

КИНЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО ГРАНУЛЯТА

С.М. Dotsenko, P.N. Shkolnikov, V.A. Makarov,
L.A. Kovaleva, Yu.A. Guzhel, S.P. Volkov

KINETIC JUSTIFICATION OF THE PROCESS OF DRYING PROTEINACEOUS AND MINERAL GRANULATE

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

Макаров В.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 General 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

Makarov V.A. – Post-Graduate Student, Chair of Transport and Power Means and Mechanization of AIC, 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

Целью исследования является установление аналитическим и эмпирическим путем взаимосвязи между факторами, оказывающими влияние на эффективность процесса сушки белково-минерального гранулята на основе соевого и сапропелевого сырья. Задачи исследования: получить аналитические выражения, характеризующие процесс сушки соево-сапропелевого гранулята для принятой структурной схемы, провести производственную проверку результатов на основе предложенных технологической и конструктивно-технологической схем, получить данные, характеризующие оптимально-рациональные значения параметров процесса сушки гранулята заданного состава и свойств в сушильной камере «ЭСПИС-4-Универсал». Объект исследования – процесс получения сушеных белково-минеральных гранул на основе соевого и сапропелевого сырья. Предмет исследований – закономерности процесса получения сушеных соево-сапропелевых гранул заданного состава и свойств.

В приведенных исследованиях использованы методы системного математического и кинетического анализа, математической обработки результатов эксперимента и т. д. На основе анализа достоинств и недостатков существующих схем разработана структурная схема линии приготовления сушеного белково-минерального гранулята с использованием камерной сушилки периодического действия. В рамках теоретического анализа использован методологический подход, предусматривающий рассмотрение процесса сушки продукта как реальной пространственной системы с убывающей во времени массой. Путем составления соответствующих дифференциальных уравнений и их преобразований установлены взаимосвязи между факторами исследуемого процесса сушки гранул и тем самым получены уравнения, характеризующие кинетику сушки гранулята заданного состава и свойств с обоснованием производительности сушилки камерного типа. Для проведе-

ния производственной проверки основных результатов исследований приняты разработанная технологическая схема производства гранулята для крупного рогатого скота и свиней, а также конструктивно-технологическая схема линии с конкретным оборудованием в виде 2 дозаторов, смесителя-гранулятора винтового типа и сушилки с 9 режимами сушки «ЭСПИС-4-Универсал». Получены оптимально-рациональные параметры сушки соево-сапропелевого гранулята: производительность сушки – 60–86 мин при конечной его влажности 8 % и средней прочности 95,5 %.

Ключевые слова: сушка, гранулят, кинетика, факторы, влажность, производительность.

The research objective was the establishment in analytical and empirical way of interrelation between the factors having impact on the efficiency of the process of drying proteinaceous and mineral granulate on the basis of soy and sapropelic raw materials. The research problems were to receive analytical expressions characterizing the process of drying of soy and sapropelic granulate for accepted block diagram to carry out production inspection of the results on the basis of offered technological and constructive and technological schemes, to obtain the data characterizing optimum and rational values of parameters of the process of drying of granulate of set structure and properties in the drying chamber "ESPIS-4-Universal". The object of the research was the process of receiving dried proteinaceous and mineral granules on the basis of soy and sapropelic raw materials. The subject of the researches was the regularities of the process of receiving dried soy and sapropelic granules of set structure and properties. In the research the methods of system mathematical and kinetic analysis, mathematical processing of results of the experiment and so on are used. On the basis of the analysis of merits and demerits of the existing schemes the block diagram of the line of preparation of dried proteinaceous and mineral granulate with use of the chamber dryer of periodic action is developed. Within theoretical analysis methodological approach providing the consideration of the process of drying of the product as real spatial system with weight decreasing in time was used. By drawing up corresponding differential equations and their transformations the interrelations between factors of studied process of drying of granules are established and the equations characterizing kinetics of drying of granulate of set structure and properties with justification of productivity of the dryer of chamber type are thereby received. To carry out production verification of the main research results, the developed technological scheme for the production of granulate for cattle and pigs was adopted, as well as the design and

technological scheme of the line with specific equipment in the form of 2 dispensers, a screw-type mixer-granulator and a dryer with 9 drying regimes "ESPIS-4-Universal". Optimum rational parameters of drying soy and sapropelic granulates were obtained: drying capacity of 60–86 minutes with final moisture content of 8 % and average strength of 95.5 %.

