

УДК 631.369.258/638.178

UDC 631.369.258/638.178

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
ВАКУУМНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ  
СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЕРГИ****THE WORKING PROCESS RESEARCH OF  
VACUUM INFRA-RED DRYING PLANT FOR  
BEE-BREAD**

Морозов Сергей Сергеевич  
аспирант  
mars37603@mail.ru

Morozov Sergei Sergeevich  
postgraduate student  
mars37603@mail.ru

Протасов Андрей Викторович  
аспирант  
protasof.andrei@mail.ru

Protasov Andrei Viktorovich  
postgraduate student  
protasof.andrei@mail.ru

*Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева, Рязань,  
Россия*

*Ryazan State Agrotechnological University Named  
after P.A.Kostychev, Ryazan, Russia*

В настоящей статье описана методика исследования влияния параметров сушильной установки на критерии оптимизации. Представлена конструкция лабораторной установки для сушки перговых сотов. Установлена адекватная эмпирическая зависимость влияния параметров исследуемого процесса на остаточную влажность перговых сотов. Выявлено оптимальное сочетание факторов, позволяющее минимизировать остаточную влажность перговых сотов

In the present article, a technique for studying the influence of the parameters of a drying plant on the optimization criteria is described. The design of a laboratory plant for drying bee-bread is presented. An adequate empirical dependence of the effect of the parameters of the process under study on the residual moisture of bee-bread is established. An optimal combination of factors has been revealed, which makes it possible to minimize the residual moisture of bee-bread

Ключевые слова: СУШКА, ИНФРАКРАСНОЕ  
ИЗЛУЧЕНИЕ, ВАКУУМ, ПЕРГА

Keywords: DRYING, INFRARED RADIATION,  
VACUUM, BEE-BREAD

**Doi: 10.21515/1990-4665-131-062**

**Введение.** Перга – один из важнейших продуктов пчеловодства. Она представляет собой пыльцу, запечатанную медом и законсервированную молочной кислотой, образующейся во время брожения. Благодаря своему уникальному биохимическому составу этот продукт широко применяют при лечении и профилактики целого ряда заболеваний [1].

В настоящее время объем заготовки перги недостаточен. Одной из наиболее трудоемких и энергозатратных операций при извлечении перги является ее сушка [1, 4]. Традиционно пергу подвергают сушке конвективным способом, обдувая перговые соты горячим воздухом на протяжении 50 часов [4, 5].

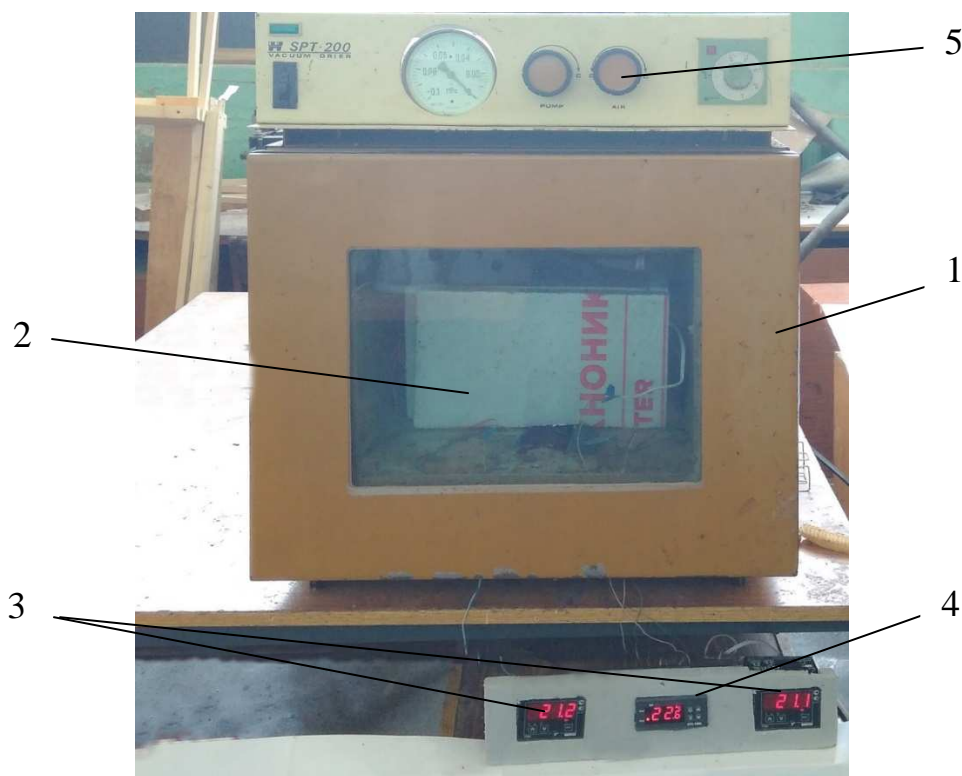
Предложенный нами способ сушки перги заключается в понижении

