

Научная статья

УДК 631.36

EDN UUSRXY

DOI: 10.22450/199996837_2022_3_89

Результаты исследований по определению оптимальных параметров процесса сушки кормовых продуктов

Дмитрий Александрович Колесников¹, Сергей Николаевич Воякин²,
Сергей Васильевич Щитов³, Евгений Евгеньевич Кузнецов⁴,
Виктор Владимирович Епифанцев⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ kda1977savitinsk@mail.ru, ² vsnl77@yandex.ru, ³ shitov.sv1955@mail.ru, ⁴ ji.tor@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию оптимальных параметров в технологии получения продуктов-заменителей цельного молока и комбинированных кормов. Одним из основных требований при производстве продуктов животноводства является использование кормов, обладающих высокими питательными свойствами и при этом имеющих невысокую себестоимость, так как в конечном итоге именно они и определяют конечную стоимость производимого продукта для потребителя. Таким образом, основным направлением исследований является поиск решений использования местного сырья, которое можно было бы применить при кормлении сельскохозяйственных животных. При этом необходимо, чтобы данные корма были богаты питательными и минеральными веществами, кальцием и протеином. В условиях Амурской области эту проблему можно решить за счёт использования соевого зерна, как важного растительного источника протеина; морской капусты и хвои – в качестве минеральных веществ; мела и яичной скорлупы – в качестве кальция. Данное сырьё имеется в достаточном количестве в Амурской области, однако используется нерационально. Это объясняется тем, что отсутствуют подходящие способы и технические средства, которые бы обеспечивали его подготовку к скармливанию животным в необходимых количествах и соответствующим качеством. В предлагаемой статье рассматривается вопрос по обоснованию оптимальных параметров одной из стадии в инновационной технологии получения «соевого молока» в виде заменителей цельного молока из предлагаемых композиций. В результате исследований определена минимальная продолжительность сушки, а также энергоёмкость процесса.

Ключевые слова: кормовые продукты, технология, заменители, питательные вещества, сельскохозяйственные животные, сушка, эффективность

Для цитирования: Колесников Д. А., Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Епифанцев В. В. Результаты исследований по определению оптимальных параметров процесса сушки кормовых продуктов // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 89–95. doi: 10.22450/199996837_2022_3_89.

Original article

Results of studies to determine the optimal parameters of the drying process of feed products

Dmitry A. Kolesnikov¹, Sergey N. Voyakin²,
Sergey V. Shchitov³, Evgeniy E. Kuznetsov⁴, Victor V. Epifantsev⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

¹ kda1977savitinsk@mail.ru, ² vsnl77@yandex.ru, ³ shitov.sv1955@mail.ru, ⁴ ji.tor@mail.ru

Abstract. The article presents the results of theoretical and experimental studies to substantiate the optimal parameters in the technology of obtaining whole milk substitute products and combined feeds. One of the main requirements in the production of livestock products is the use of feed that has high nutritional properties and at the same time has a low cost, since in the end they determine the final cost of the product produced for the consumer. Thus, the main direction of research is to find solutions for the use of local raw materials that could be used in feeding farm animals. At the same time, it is necessary that these feeds are rich in nutrients and minerals, calcium and protein. In the Amur region, this problem can be solved by using soy grains as an important vegetable source of protein; seaweed and pine needles as minerals; chalk and eggshells as calcium. This raw material is available in sufficient quantities in the Amur region, but it is not used rationally. This is due to the fact that there are no suitable methods and technical means that would ensure its preparation for feeding to animals in the necessary quantities and appropriate quality. The proposed article discusses the issue of substantiating the optimal parameters of one of the stages in the innovative technology of obtaining "soy milk" in the form of whole milk substitutes from the proposed compositions. As a result of the research, the minimum duration of drying was determined, as well as the energy intensity of the process.

Keywords: feed products, technology, substitutes, nutrients, farm animals, drying, efficiency

For citation: Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Epifantsev V. V. Rezul'taty issledovaniy po opredeleniyu optimal'nyh parametrov processa sushki kormovykh produktov [Results of studies to determine the optimal parameters of the drying process of feed products]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2022; 16; 3: 89–95. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837_2022_3_89.

Введение. Как показали проведённые ранее исследования [1, 2, 3, 4] существует реальная возможность получения качественных заменителей цельного молока (ЗЦМ) и поликомпозиционных кормовых продуктов в виде нерастворимого композиционного остатка (НКО) требуемой влажности с помощью инновационно-рационального способа и многофункционального устройства для его осуществления в виде трехузловой технологической системы для принятых условий трансформации состава и свойств исходного сырья в виде конкретных композиций (соево-кукурузных, соево-овсяно-кукурузных, соево-ламинариевых, соево-хвойных и т. д.).

