

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.363(675.8)

С.М. Доценко, П.Н. Школьников, С.А. Винокуров,
Л.А. Ковалева, Ю.А. Гужель, С.П. Волков

КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПЛОТНЕНИЯ БЕЛКОВО-ВИТАМИННОЙ КОМПОЗИЦИИ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ГРАНУЛ И БРИКЕТОВ

S.M. Dotsenko, P.N. Shkolnikov, S.A. Vinokurov,
L.A. Kovaleva, Yu.A. Guzhel, S.P. Volkov

KINETIC ASPECTS OF SEALING PROTEIN-VITAMIN COMPOSITION WHEN
RECEIVING GRANULES AND BRIQUETTES

Доценко С.М. – д-р техн. наук, проф. каф. сервисных технологий и общетехнических дисциплин Амурского государственного университета, г. Благовещенск. E-mail: amgu_appe@mail.ru

Школьников П.Н. – канд. техн. наук, ассист. каф. строительного производства и инженерных конструкций Дальневосточного государственного аграрного университета, г. Благовещенск. E-mail: Pavel.shkolnikov@mail.ru

Винокуров С.А. – асп. каф. транспортно-энергетических средств и механизации агропромышленного комплекса Дальневосточного государственного аграрного университета, г. Благовещенск. E-mail: sergeivinokurov1978@mail.ru

Ковалева Л.А. – канд. техн. наук, доц. каф. дизайна Амурского государственного университета, г. Благовещенск. E-mail: kovalevsasha@yandex.ru

Гужель Ю.А. – канд. техн. наук, доц. каф. химии и естествознания Амурского государственного университета, г. Благовещенск. E-mail: g-yuliy-85@mail.ru

Волков С.П. – канд. техн. наук, проф. каф. сервисных технологий и общетехнических дисциплин Амурского государственного университета, г. Благовещенск. E-mail: amgu_appe@mail.ru

Dotsenko S.M. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Service Technologies and All-Technical Disciplines, Amur State University, Blagoveshchensk. E-mail: amgu_appe@mail.ru

Shkolnikov P.N. – Cand. Techn. Sci., Asst, Chair of Construction Production and Engineering Designs, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk. E-mail: Pavel.shkolnikov@mail.ru

Vinokurov S.A. – Post-Graduate Student, Chair of Transport and Power Means and Mechanization of Agrarian and Industrial Complex, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk. E-mail: sergeivinokurov1978@mail.ru

Kovaleva L.A. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Design, Amur State University, Blagoveshchensk. E-mail: kovalevsasha@yandex.ru

Guzhel Yu.A. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Chemistry and Natural Sciences, Amur State University, Blagoveshchensk. E-mail: g-yuliy-85@mail.ru

Volkov S.P. – Cand. Techn. Sci., Prof., Chair of Service Technologies and All-Technical Disciplines, Amur State University, Blagoveshchensk. E-mail: amgu_appe@mail.ru

Цель исследований – аналитическое и эмпирическое установление зависимостей, характеризующих кинетику рабочего процесса и его параметров для создания инновационного пресс-гранулятора. Задачи: получить аналитические зависимости, характеризующие кинетические параметры процесса уплотнения композиций в компрессионно-формующем устройстве винтового гранулятора для принятой структурной схемы линии получения прессованного продукта, а также экспериментальным путем получить оптимально-рациональные значения параметров компрессионно-формующего узла (КФУ). Объектом исследования является рабочий процесс пресса винтового типа для полу-

чения гранул и брикетов полой цилиндрической формы. Предмет исследований – зависимости, характеризующие взаимосвязь параметров пресса и кинетику уплотнения белково-витаминной композиции в виде корнеклубнеплодно-зерновой смеси. Исследования проводились на основе методов математики и прикладной механики с учетом физико-механических и структурных показателей исходного сырья и готового продукта. Разработана структурная схема линии приготовления корнеклубнеплодно-зерновых продуктов, содержащей пресс для получения гранул и брикетов пустотельной цилиндрической формы. Посредством системного математического анализа, а также прикладной техники и