температуры кипения воды в условиях пониженного давления атмосферы и подводе тепла инфракрасным излучением, проходящим через вакуум практически беспрепятственно [3].

**Цель и задачи исследования.** Изучение совместного влияния следующих факторов на критерий оптимизации: температуры теплоподводящей поверхности; величины вакуума, создаваемой в сушильной камере; продолжительности процесса сушки.

В качестве критерия оптимизации принята остаточная влажность перги.

**Материалы и методы исследования.** Для решения обозначенной выше задачи была изготовлена специальная лабораторная установка на базе вакуумного сушильного шкафа SPT-200, подключенного к вакуумному насосу ВН-461М (Рисунок 1).



1 – вакуумный сушильный шкаф; 2 – сушильная камера; 3 – терморегулятор; 4 – блок управления; 5 – вакуум-регулятор; 6 – вакуумметр.

Рисунок 1 – Лабораторная установка.

Установка состоит из вакуумного сушильного шкафа 1, внутри

которого располагается сушильная камера 2.

Сушильная камера 2 выполнена из теплоизоляционного материала, на внутренних стенках которой расположены пластинчатые инфракрасные излучатели.

Для контроля изменения температуры продукта во время сушки использовали два терморегулятора 3, снабженные микротермодатчиками. Температура внутри сушильной камеры 2 поддерживается блоком управления 4. Величина вакуума регулируется встроенным в сушильных шкаф вакуум-регулятором 5.

Установка работает следующим образом: навески из перговых гранул массой  $100 \pm 2$  гр. помещаются в сушильную камеру 2. В середину навесок внедряют датчик температуры, после чего сушильных шкаф 1 герметично закрывается.

Посредством блока управления 4 выбирается температура теплоподводящей поверхности. Одновременно включается вакуумным насос и устанавливается величина вакуума посредством вакуум-регулятора 5.

Критерий оптимизации (остаточную влажность перги) определяли по формуле [3]:

$$W_{\%} = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

где  $m_0$  - масса продукта во время эксперимента, г;  $m_1$  - масса сухой перги, г; 100 – постоянный коэффициент.

Для оценки влияния исследуемых факторов на критерий оптимизации был поставлен трехфакторный трехуровневый эксперимент второго порядка, близкий к D-оптимальному по плану Бокса-Бенкина.

Таблица 4.1 - Факторы и уровни их варьирования.

Уровень и интервал варьирования	Факторы		
	Температура теплоподводящей поверхности, °С	Величины вакуума, создаваемая в сушильной камере, МПа	Продолжительность процесса сушки, час
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхний уровень (+1)	55	0,1	6
Основной уровень (0)	45	0,075	4
Нижний уровень (-1)	35	0,05	2
Интервал варьирования	10	0,025	2

**Результаты и их обсуждение.** В результате статистической обработки экспериментальных данных, уравнение регрессии получено в виде:

$$W = 34.7883 - 0.1365 \cdot T - 164.0667 \cdot P - 1.8771 \cdot t + 11.45 \cdot P \cdot t \quad (2)$$

где:  $W$  – остаточная влажность перги, %;  $T$  – температура теплоподводящей поверхности, °С;  $P$  – величина вакуума, создаваемая в сушильной камере, МПа;  $t$  – продолжительность процесса сушки, час.

На рисунках 3,4,5 представлена графическая зависимость критерия оптимизации от исследуемых параметров.

