

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДИСПЕРСИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕРГИD.N. Byshov, D.E. Kashirin,  
V.V. PavlovTHE RESULTS OF THE MULTIPLE-FACTOR PILOT STUDY OF BEE BREAD  
DISPERSIVE PROPERTIES

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

**Павлов В.В.** – асп. каф. электроснабжения Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, г. Рязань. E-mail: vikp76@mail.ru

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

**Pavlov V.V.** – Post-Graduate Student, Chair of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan. E-mail: vikp76@mail.ru

*В работе описаны методика и результаты исследования способности перги как основного загрязняющего компонента воскового сырья к растворению и образованию грубодисперсных взвесей в воде. Установлена адекватная эмпирическая зависимость влияния времени замачивания в воде, температуры воды, относительной влажности перги и ее гранулометрического состава на степень растворения, выраженную процентом нерастворившегося осадка. Произведена оптимизация полученной модели, определены значения факторов, при которых целесообразно осуществлять влажную очистку измельченного воскового сырья, в том числе с применением интенсивного механического перемешивания. При оптимальных значениях всех факторов количество недиспергированного осадка составляет не менее 1,5 % от первоначальной массы загрязнений в пересчете на сухое вещество. Установлена целесообразность очистки измельченного воскового сырья, получаемого при производстве перги с применением известных механи-*

*зированных технологий, при этом начальная относительная влажность загрязняющих компонентов, подлежащих диспергированию, должна составлять 11–14 %, а их гранулометрический состав должен быть представлен фракцией со средним размером частиц 2–2,5 мм. Полученная математическая модель позволяет определить процент нерастворившихся частиц загрязнений, оставшихся в осадке, при желаемых значениях времени замачивания и температуры воды и при отсутствии внешних механических воздействий для сравнения с результатом диспергирования исследуемого материала при схожих условиях замачивания в воде и при активном перемешивании.*

**Ключевые слова:** воск, восковое сырье, пыльца, перга, растворение, очистка.

*The study describes the methodology and results of the research capacity of bee bread, as primary pollutant component of waxy feedstock in the dissolution and formation of coarse sediment in*

*water. Adequate empirical dependence of the effect of time soaking in water, the temperature of water, relative humidity of bee bread and its particle size distribution of the degree of dissolution were established, the percentage of not solved residue was expressed. The optimization of the resulting model was made, the values of the factors in which it was expedient to wet cleaning comminuted waxy feed, including the use of vigorous mechanical stirring were defined. Under optimum values of all factors not dispersed sediment amount was not less than 1.5 % of original weight contaminants based on dry substance. The expediency of cleaning particulate waxy feed produced in the production of pollen mechanized using known techniques, starting at relative humidity polluting components to be dispersed should be 11–14 %, and their particle size distribution should be represented by the fraction having an average particle size of 2–2.5 mm. The resulting mathematical model allows to determine the percentage of not solved particles of contaminants remaining in the sediment at the desired values of soaking time and the temperature of water and in the absence of external mechanical influences for comparison with the result of the dispersion of the material under similar conditions, soaking in water under vigorous stirring.*

**Keywords:** *wax, wax raw materials, pollen, bee bread, dissolution, purification.*

**Введение.** Традиционно для получения воска в условиях пасеки пчеловоды перетапливают в паровых или солнечных воскотопках выбракованные пчелиные соты, которые, как правило, сильно загрязнены испорченной пергой [1]. Перга существенно загрязняет получаемый воск, при этом снижает его сортность, а также впитывает большое количество воска, образуя при этом так называемую мерву – отход, образуемый при перетопке сотов. В большинстве случаев мерва не подлежит дальнейшей переработке в качестве воскового сырья. Очистка суши сотов от перги перед перетопкой позволяет увеличить выход товарного воска [2, 3]. Известно, что количество воска в пчелиных сотах варьирует в диапазоне от 0,16 до 0,48 кг, а количество перги в выбракованных перговых сотах может составлять от 0,1 до 0,86 кг [4–6].