реологии получены аналитические зависимости, раскрывающие кинетику уплотнения, а также взаимосвязь параметров рабочего процесса предложенного пресса. Экспериментальным путем получены значения диаметра и длины компрессионной камеры пресса, которые находятся на уровне 85 и 135 мм соответственно. Полученные зависимости, а также значения параметров позволяют определить работу сил сжатия при осуществлении процесса прессования, которые необходимы при конструировании устройств данного типа. Совокупность полученных результатов и данных использована при создании линии по производству корнеклубнеплодно-зерновых прессованных продуктов. Данная линия прошла производственную проверку в ООО «МиС Агро» Серышевского района Амурской области, где установлена ее высокая эффективность с точки зрения материальных затрат и показателей качества продукта (прочность гранул и брикетов находится в пределах зоотехнических требований).

Ключевые слова: кинетика, процесс, уплотнение, продукт, композиция, пресс-гранулятор, компрессионно-формирующий узел.

The aim of the research was analytical and empirical determination of the dependencies characterizing the kinetics of working process and its parameters for creating innovative pelletizer. The research tasks were to obtain analytical dependencies characterizing kinetic parameters of the compaction of the compositions in the compression-forming device of screw granulator for adopted structural scheme of the line for obtaining compacted product, and also to obtain optimally rational values of the parameters of compression-molding assembly (CMA) experimentally. The object of the study was working process of a screw-type press to produce pellets and briquettes of hollow cylindrical shape. The subject of the research was the dependencies characterizing the interrelation between the parameters of the press and kinetics of densification of protein-vitamin composition in the form of a root-club-fruit-grain mixture. The research was carried out on the basis of the methods of mathematics and applied mechanics, taking into account physical and mechanical and structural parameters of raw material and finished product. Structural scheme of the line for the preparation of root-club-cereal products was developed, containing the press for the production of granules and briquettes of empty cylindrical shape. By analytical dependencies, revealing the kinetics of densification and the interrelation of the parameters of working process of proposed press were obtained through system mathematical analysis, as well as applied engineering and rheology. The values of the diameter and the length of compression chamber of the press being at the level of 85 and 135 mm, respectively, were obtained experimentally. Obtained dependences, as well as the values of the parameters, allow us to determine the work of compression forces during pressing process, which are necessary for the construction of devices of this

type. The totality of obtained results and data was used to create the line for the production of root-club-cereal pressed products. This line underwent production testing in JSC 'MiS Agro' of Seryshevsky Territory of Amur Region where its high efficiency from the point of view of material inputs and indicators of quality of the product was established (the durability of granules and briquettes were within the limits of zootechnical requirements).

Keywords: kinetics, process, compaction, product, composition, press granulator, compression molding unit.

Введение. В настоящее время наибольшее распространение гранулированных продуктов получили прессы с кольцевой матрицей, рабочий процесс которых основан на уплотнении сухого исходного сырья с предварительным его кондиционированием (увлажнением) водой или паром [1].

При этом кольцевой пресс не позволяет получать гранулы диаметром менее 4,7 мм. Для получения гранул меньшего размера в виде крупки пресс снабжается дополнительно крошителем гранул и просеивателем [2].

Все это приводит к высокой металлоемкости и энергоемкости процесса получения прессованного продукта необходимого размера.

В этой связи исследования, направленные на создание инновационных технических систем по получению корнеклубнеплодно-зерновых продуктов в виде гранул и брикетов полый цилиндрической формы, являются актуальными.

Цель исследований. Аналитическое и эмпирическое установление зависимостей, характеризующих кинетику рабочего процесса и его параметров, для создания инновационного пресс-гранулятора.

Задачи исследований:

- для принятой структурной схемы линии получения прессованного продукта с использованием винтового гранулятора получить аналитические зависимости, характеризующие кинетические параметры процесса уплотнения композиций в компрессионно-формирующем устройстве гранулятора;

- экспериментальным путем получить оптимально-рациональные значения параметров компрессионно-формирующего узла (КФУ).