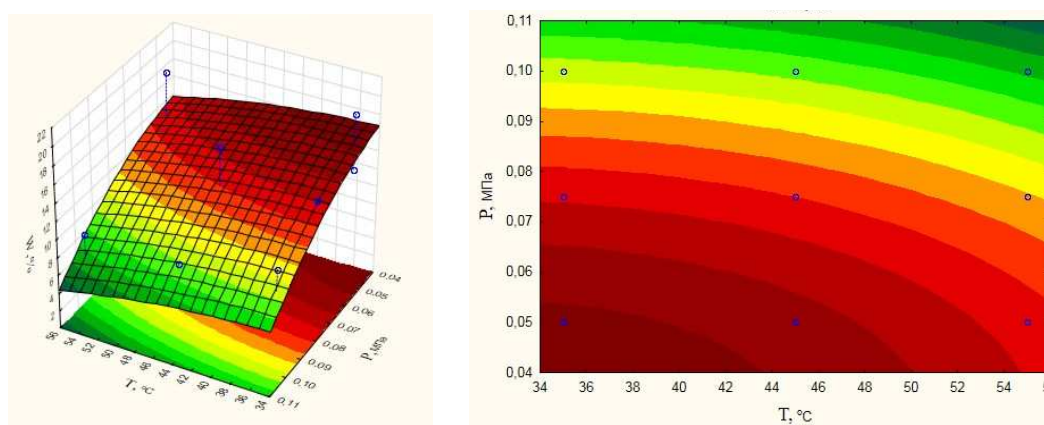


Рисунок 2. Зависимость критерия оптимизации от температуры теплоподводящей поверхности и величины вакуума, создаваемой в сушильной камере

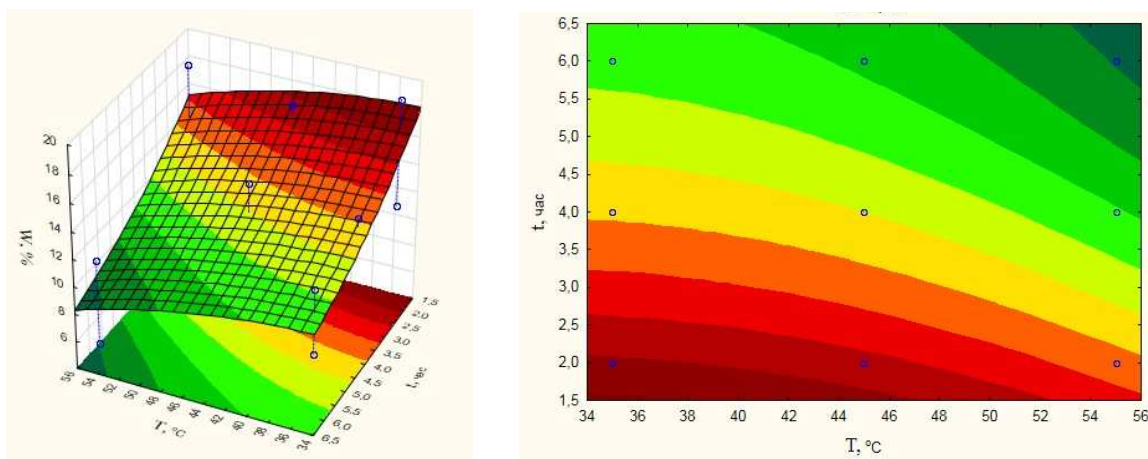


Рисунок 3. Зависимость критерия оптимизации от температуры теплоподводящей поверхности и продолжительности процесса сушки