По своей структуре перга представляет собой утрамбованные в ячейки сота и ферменти-

рованные пчелами пыльцевые обножки. Таким образом, элементарным твердым структурным компонентом перги является пыльца, или пыльцевое зерно. Поскольку зерна пыльцы представляют собой покрытые спорополлениновой оболочкой (экзиной) растительные образования, устойчивые не только в воде, но и в агрессивных средах, то говорить о растворимости перги в воде как о таковой было бы не совсем точно. По отношению к воде перга представляет собой легко расслаивающуюся суспензию. При этом на скорость и степень диспергирования могут оказывать влияние такие факторы, как первоначальная влажность перги, ее гранулометрический состав, температура воды, наличие и интенсивность внешних механических воздействий (перемешивание, вибрация, ультразвук), степень адгезии с восковыми частицами и органическими оболочками и т.д.

Изучению гигроскопических свойств перги посвящены работы [1, 7], в которых установлено влияние времени выдержки перги различного гранулометрического состава в воде на ее конечную относительную влажность.

**Цель исследования.** Изучение влияния ряда управляемых факторов на процесс растворения перги в воде без механического перемешивания для обоснования параметров технологии влажной очистки воскового сырья от загрязнений перед перетопкой.

Для выполнения поставленной цели необходимо количественно оценить способность перги к размоканию и диспергированию в воде при ее замачивании без механического перемешивания и влияние на степень диспергирования следующих факторов: время замачивания, температура воды, первоначальная относительная влажность перги, гранулометрический состав перги.

**Материалы и методы исследования.** Диапазон варьирования факторами определяли исходя из технологических особенностей, связанных с механизированным производством перги и получением воскового сырья в виде измельченного воско-пергового вороха. Так, относительная влажность перги варьировала от 11–12 % (нижний уровень), при которой возможно измельчение перговых сотов на штифтовых измельчителях, до 27–29 % (верхний уровень), т.е. максимальной влажности, которую перга

способна достичь, находясь на атмосферном воздухе. Свежая, нативная перга имеет обычно влажность 19–23 % (средний уровень). Максимальное значение температуры составляло 42°C, при котором воск начинает приобретать пластические свойства, а следовательно, увеличивается адгезия восковых частиц с частицами загрязнений, что затрудняет процесс очистки. Размер восковых частиц в восковом ворохе изменяется от 0,3 до 150 мм<sup>2</sup> [9], следовательно, при просеивании вороха через сито с размером отверстий 0,5×0,5 мм весь воск остается на сите. Поэтому необходимо диспергировать загрязнения с размером частиц  $\geq 0,5$  мм. По результатам предварительно проведенных экспериментов было определено максимальное время замачивания перги, составляющее 26 часов.

В связи с вышесказанным экспериментальный материал приготавливали следующим образом. Перга, извлеченная из выбракованных пчелиных сотов, привезенных из различных районов Рязанской области, с применением механизированной технологии извлечения перги [8–10] подлежала измельчению на лабораторной мельнице и рассеиванию полученной массы на ситовом отсеиве, сформированном из 3 сит с диаметром отверстий 4,5; 3 и 0,5 мм. Таким образом, верхний уровень фактора «гранулометрический состав» представлен фракцией, состоящей из целых перговых гранул со средним размером 5,75 мм; нулевой и нижний уровни образуют фракции со средним размером частиц 3,75 и 1,75 мм соответственно.

Относительную влажность материала  $W$  (%) определяли по стандартной методике (ГОСТ 31776-2012)

$$W = \frac{m_H - m_K}{m_K} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_H$  – начальная масса навески, г;  $m_K$  – конечная масса навески после высушивания, г.