Также установлено, что технико-экономическая эффективность производства ЗЦМ и комбинированных кормов функционально зависит от вида и физико-механических свойств исходного сырья, сформированных на его основе рационального состава композиций, а также множества других факторов технического плана, определяющих выход питательных веществ в экстрагент и влажность нерастворимого композиционного остатка.

Знание закономерностей извлечения питательных (сухих) веществ из измельчённых соево-кукурузных, соево-ламинариевых, соево-хвойных и других композиций, а также режимов сушки композиций в виде нерастворимого остатка позволяет управлять факторами и параметрами данных процессов и обосновать рациональные значения параметров устройств, используемых в технологии их получения [5].

На основании этого, можно констатировать, что получение ЗЦМ и комбинированных кормов с использованием местного сырья является актуальной проблемой для животноводства региона.

Цель работы состоит в обосновании способа и параметров устройства для приготовления кормовых продуктов в виде заменителей цельного молока и комбикормов с использованием местного сырья.

Условия и методы исследований. Во время проведения теоретических и экспериментальных исследований по приготовлению кормовых продуктов в виде ЗЦМ и комбинированных кормов за основу брались общепринятые аналитико-ма-

тематические методы математического моделирования и планирования многофакторного эксперимента с учётом положений теории вероятности и математической статистики.

Использование такого подхода позволяет наиболее полно и достоверно определить все существующие взаимосвязи, проявляющиеся при приготовлении кормовых продуктов в виде ЗЦМ и комбинированных кормов, дать им объективную оценку, а также обосновать рациональные параметры процесса сушки нерастворимого композиционного остатка.

При обработке экспериментальных данных, полученных в процессе исследований, использовались методы статистической обработки с применением программ *KPS* и *Statistika-7*.

Результаты исследований. Как показали исследования, для получения ЗЦМ необходимо применение трёх взаимосвязанных технологических узлов:

- 1) подающе-дозировочного (ПДУ);
- 2) дезинтегрирующе-экстракционного (ДЭУ);
- 3) отжимающе-прессующего (ОПУ).

При ранее проведенных теоретических исследованиях были получены оптимальные параметры выше перечисленных узлов [6, 7, 8].

Кроме отмеченных элементов в технологии получения ЗЦМ и комбинированных кормов обязательным является

применение такой операции как сушка. С целью обоснования рациональных параметров процесса сушки НКО для проведения регрессионно-корреляционного анализа были выделены значимые факторы, которые устанавливались с учётом опроса специалистов и критерия Пирсона:

- 1) α_1/T – температура сушки в камере, °С;
- 2) α_2/K_6 – коэффициент воздухообмена в камере сушилки, м³/час;
- 3) α_3/d_4 – средневзвешенный диаметр частиц, мм.

Установлено, что процесс сушки НКО характеризуется следующей зависимостью общего вида (1):

$$\gamma_8/t_c = f[(\alpha_1/T); (\alpha_2/K_6); (\alpha_3/d_4)] \rightarrow \min \quad (1)$$

где γ_8/t_c – продолжительность сушки, мин.

В таблице 1 представлены факторы процесса и уровни их варьирования. После реализации эксперимента по матрице планирования и получения данных проведена их математическая и статическая обработка (табл. 2).

На основе проведённой математической обработки экспериментальных данных были получены области экстремальных значений, приведённые в таблице 3. Затем выполнена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде детерминированных поверхностей отклика и их сечений (рис. 1, 2, 3).

Таблица 1 – Факторы и уровни варьирования для процесса

Уровни	Факторы		
	$\alpha_1/T, \text{ }^\circ\text{C}$	$\alpha_2/K_6, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\alpha_3/d_4, \text{ мм}$
Верхний уровень (+)	110,0	12,0	0,8
Основной уровень (о)	105,0	10,0	0,5
Нижний уровень (–)	100,0	8,0	0,2
Интервал варьирования (E)	5,0	2,0	0,3

Таблица 2 – Регрессионный анализ зависимости $\gamma_8 = f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$

Критерий	Стандартное отклонение (σ)	Коэффициент корреляции (R)	Коэффициент детерминации (R ²)	F-критерий	Значимость F-критерия (p)
$\gamma_8 \rightarrow opt$	5,711	0,954	0,910	5,597	0,036