Keywords: drying, granulate, kinetics, factors, humidity, productivity.

Введение. Известно, что сушка сырья и готовых продуктов является одним из основных способов консервирования. При этом достаточно полно (и в теоретическом, и в экспериментальном аспектах) изучен процесс сушки сырья и пищевых продуктов в виде монокомпонентных систем [1–4]. Однако до настоящего времени не имеется достаточных данных как теоретического, так и экспериментального характера для получения из бинарных вязкопластичных систем белково-минеральных гранул на основе соево-сапропелевых композиций.

В связи с этим исследования, направленные на создание технических систем по получению инновационных продуктов на основе соево-сапропелевых композиций заданного состава и свойств, являются актуальными.

Цель исследования: аналитическим и эмпирическим путем установить взаимосвязь между факторами, оказывающими влияние на эффективность процесса сушки белково-минерального гранулята на основе соево-сапропелевого сырья.

Задачи исследования:

– для принятой структурной схемы получения гранулята, включающей камерную сушилку периодического действия, получить аналитические выражения, характеризующие процесс сушки соево-сапропелевого гранулята;

– на основе предложенных технологической и конструктивно-технологической схем провести производственную проверку результатов, получить данные, характеризующие оптимально-рациональные значения параметров процесса сушки гранулята заданного состава и свойств в сушильной камере «ЭСПИС-4-Универсал».

Анализ литературных источников и практика показывают, что для процесса сушки белково-минерального гранулята на основе бинарных соево-сапропелевых композиций отсутствуют данные, позволяющие проектировать процесс его обезвоживания.

Исследования производились согласно схеме, включающей три структурных элемента (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема линии получения белково-минерального гранулята

При обосновании параметров процесса сушки белково-минерального гранулята примем, что в начальный момент гранула массой M с постоянной влагоемкостью ν имеет влажность W_H , при влажности окружающей среды – const и равной W_C . Затем определим закон удаления влаги из гранулы за элементарный промежуток времени dt .

В процессе удаления влаги из гранулы ее влажность уменьшается от W_H до W_C . В момент времени t влажность гранулы будет равна W_i . За бесконечно малый промежуток времени dt количество влаги, отдаваемое гранулой, равно

$$dW = \gamma(W_i - W_C)dt, \quad (1)$$

где γ – коэффициент пропорциональности, зависящий от интенсивности воздействия сушильного агента – воздуха.

С другой стороны, количество влаги, отдаваемое гранулой при ее обезвоживании от влажности W_i до W_C , равно $W = M \cdot \beta(W_i - W_C)$ и, следовательно,

$$dW = M \cdot \beta(W_i - W_C). \quad (2)$$

Сопоставляя между собой равенства (1) и (2) имеем дифференциальное уравнение:

$$M \cdot \beta(W_i - W_C) = \gamma(W_i - W_C)dt. \quad (3)$$

Произведем разделение переменных и получим

$$\frac{dW}{W_i - W_C} = \frac{\gamma}{M \cdot \beta} \cdot dt. \quad (4)$$

Последующее интегрирование этого уравнения дает

$$\ln(W_i - W_C) = -\frac{\gamma}{M \cdot \beta} t - \ln C$$

или

$$W_i - W_C = C \cdot e^{-\gamma t / (M \cdot \beta)}. \quad (5)$$

При начальных условиях $W=W_H$ и $t=0$ решение уравнения (5) позволяет определить постоянную C , которая равна

$$C = W_H - W_C. \quad (6)$$

Частное решение уравнения дает закон изменения влажности в процессе удаления влаги из гранул

$$W_i = W_C + (W_H - W_C)e^{-\gamma t / (M \cdot \beta)}. \quad (7)$$

Параметр γ определяется при условиях, когда $W_i = W_1$ при $t = t_1$.