Каждую фракцию разделяли на три части и доводили до требуемого уровня влажности путем подсушивания или добавления влаги. При подсушивании навески взвешивали и доводили до требуемой массы  $m_T$  (г), определяемой по формуле

$$m_T = m_H \cdot \frac{W_T + 100}{W_H + 100}, \quad (2)$$

где  $m_H$  – начальная масса навески, г;  $m_T$  – требуемая масса навески, г;  $W_H$  – первоначальная относительная влажность навески, %;  $W_T$  – требуемая относительная влажность навески, %.

Масса добавляемой влаги при увлажнении материала (равно, как и удаляемой при подсушивании) определяется выражением

$$\Delta_m = \frac{m_H \cdot (W_T - W_H)}{W_H + 100}. \quad (3)$$

Увлажненная перга выдерживалась в герметично закрытой емкости в течение двух недель.

В таблице представлены факторы и значения уровней варьирования факторами.

Критерием оптимизации являлась степень диспергирования загрязнений в воде, определяемая количеством оставшихся на сите частиц с диаметром отверстий 0,5 мм.

### Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Ед. изм.	Уровень варьирования			Интервал варьирования
			нижний	нулевой	верхний	
			Кодированное обозначение			
			-1	0	+1	
1. Время	$t$	час	2	14	26	12
2. Температура	$T$	°C	8	25	42	17
3. Относительная влажность	$W$	%	12	20	28	8
4. Гранулометрический состав	$d$	мм	1,75	3,75	5,75	2

Рассортированные по влажности и гранулометрическому составу пробы герметично запечатывались в полипропиленовые пакеты толщиной 35 мкм, маркировались и хранились в таком виде до начала проведения эксперимента.

Исследование проводили следующим образом. Непосредственно перед проведением эксперимента пробы распечатывались, из них на весах марки ВЛКТ-500М формировались навески массой  $7 \pm 2$  г с точностью до 0,01 г, которые помещались в одинаковые по объему емкости с дистиллированной водой и выдерживались в них при различных значениях температуры воды и времени замачивания в соответствии с планом эксперимента. Повторность опытов в каждой точке равна 3.

По истечении времени замачивания каждую емкость (закрытую крышкой) извлекали из термостата, 2–3 раза переворачивали без интенсивного взбалтывания, после чего содержимое отфильтровывали через сито с размером отверстий  $0,5 \times 0,5$  мм. Оставшиеся на решетке недиспергированные частицы смывали холодной дистиллированной водой в отдельную емкость, из которой полученную смесь подвергали вакуумному фильтрованию через обеззоленные фильтры (ТУ 2642-001-13927158-2003) диаметром 12,5 см, предварительно пронумерованные, высушенные и взвешенные на весах марки ВЛКТ-500М. После фильтрования фильтры с частицами осадка помещали в лабораторный сушильный шкаф 2В-151 (ТУ 64-1-1411-72), где выдерживали при температуре  $102-105^\circ\text{C}$  в течение 4–6 часов, затем взвешивали.

Процент нерастворившихся загрязнений  $P$  (критерий оптимизации, %) в пересчете на сухую массу определялся по формуле

$$P = \frac{M_{\phi+O} - M_{\phi}}{M_H} \cdot \left(1 + \frac{W_H}{100}\right) \cdot 100, \quad (4)$$

где  $M_{\phi+O}$  – масса фильтра с частицами осадка после высушивания, г;  $M_{\phi}$  – масса сухого фильтра, г;  $W_H$  – первоначальная относительная влажность навески, %;  $M_H$  – масса навески, г.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, описывающее

влияние четырех факторов на критерий оптимизации

$$P(t, T, W, d) = -19,9 + 2,95 \cdot W - 0,047 \cdot t \cdot d - 0,033 \cdot T \cdot d - 0,088 \cdot W \cdot d - 0,063 \cdot W^2 + 0,677 \cdot d^2, \quad (5)$$

где  $P$  – процент нерастворившихся загрязнений (критерий оптимизации), %;  $t$  – время выдерживания в воде, ч;  $T$  – температура воды,  $^\circ\text{C}$ ;  $W$  – первоначальная относительная влажность навески, %;  $d$  – средний гранулометрический состав частиц фракции, мм.