Таблица 3 – Области экстремальных значений

Критерий	$\alpha_1/T, ^\circ\text{C}$	$\alpha_2/K_0, \text{м}^3/\text{ч}$	$\alpha_3/d_0, \text{мм}$	$\gamma_8/t_c, \text{мин.}$
$\gamma_8 \rightarrow \min$	0,23/105,0	0,14/9,0	0,16/0,5	40,0/41,0

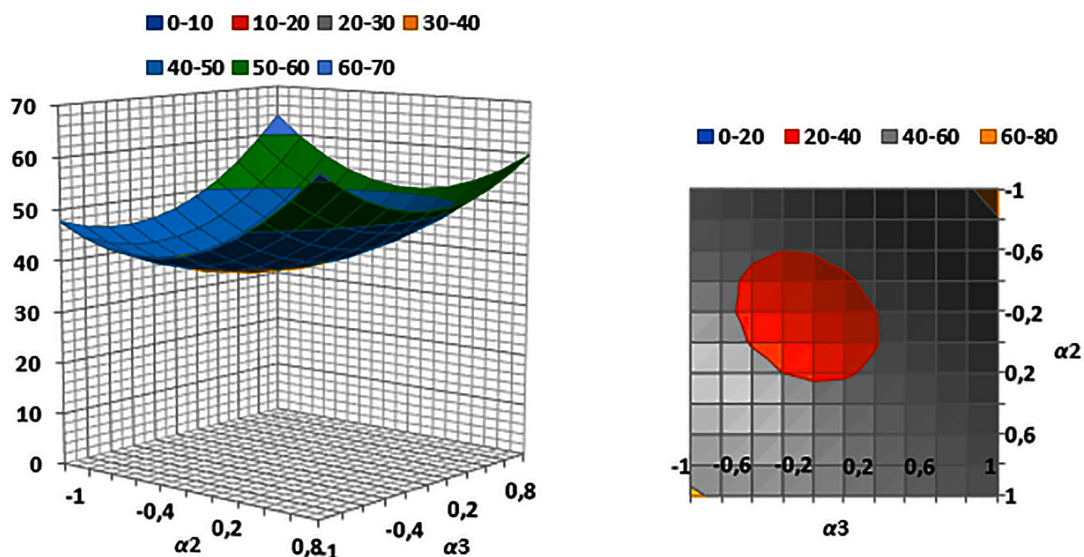


Рисунок 1 – Поверхность отклика $\gamma_8 = f(\alpha_1 = 0,23; \alpha_2; \alpha_3) \rightarrow \min$ и её сечения

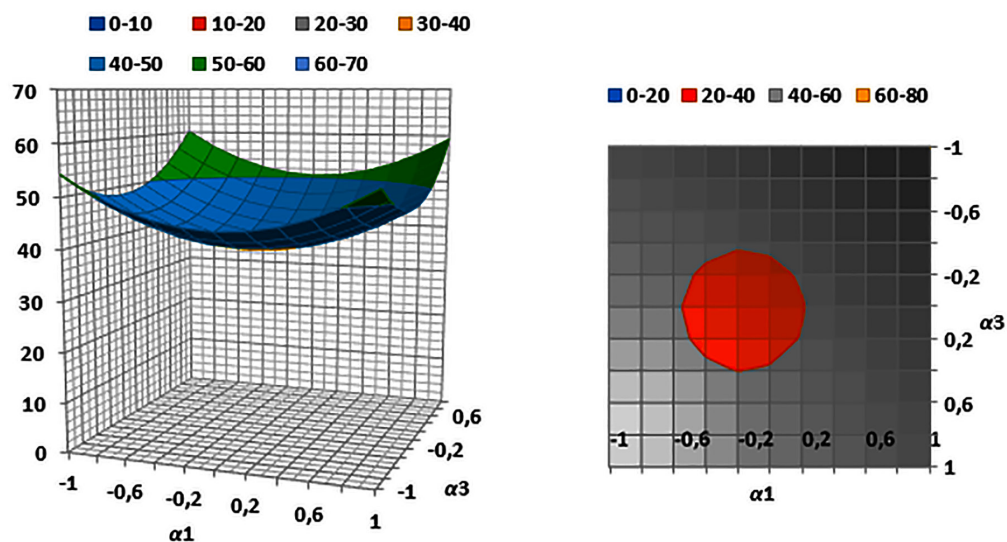


Рисунок 2 – Поверхность отклика $\gamma_8 = f(\alpha_1; \alpha_2 = 0,14; \alpha_3) \rightarrow \min$ и её сечения