Результаты исследований и их обсуждение. На основании анализа результатов ранее проведенных исследований установлено, что прочность гранул, получаемых с помощью пресс-грануляторов различного типа (винтовых, кольцевых и т.д.), в значительной степени зависит от состава и свойств исходного сырья, а также структурно-механических характеристик (СМХ) композиций, из которых, в конечном итоге, состоит готовый продукт [1–3].

На рисунке 1 представлена структурная схема линии получения гранулированно-брикетированных продуктов с использованием корнеклубнеплодно-зерновых композиций.



Рис. 1. Структурная схема линии приготовления гранулированных корнеклубнеплодно-зерновых продуктов: $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_3(t)$, $Q_4(t)$ – подача исходного сырья и продуктов на соответствующих этапах их трансформации; $Pr(t)$ – прочность готовых гранул

Одним из основных недостатков известных пресс-грануляторов является невозможность получения гранул с низким содержанием воздушных пор. На рисунке 2

представлена разработанная авторами схема пресс-гранулятора, снабженного компрессионно-формирующим узлом, позволяющим устранить указанный недостаток.

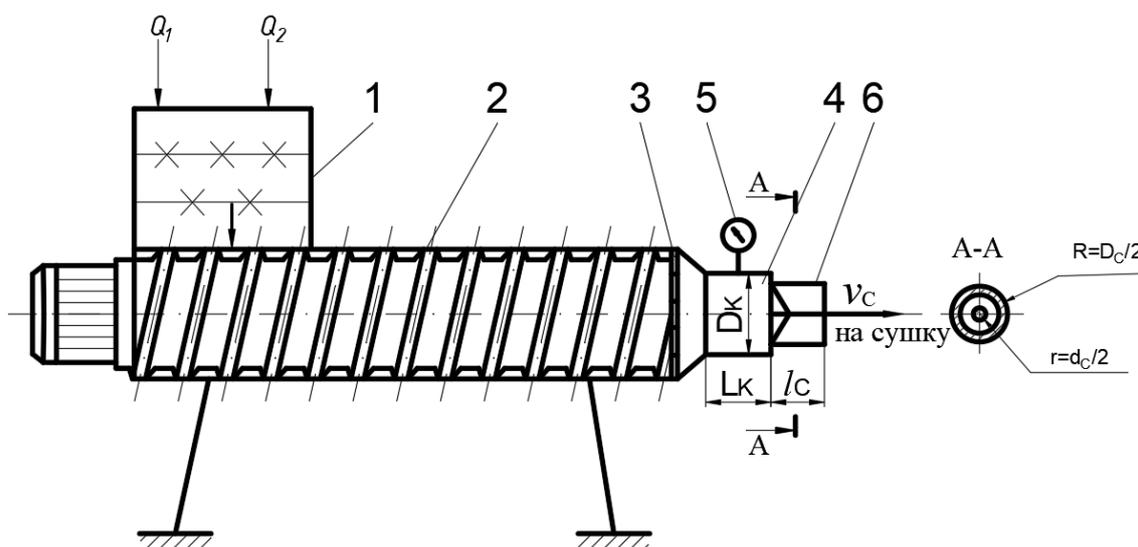


Рис. 2. Схема пресс-гранулятора с КФУ: 1 – смеситель; 2 – винт пресса; 3 – измельчающий узел; 4 – компрессионная камера; 5 – манометр давления; 6 – формирующий узел

При этом характерной особенностью КФУ является возможность получения полых гранул цилиндрической формы.