Произведена проверка параметров регрессии на статистическую значимость по критерию Стьюдента на уровне  $\alpha = 0,1$ . Незначимыми оказались коэффициенты при факторах  $t$ ,  $T$ ,  $d$ , квадратичных эффектах  $t^2$  и  $T^2$ , а также взаимодействиях  $t \cdot T$ ,  $t \cdot W$  и  $T \cdot W$ . Произведена проверка полученной модели на адекватность по критерию Фишера на уровне значимости  $\alpha = 0,01$ . Модель адекватна при отношении расчетного и критического значений критерия  $2,198 < 2,318$ . Оптимизация полученной модели позволила определить значения факторов, при которых функция (5) достигает минимального значения

$$P_{\min}(t, T, W, d) = P(26; 42; 12; 2,696) = 1,522\%$$

Анализируя полученную зависимость, можно выявить закономерное изменение критерия оптимизации при изменении времени замачивания и температуры воды: минимум нерастворившихся частиц ожидаемо расположен на границе факторного пространства этих двух факторов. Иначе обстоит дело с влиянием начальной относительной влажности перги. На рисунке 1 представлено графическое изображение зависимости критерия оптимизации от влажности  $W$  (%) при значении 3 факторов ( $t$ , ч;  $T$ ,  $^\circ\text{C}$  и  $d$ , мм), фиксированных на оптимальных уровнях. Из графика следует, что оптимальному значению соответствует нижний уровень относительной влажности, при увеличении которой происходит нарастание количества недиспергированного осадка в растворе, и его максимум приходится на диапазон относительной влажности 20–23 %, соответствующий нативной, т.е. в свежих сотах, перге, что объясняется более плотной ее консистенцией по сравнению с высушенной, рыхлой структурой.

$$P(26, 42, W, 2,696) = -22,01 + 2,71 \cdot W - 0,063 \cdot W^2$$

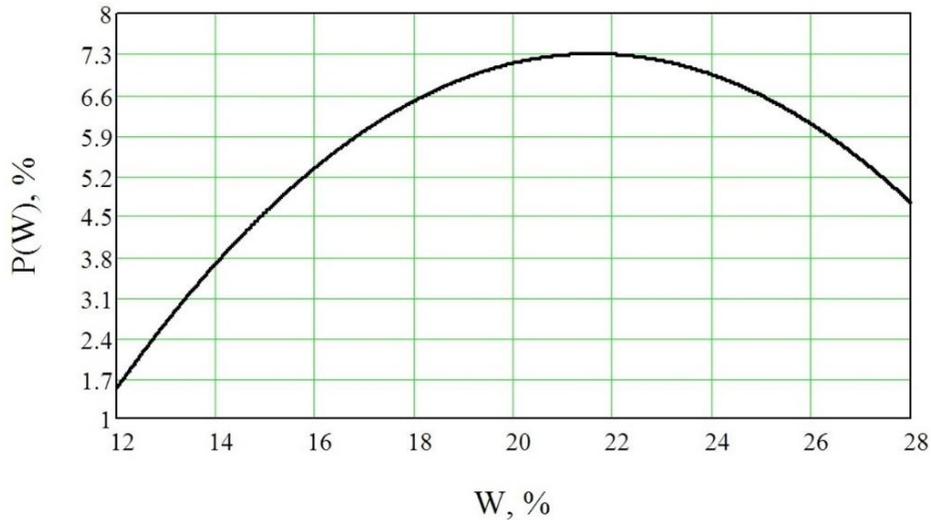


Рис. 1. Зависимость процента нерастворившихся загрязнений от их первоначальной влажности при значениях времени, температуры и гранулометрического состава, фиксированных на оптимальных уровнях

Дальнейшее увеличение начальной относительной влажности способствует переходу консистенции в вязкое, пластичное состояние, что приводит к увеличению скорости диспергирования в воде, критерий оптимизации закономерно уменьшается.