В данном случае имеем, что

$$W_1 - W_C = (W_H - W_C)e^{-\gamma t_1 / (M \cdot \beta)}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) получаем, что

$$e^{-\gamma t / (M \cdot \beta)} = \left(\frac{W_1 - W_C}{W_H - W_C} \right)^{1/t_1}. \quad (9)$$

Тогда текущее значение влажности гранул определится по формуле

$$W_i = W_C + (W_H - W_C) \cdot \left(\frac{W_1 - W_C}{W_H - W_C} \right)^{t/t_1} \leq [W_K], \quad (10)$$

где $[W_K]$ – допустимая по технологическим требованиям влажность гранул, равная 8–12 % [2].

Вполне очевидно, что существует зависимость, в соответствии с которой

$$[W_K] = f(t_c), \quad (11)$$

где t_c – продолжительность сушки гранулята на основе белково-минеральной бинарной композиции.

Примем, что $[W_K] \geq W_K$, где W_K – конечная влажность гранулята, которая определяется на основании следующего закона:

$$W_K = W_H \cdot e^{-ct_c}, \quad (12)$$

где C – эмпирический коэффициент.

Тогда продолжительность процесса сушки равна следующему:

$$t_c = \frac{1}{c} \lg\left(\frac{W_H}{W_K}\right). \quad (13)$$

В свою очередь, производительность камерной сушилки по сушеному грануляту определяется как

$$Q_c = G \left[\frac{(100 - W_H)}{100} \right] \cdot t_c^{-1}, \quad (14)$$

где G – масса гранул.

При заданном значении Q_c параметр времени определится как

$$t_c = \frac{Q_c}{G \left[\frac{(100 - W_H)}{100} \right]}. \quad (15)$$

Приравнивая правые части равенств (14) и (15) и решая полученное выражение относительно C , имеем, что

$$C = \frac{G \cdot \lg(W_H - W_K)^{-1} \cdot \left[\frac{(100 - W_H)}{100} \right]}{Q_c}. \quad (16)$$

Коэффициент C характеризует кинетику процесса сушки соево-сапропелевого гранулята в зависимости от физико-механических и структурно-реологических показателей исходного соевого и сапропелевого сырья и, в первую очередь, от их начальной влажности W_1 и W_2 .

На основании принятого аналитическо-методологического подхода, а также производственной проверки результатов исследований разработаны технологическая и конструктивно-технологическая схемы производственного процесса получения соево-сапропелевого белково-минерального продукта для двух вариантов (рис. 2, 3):

- по первому варианту готовится гранулят;
- по второму – белково-минеральная паста.

Данное техническое решение позволяет расширить технологические возможности предложенной линии.

Производственная проверка основных результатов исследований проводилась в условиях ООО «МиС Агро» (с. Поляна Серышевского района Амурской области).

В качестве исходного базового рецепта для коров и крупного рогатого скота принят рецепт комбикормов с использованием карбамида, растворенного в мелассе (БВД 65–1–89).

В качестве исходного базового рецепта для свиней принят состав по рецепту КК–52–4–89.

При этом в качестве минерального компонента использовался сапропель влажностью 70–80 %, а белкового – обезжиренная соевая мука $W = 8$ %.



Рис. 2. Технологическая схема приготовления соево-сапропелевой белково-минеральной кормовой добавки в виде гранулята и пасты