Как известно, при уплотнении материала продукта в нем накапливается потенциальная энергия упругих деформаций, поэтому происходит упругое расширение в направлении приложенного давления [1]. Сжатие очередной порции продукта обусловлено силами трения ранее запрессованного материала о стенки, а потому работа сжатия новой порции $A_{сж}$ должна быть равна работе от преодоления сил трения $A_{тр}$ [2]

$$A_{сж}=A_{тр} \quad (1)$$

Работу сил сжатия представим как

$$A_{сж}=P \cdot V, \quad (2)$$

где P – приложенное давление, создаваемое винтом пресса 2 (рис. 2);

V – объем сжимаемой порции материала.

Давление, создаваемое винтом 2, с учетом его конструктивных характеристик, представим следующей эмпирической зависимостью:

$$P = C \cdot [\rho_0^{-1} \cdot e^{b_k \cdot \varphi} \cdot (1 - b_k \cdot \varphi)]^y, \quad (3)$$

где C – эмпирический коэффициент; ρ_0 – начальная плотность продукта (исходная); b_k – величина, связанная с декрементом k уменьшения шага винта, $b_k = R/2\pi$; φ – угол поворота винта.

Работа от действия сил трения для принятой схемы смесителя-гранулятора определяется зависимостью $A_{тр3}$: – для камеры 4:

$$A_{TP3} = f \xi P_{уп3} \cdot \frac{\pi D_K^2}{4} \cdot L_K, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения; ξ – коэффициент бокового расширения; $P_{уп3}$ – давление в камере 4; D_K, L_K – диаметр и длина компрессионной камеры;
– для формующего узла 6:

$$A_{TP4} = f \xi P_{уп4} \cdot (R^2 - r^2) l_c, \quad (5)$$

где $P_{уп4}$ – давление в узле 6; R, r – радиусы в соответствии с рисунком 1 – разреза А-А; l_c – длина формующей камеры КФУ.

Приравнявая и преобразуя выражения (2), (4) и (5) с учетом выражения (3), относительно давления P получаем, что

$$P = 8C \cdot \rho_0 [e^{-b_k \cdot \varphi} (1 - b_k \cdot \varphi)]^{-\gamma} \cdot \frac{D_K^2 \cdot L_K}{f \xi (R^2 - r^2) l_c} \quad (6)$$

С другой стороны, установившийся режим работы пресс-гранулятора $Q_{сг}$ характеризуется равенством

$$Q_{сг} = \frac{V \cdot \rho_K}{t} = \pi (R^2 - r^2) \rho_C \cdot v_C, \quad (7)$$

где V – объем компрессионной камеры (КК); ρ_K – плотность продукта в КК; t – время прохождения продукта через КК; ρ_C – плотность продукта в формующем узле; v_C

– скорость движения продукта в формующем узле (скорость выхода продукта).

Приняв, что $t = 2\pi/\omega_B$, где ω_B – угловая скорость винта, получаем

$$\omega = \frac{25,12(R^2 - r^2) \rho_C \cdot v_C}{D_K^2 \cdot L_K \cdot \rho_K} \quad (8)$$

В выражениях (6) и (8) присутствуют соотношения, характеризующие как соотношение конструктивных параметров $L_K/l_c = \varepsilon$, так и технологических $\rho_C/\rho_K = \frac{1}{\lambda}$, где λ – степень уплотнения продукта. С учетом данного факта для выражения (8) имеем

$$t = \frac{0,04 \cdot D_K^2 \cdot L_K}{(R^2 - r^2) \lambda \cdot v_C} \geq t_p, \quad (9)$$

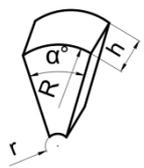
где t_p – время релаксации материала продукта.

Зависимость (8) характеризует кинетику процесса уплотнения продукта через взаимосвязь конструктивно-режимных (D_K, L_K, R, r, v_C) и технологических (λ) параметров.

С целью обоснования оптимально-рациональных значений параметров пресс-гранулятора проведены экспериментальные исследования с использованием тыквенного продукта, взятого в качестве связующего витаминного, и зерновых компонентов, содержащих белки и углеводы, характеристика которых [4] приведена в таблице.

