / Bashkir. gos. agrar. un-t.* – Ufa, 2017. – S. 226–233.
8. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Pavlov V.V.* i dr. Issledovanie jeffektivnosti ochistki voskovogo syr'ja v vode pri intensivnom mehanicheskom peremeshivanii // *Vestn. KrasGAU.* – 2017. – № 12 (135). – S. 115–122.

9. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Pavlov V.V.* Rezul'taty mnogofaktornogo jeksperimental'nogo issledovaniya dispersionnyh svojstv pergi // *Vestn. KrasGAU.* – 2017. – № 2 (125). – S. 115–121.
10. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Pavlov V.V.* K voprosu mehanizirovannoj ochildki voskovogo syr'ja // *Agrarnaja nauka v innovacionnom razvitii APK: mat-ly mezhdunar. Molodezhnogo agrar. foruma: sb. nauch. st. / pod red. V.A. Babushkina.* – Michurinsk: Izd-vo Michurinskogo GAU, 2018. – S. 49–55.
11. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Gobelev S.N.* i dr. Issledovanie vlijanija vlazhnosti i temperatury na prochnostnye svojstva pergi // *Vestn. KrasGAU.* – 2016. – № 1 (112). – S. 97–101.
12. *Byshov D.N., Kashirin D.E., Gobelev S.N.* i dr. Issledovanie prochnostnyh svojstv pergovyh granul pri ih szhatii // *Vestn. Rjazan. gos. agrotehnologicheskogo un-ta im. P.A. Kostycheva.* – 2016. – T. 29, № 1. – S. 59–62.
13. Pat. № 2662169 RF. Sposob ochildki pchelinyh sotov ot zagrijaznenij / *D.N. Byshov, D.E. Kashirin, A.V. Protasov.* – Zajavl. 07.03.2017; opubl. 24.07.2018, Bjul. № 21. – 3 s.
14. Pat. № 2656968 RF. Sposob ochildki voskovogo syr'ja / *D.N. Byshov, D.E. Kashirin, V.V. Pavlov.* – Zajavl. 20.02.2017; opubl. 07.06.2018, Bjul. № 16. – 8 s.
15. Pat. № 2483812 RF. Sposob ochildki pchelinyh sotov / *N.V. Byshov, D.E. Kashirin, A.V. Kuprijanov.* – Zajavl. 20.12.2011; opubl. 10.06.2013, Bjul. № 16. – 4 s.