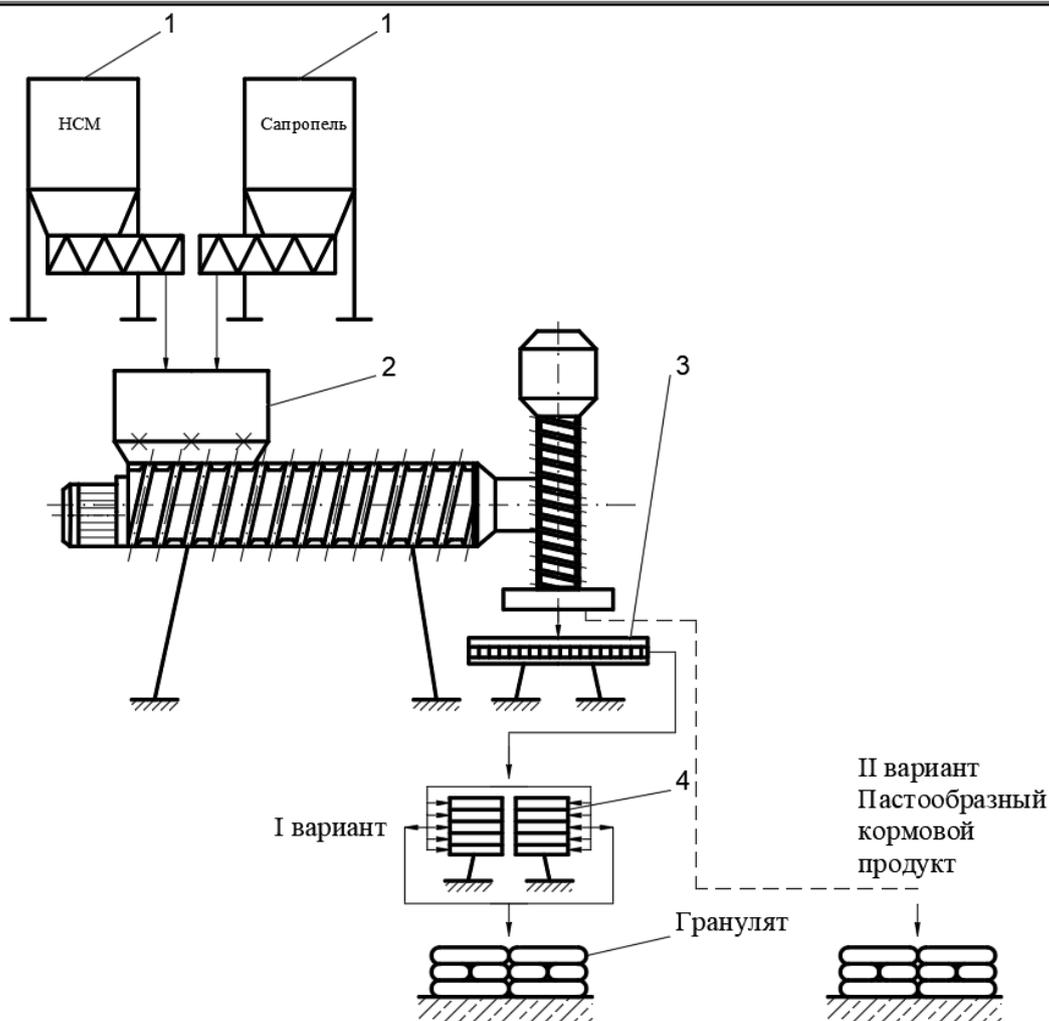


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема линии по производству соево-сапрпелевой кормовой добавки в виде гранулята и пасты: 1 – бункеры-дозаторы; 2 – смеситель-гранулятор; 3 – лоток; 4 – сушильный шкаф «ЭПИС-4»-Универсал

Необезжиренная соевая мука готовилась на агрегате КПСМ-850, который предназначен для выработки необезжиренной соевой муки из семян сои. Оборудование, входящее в состав комплекта, разработано с учетом особенностей переработки семян, имеющих в исходном состоянии высокое содержание масла. При этом вихревая мельница позволила обеспечить стабильный помол зерна сои до размеров 5–25 мкм без проскоков и залипания продукта в ее рабочих органах.

В качестве смесителя-гранулятора использовалось устройство, техническая характеристика которого приведена ниже.

Техническая характеристика смесителя-гранулятора винтового типа:

1. Производительность по влажным гранулам при диаметре 2 мм – до 150 кг/ч.

2. Габаритные размеры: длина – 1 185 мм, ширина – 580 мм, высота – 1 250 мм.

3. Масса – 253 кг.

4. Установленная мощность – 3,0 кВт.

5. Обслуживающий персонал – 1 человек.