Размерные характеристики зерна ($\bar{x} \pm m, \rho \leq 0,05$)

Культура (сортовая смесь)	d, мм	L, мм	R, мм	r, мм	α°	h, мм
1	2	3	4	5	6	7
Пшеница 	2,0-3,0	5,0-6,0	-	-	-	-
Ячмень шелушенный 	3,0-4,0	5,0-7,0	-	-	-	-
Овес 	3,0-4,0	10,0-13,0	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
<p>Кукуруза</p> 	-	-	8,0-10,0	1,0-2,0	45,0-60,0	4,0-5,0
<p>Соя</p> 	5,0-7,0	5,0-11,0	-	-	-	-

В результате эксперимента получены эмпирические зависимости (рис. 3), характеризующие кинетику процесса уплотнения продукта в виде белково-витаминной ком-

позиции через конструктивные параметры компрессионной камеры – D_k и L_k .

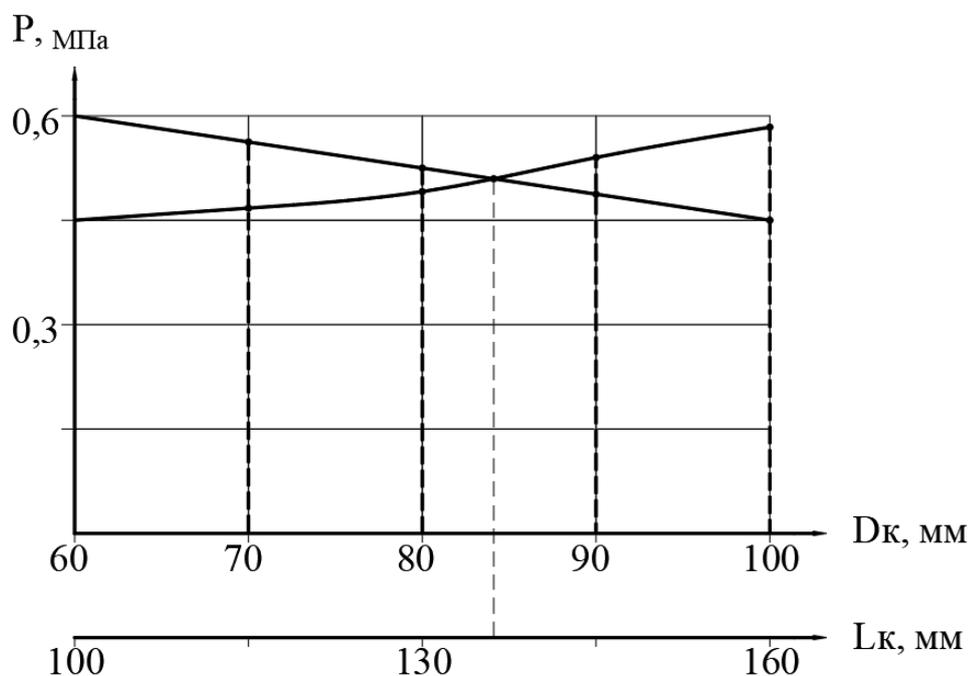


Рис. 3. Зависимости давления P в компрессионной камере от ее диаметра D_k и длины L_k : $P=f(D_k)$ и $P=f(L_k)$

Анализ данных зависимостей показывает, что оптимально-рациональное значение показателя $P=0,5$ МПа, которое определяется значениями параметров: $D_k = 85$ мм и $L_k = 135$ мм.

Проведенные исследования положены в основу создания технологии приготовления корнеклубнеплодно-зерновых продуктов в виде полых гранул и брикетов цилиндрической формы (рис. 4 и 5).

Производственной проверкой, проведенной в ООО «Мис Агро» Серышевского района Амурской области,

установлено, что разработанный пресс-гранулятор в составе линии (рис. 5) обеспечивает получение качественных гранул и брикетов с их прочностью не ниже требуемой $P_p = 93-95\%$.