На рисунке 2 представлено графическое изображение зависимости критерия оптимизации от начального гранулометрического состава

$d$  (мм) перги до ее замачивания при значении 3 факторов ( $t$ , ч;  $T$ , °С и  $W$ , %), фиксированных на оптимальных уровнях. Небольшое увеличение количества осадка при изменении фактора в сторону уменьшения от оптимального уровня ( $d = 2,696$  мм) связано с повышенным содержанием нерастворимых компонентов (обрывков коконов, восковых частиц и пр.) в мелкой фракции.

$$P(26, 42, 12, d) = 6,428 - 3,664 \cdot d + 0,677 \cdot d^2$$

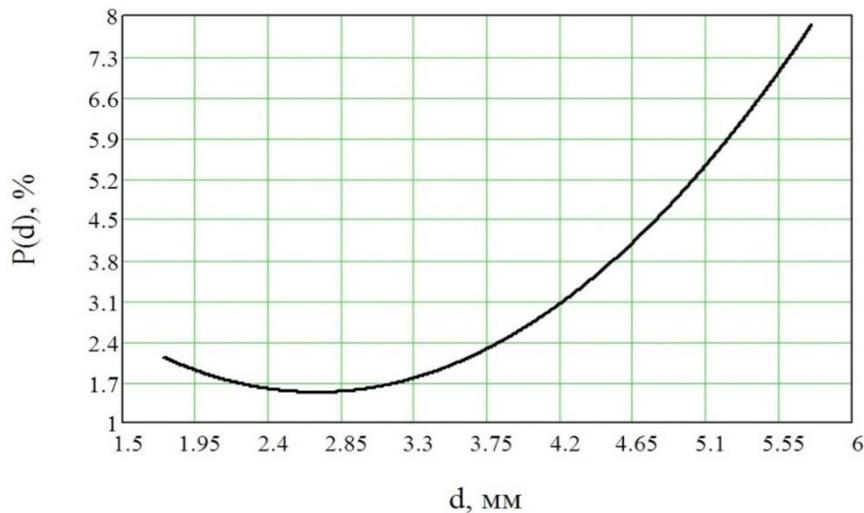


Рис. 2. Зависимость процента нерастворившихся загрязнений от их первоначального гранулометрического состава при значениях времени, температуры и начальной относительной влажности, фиксированных на оптимальных уровнях

### Выводы

1. Все факторы оказывают значимое влияние на исследуемый процесс, при этом факторы *время замачивания  $t$  (ч)* и *температура воды  $T$  (°C)* значимо влияют только во взаимодействии с фактором *гранулометрический состав  $d$  (мм)*. При оптимальных значениях всех факторов количество нерастворившегося осадка составляет не менее 1,5 % от первоначальной массы загрязнений в пересчете на сухое вещество.

2. Целесообразно производить очистку в воде воскового сырья от загрязнений (перги) при относительной влажности последней 11–14 % и среднем размере частиц 2–2,5 мм, что соответствует ее состоянию в измельченной воскоперговой массе, полученной при производстве перги с применением механизированной технологии [9–11].

3. При увеличении времени замачивания и температуры воды количество нерастворившегося осадка закономерно уменьшается. Вместе с тем при разработке технологии и средств механизированной очистки воскового сырья от загрязнений необходимо стремиться к уменьшению времени контакта воскового сырья с водой для исключения развития патогенной микрофлоры, а также к уменьшению температуры для снижения адгезионных свойств воска и перги. Полученная эмпирическая зависимость позволяет определить процент нерастворившихся частиц загрязнений, не прошедших через отверстия сита, при желаемых значениях времени замачивания и температуры воды при отсутствии внешних механических воздействий.