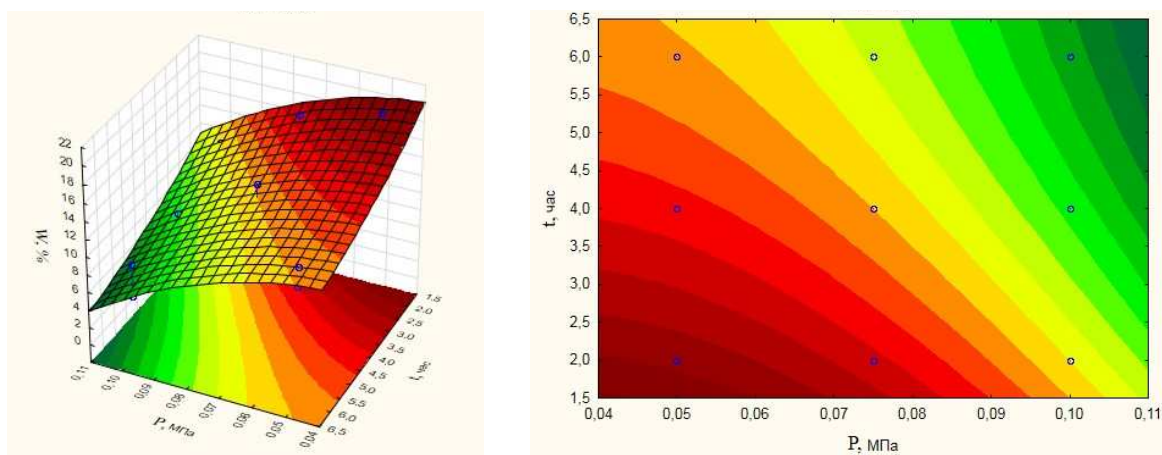


Рисунок 4. Зависимость критерия оптимизации от величины вакуума, создаваемой в сушильной камере и продолжительности процесса сушки

Анализ установленных зависимостей показывает, что в области плана эксперимента экстремумы функций отсутствуют. По графикам видно, что с увеличением исследуемых параметров до верхнего уровня значения фактора, значение критерия оптимизации уменьшается.

Оптимизация полученной математической модели показывает, что функция  $W$  достигает минимального значения 2,593% при  $T = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t = 6 \text{ час}$ .

#### Литература

1. Бышов, Д. Н. К вопросу вакуумной инфракрасной сушки перги [Текст] / Д. Н. Бышов, Д.Е. Каширин, С.Н. Гобелев, С.С. Морозов, А.В. Протасов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2016 - № 1 - С. 56-59.

2. Гобелев, С.Н. Использование инфракрасного излучения на предприятиях АПК [Текст] / С.Н. Гобелев // Материалы международной научно-практической конференции "Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» посвященная 75-летию Владимира Федоровича Некрашевича – Рязань – 2011 – С. 40-44.

3. ГОСТ 31776-2012. Перга. Технические условия [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартиформ, 2013. – 20 с.

4. Каширин, Д.Е. Рациональные режимы циклической конвективной сушки перги в соте [Текст] / Д.Е. Каширин, Д.Н. Бышов, С.Н. Гобелев, Ю.В. Якунин// Сельский механизатор – 2016 - №12 - С. 36-37.

5. Харитонов, М.Н. Методы сушки и качество перги [Текст] / М.Н. Харитонов // Пчеловодство – 2011 - №8 – С. 56-57.

### References

1. Byshov, D. N. K voprosu vakuumnoj infrakrasnoj sushki pergi [Tekst] / D. N. Byshov, D.E. Kashirin, S.N. Gobelev, S.S. Morozov, A.V. Protasov // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva. – 2016 - № 1 - S. 56-59.

2. Gobelev, S.N. Ispol'zovanie infrakrasnogo izlucheniya na predpriyatijah APK [Tekst] / S.N. Gobelev // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Innovacionnye tehnologii i sredstva mehanizacii v rastenievodstve i zhivotnovodstve» posvjashhennaja 75-letiju Vladimira Fedorovicha Nekrashevicha – Rjazan' – 2011 – S. 40-44.

3. GOST 31776-2012. Perga. Tehnicheskie uslovija [Tekst]. – Vved. 2013-07-01. – М. : Standartinform, 2013. – 20 s.

4. Kashirin, D.E. Racional'nye rezhimy ciklicheskoj konvektivnoj sushki pergi v sote [Tekst] / D.E. Kashirin, D.N. Byshov, S.N. Gobelev, Ju.V. Jakunin// Sel'skij mehanizator – 2016 - №12 - S. 36-37.

5. Haritonova, M.N. Metody sushki i kachestvo pergi [Tekst] / M.N. Haritonova // Pchelovodstvo – 2011 - №8 –S. 56-57.