Экспериментом установлено, что оптимальными параметрами рабочего процесса пресс-гранулятора на приготовлении полых гранул и брикетов являются: $\lambda=1,5-2,2$, $D_k=60-65$ мм, $L_k=100-110$ мм, $l_c=40-50$ мм и $\omega_{в}=10-11$ с⁻¹ при $Q_{сг}=0,0427$ кг/с.



Рис. 4. Принципиальная технологическая схема приготовления гранулята на основе корнеклубнеплодно-зерновых композиций

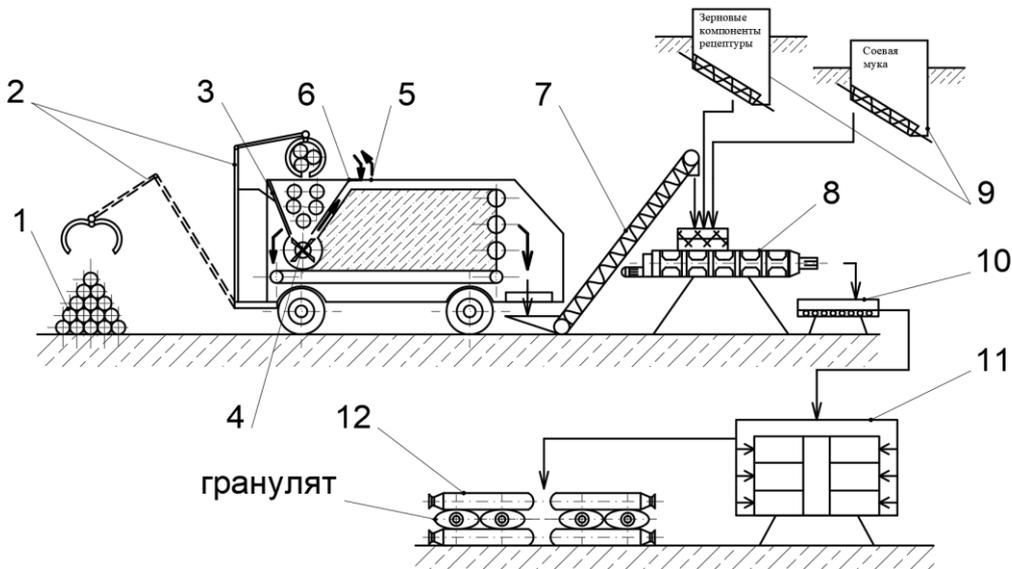


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема линии по производству корнеклубнеплодно-зерновых гранул: 1 – тыква (ККП); 2 – загрузочное устройство; 3 – бункер измельчителя; 4 – роторное измельчающее устройство; 5 – бункер агрегата; 6 – распределитель; 7 – шнековое загрузочное устройство; 8 – пресс-гранулятор; 9 – бункеры-дозаторы; 10 – лоток; 11 – сушилка; 12 – гранулят затаренный

Выводы

1. На основе принятой структурной схемы приготовления гранулированно-брикетированных продуктов корнеклубнеплодно-зернового состава теоретическим путем

были получены аналитические зависимости, характеризующие кинетику рабочего процесса пресс-гранулятора, содержащего компрессионную камеру и компрессионно-формирующий узел.

2. Экспериментальным путем обоснованы оптимально-рациональные значения диаметра компрессионной камеры и ее длины.

Полученные зависимости и значения параметров позволяют использовать их при проектировании технологии и технических средств для производства качественных гранул и брикетов. Разработанный пресс в составе предложенной линии имеет высокую эффективность работы, подтвержденную проведенной производственной проверкой.

Литература

1. *Завражных А.И., Николаев Д.И.* Механизация приготовления и хранения кормов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
2. *Алешкин В.Р., Роцин П.М.* Механизация животноводства. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

3. *Мельников С.В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
4. *Чеботарев О.Н., Шаззо А.Ю., Мартыненко Я.Ф.* Технология муки, крупы и комбикормов. – М.: МарТ, 2004. – 688 с. (Сер. Технологии пищевых производств).