В качестве сушильного оборудования на стадии производственной проверки основных результатов исследований использовалась сушильная камера «ЭПИС-4»-Универсал с 9 режимами сушки. При этом температура сушки для гранул диаметра 2–3 мм составляла $t = 80 \pm 4$ °С, что обосновано свойствами компонентов комбикорма [3].

После сушки гранул определялась их прочность, которая составила 95–96 %, что соответствует предъявляемым требованиям.

На рисунке 4 представлена зависимость, характеризующая кинетику сушки белково-минерального гранулята, которая имеет экспоненциальный вид.

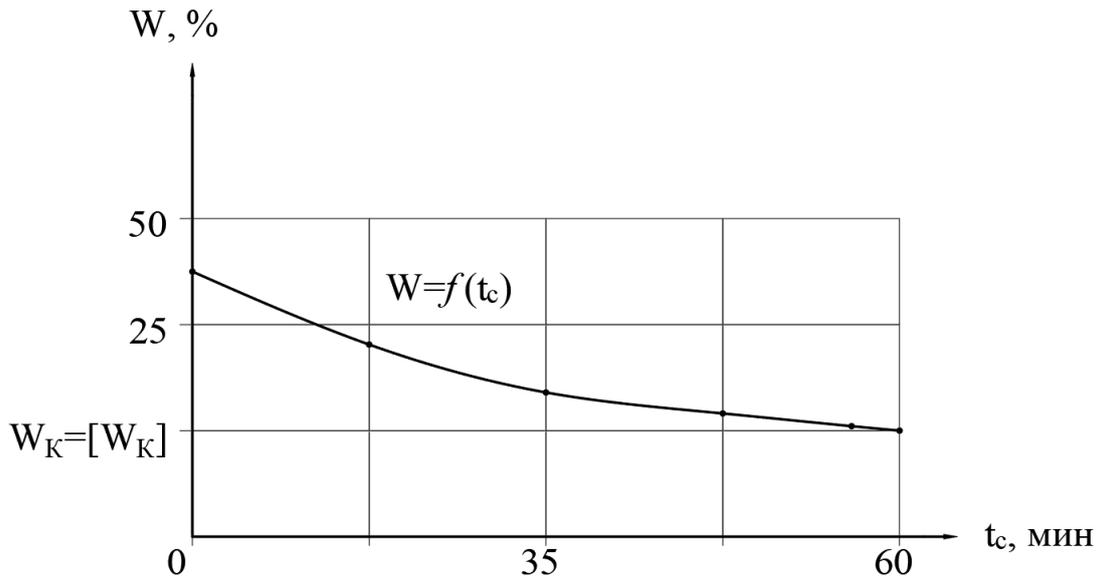


Рис. 4. Зависимость влажности W гранулята от времени его сушки t_c

Выводы. Проведенным теоретическим анализом установлена существующая взаимосвязь между факторами, характеризующими кинетику процесса сушки белково-минерального гранулята. Это позволило обосновать производительность сушилки камерного типа и обоснованно осуществить выбор ее типа и конструкции с точки зрения повышения эффективности выполнения инновационного процесса получения гранул заданного состава и свойств на основе соевого и сапропелевого исходного сырья.

Таким образом, полученные зависимости позволяют проектировать технологию и технические средства данного назначения.

Литература

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. – 248 с.

3. Кац З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1984. – 216 с.
4. Доценко С.М., Иванов С.А., Морозова Е.И. и др. Технология сушки пищевых продуктов. – Благовещенск: Зея, 2000. – 207 с.

Literatura

1. Lykov A.V. Teorija sushki. – M.: Jenergija, 1968. – 472 s.
2. Ginzburg A.S. Tehnologija sushki pishhevyh produktov. – M.: Pishhevaja prom-st', 1976. – 248 s.
3. Kac Z.A. Proizvodstvo sushenyh ovoshhej, kartofelja i fruktov. – 2-e izd., pererab. i dop. – M., 1984. – 216 s.
4. Docenko S.M., Ivanov S.A., Morozova E.I. i dr. Tehnologija sushki pishhevyh produktov. – Blagoveshensk: Zeja, 2000. – 207 s.