### Литература

1. *Каширин Д.Е.* Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: дис. ... д-ра техн. наук. – Саранск, 2013. – 497 с.
2. Исследование процесса получения воска из воскового сырья различного качества / *Н.В. Бышов, Д.Н. Бышов, Д.Е. Каширин* [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 145–149.
3. *Каширин Д.Е., Куприянов А.В.* К вопросу очистки суши пчелиных сотов от загрязнений перед перетопкой // Мат-лы Междунар.

- науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Института механики и энергетики (16–19 октября 2012). – Саранск, 2012. – С. 235–236.
4. *Бышов Н.В., Каширин Д.Е.* Исследование отделения перги от восковых частиц // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1. – С. 26–27.
5. *Каширин Д.Е.* Исследование массы и геометрических параметров перговых сотов // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 5. – С. 152–154.
6. *Каширин Д.Е.* К вопросу отделения перги из измельченной воскоперговой массы // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 138–139.
7. *Бышов Н.В., Каширин Д.Е., Харитонова М.Н.* Исследование гигроскопических свойств перги // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 2. – С. 122–124.
8. Пат. № 2360407 РФ. МПК А01К 59/00. Способ извлечения перги из сотов / *Д.Е. Каширин*. – Заявл. 02.04.2008; опублик. 10.07.2009, Бюл. № 19. – 5 с.
9. Пат. № 2412590 РФ. МПК А01К 59/00. Установка для извлечения и очистки перги из сотов / *Д.Е. Каширин*. – Заявл. 07.12.2009; опублик. 27.02.2011, Бюл. № 6. – 9 с.
10. *Бышов Н.В., Каширин Д.Е.* Вопросы теории механизированной технологии извлечения перги из перговых сотов. – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2012. – 113 с.

### Literatura

1. *Kashirin D.E.* Jenergosberegajushhie tehnologii izvlechenija pergi iz sotov specializirovannymi sredstvami mehanizacii: dis. ... d-ra tehn. nauk. – Saransk, 2013. – 497 s.
2. Issledovanie processa poluchenija voska iz voskovogo syr'ja razlichnogo kachestva / *N.V. Byshov, D.N. Byshov, D.E. Kashirin* [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 6. – S. 145–149.
3. *Kashirin D.E., Kuprijanov A.V.* K voprosu ochistki sushi pchelinyh sotov ot zagrijaznenij pered peretopkoj // Mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 55-letiju Instituta mehaniki i jenergetiki (16–19 oktjabrja 2012). – Saransk, 2012. – S. 235–236.

4. *Byshov N.V., Kashirin D.E.* Issledovanie otdelenija pergi ot voskovyh chastic // *Tehnika v sel'skom hozjajstve.* – 2013. – № 1. – S. 26–27.
5. *Kashirin D.E.* Issledovanie massy i geometricheskikh parametrov pergovyh sotov // *Vestnik KrasGAU.* – 2010. – № 5. – S. 152–154.
6. *Kashirin D.E.* K voprosu otdelenija pergi iz izmel'chennoj vosko-pergovej massy // *Vestnik KrasGAU.* – 2010. – № 1. – S. 138–139.
7. *Byshov N.V., Kashirin D.E., Haritonova M.N.* Issledovanie gigroskopicheskikh svojstv pergi // *Vestnik KrasGAU.* – 2013. – № 2. – S. 122–124.
8. Pat. № 2360407 RF. MPK A01K 59/00. Sposob izvlechenija pergi iz sotov / *D.E. Kashirin.* – Zajavl. 02.04.2008; opubl. 10.07.2009, Bjul. № 19. – 5 s.
9. Pat. № 2412590 RF. MPK A01K 59/00. Ustanovka dlja izvlechenija i ochistki pergi iz sotov / *D.E. Kashirin.* – Zajavl. 07.12.2009; opubl. 27.02.2011, Bjul. № 6. – 9 s.
10. *Byshov N.V., Kashirin D.E.* Voprosy teorii mehanizirovannoj tehnologii izvlechenija pergi iz pergovyh sotov. – Rjazan': Izd-vo RGATU, 2012. – 113 s.