Literatura

1. *Zavrazhnov A.I., Nikolaev D.I.* Mehanizacija prigotovlenija i hra-nenija kormov. – M.: Agropromizdat, 1990. – 336 s.
2. *Aleshkin V.R., Roshhin P.M.* Mehanizacija zhivotnovodstva. – M.: Ag-ropromizdat, 1985. – 336 s.
3. *Mel'nikov S.V.* Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm. – L.: Kolos, 1978. – 560 s.
4. *Chebotarev O.N., Shazzo A.Ju., Martynenko Ja.F.* Tehnologija muki, krupy i kombikormov. – M.: MarT, 2004. – 688 s. (Ser. Tehnologii pishhevih proizvodstv).

УДК 638.163.4

В.А. Ермолаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОЙ СУШКИ МЕДА

V.A. Ermolaev

THE STUDY OF THE PROCESSES OF HONEY VACUUM DRYING

Ермолаев В.А. – д-р техн. наук, доц. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Ermolaev V.A. – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Heating Systems, Kemerovo State University, Kemerovo. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Статья посвящена подбору эффективных режимов вакуумной сушки мёда. Исследовано влияние толщины слоя сушки и плотности теплового потока на эффективность вакуумного обезвоживания мёда. Проведены опыты по вакуумной сушке мёда при плотности теплового потока от 2 до 10 кВт/м². Получены зависимости относительной массы продукта от продолжительности вакуумной сушки. С увеличением плотности теплового потока происходит сокращение продолжительности сушки: при плотности теплового потока 2, 4 и 6 кВт/м² продолжительность сушки составляла 270±10, 240±10 и 225±10 мин, а при плотности теплового потока 8 и 10 кВт/м² – соответственно 210±10 и 195±10 мин. При этом также меняется влагосодержание обезвоженного продукта: при увеличении плотности теплового потока от 2 до 10 кВт/м² оно меняется от 4,5 до 5 %. Проведены экспериментальные исследования по вакуумной сушке мёда при толщине слоя продукта от 5 до 20 мм. Установлено, что увеличение толщины слоя влечет за собой повышение продолжительности сушки, увеличение влагосодержания обезвоженного продукта и снижение его качества. Однако при этом увеличивается производительность сушильной установки. На основании проведенных исследований были определены эффективные режимы вакуумной сушки мёда – плотность теплового потока 4 кВт/м², толщина слоя продукта – 15 мм. Мёд целесообразно обезвоживать при остаточном давлении 4±0,5 кПа и температуре в камере 40 °С. При указанных режимах

продолжительность сушки составляет 275±10 мин, а органолептическая оценка сухого продукта равна 34 баллам из 40.

Ключевые слова: мёд, вакуумная сушка, влагосодержание.

The study was devoted to the selection of effective modes of vacuum drying of honey. The effect of drying layer thickness and heat flux density on the efficiency of vacuum dehydration of honey was studied. The experiments on vacuum drying of honey with heat flux density from 2 to 10 kW/m² were carried out. The dependences of relative mass of the product on the duration of vacuum drying were obtained. With increasing heat flux density, drying time was shortened: at heat flux density of 2, 4 and 6 kW/m², drying time was 270 ± 10, 240 ± 10 and 225 ± 10 minutes, and with heat flux density of 8 and 10 kW/respectively 210 ± 10 and 195 ± 10 minutes. It also changed the moisture content of dehydrated product: with an increase in the heat flux density from 2 to 10 kW/m², it varied from 4.5 to 5 %. Experimental studies on vacuum drying of honey with the thickness of the product layer from 5 to 25 mm were carried out. It was found out that increasing the thickness of the layer entailed the increase in the duration of drying, an increase in the moisture content of dehydrated product and the decrease in its quality. However, under these circumstances the productivity of drying device increased. On the basis of conducted studies, effective modes of vacuum drying of honey were determined – heat flux density of 4 kW/m², the thickness of the product layer – 15 mm. It was