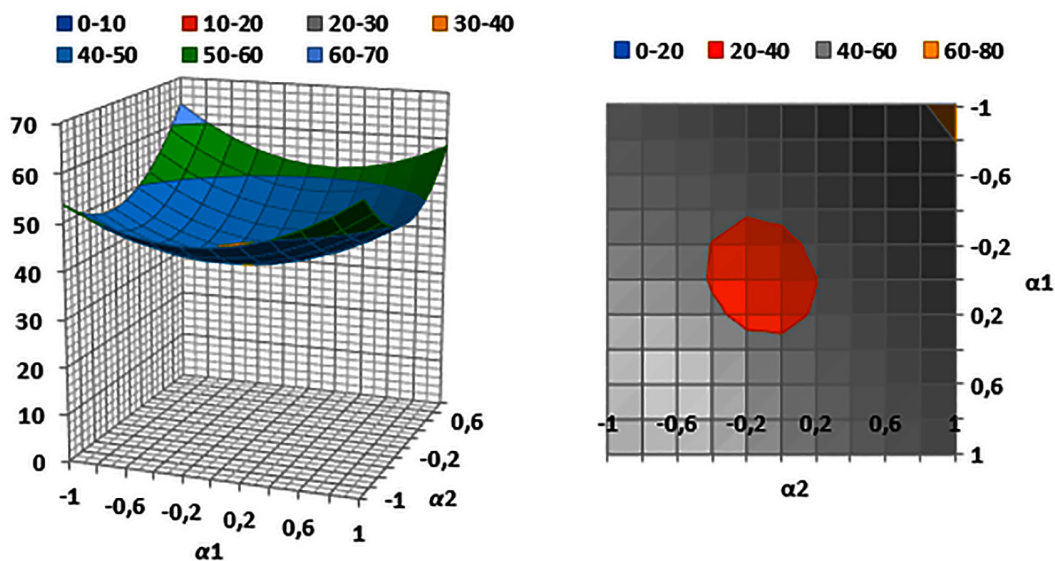


Рисунок 3 – Поверхность отклика $\gamma_8 = f(\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 0,16) \rightarrow \min$ и её сечения

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что *минимальная продолжительность сушки частиц нерастворимого композиционного остатка в агрегате типа «ЭСПИС-4-Универсал» составляет 40 минут*, и достигается при средневзвешенном диаметре частиц 0,5 мм; коэффициенте воздухообмена в камере – 9 м³/час; температуре сушки в камере – 105,0 °С.

При этом суммарная энергоёмкость находится на уровне 60,9 кВт·с/кг.

Полученные научно-обоснованные модели и параметры рабочего процесса приготовления кормовых продуктов позволяют использовать их при проектировании технологий и технических средств двойного назначения (кормового и пищевого), при соответствующих условиях к производству и требованиям к безопасности и энергетической ценности.

Список источников

1. Обоснование параметров процесса приготовления заменителя цельного молока с использованием соевого компонента / С. М. Доценко, С. А. Иванов, Л. Г. Крючкова, А. А. Борсук // Аграрная наука: современные проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. Махачкала : Дагестанский государственный аграрный университет, 2012. С. 1332–1348.
2. Новая технология производства заменителей цельного молока / И. И. Горячев, С. Н. Пилук, В. И. Передня [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. 2008. № 8. С. 45–47.
3. Лаврова Г. П. Эффективность использования соевого молока и окары при выращивании телят // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2 (10). С. 275–276.
4. Рекомендации по приготовлению и использованию заменителей цельного молока и комбикормов-стартеров для телят. Дубровцы : Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства, 1990. 40 с.
5. Доценко С. М., Самуйло В. В. Машины и оборудование для производства заменителей цельного молока на основе соевого белка : учебное пособие. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 200 с.
6. Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Результаты исследований по обоснованию конструктивно-технологических параметров отжимающе-прессующего узла при получении кормового продукта // АгроЭкоИнфо. 2022. № 2 (50).

7. Результаты исследований по обоснованию конструктивно-технологических параметров подающе-дозировочного устройства в технологии производства аналогов цельного молока / Д. А. Колесников, С. Н. Воякин, С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов // АгроЭкоИнфо. 2021. № 6 (48).

8. Колесников Д. А., Воякин С. Н. Получение заменителя цельного молока и концентратов на основе сырьевых композиций // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 1 (61). С. 127–133.

References

1. Dotsenko, S. M., Ivanov S. A., Kryuchkova L. G., Barsuk A. A. Obosnovanie parametrov processa prigotovleniya zamenitelya cel'nogo moloka s ispol'zovaniem soevogo komponenta [Substantiation of the parameters of the whole milk substitute preparation process using soy component]. Proceedings from Agricultural science: modern problems and prospects of development: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya – International Scientific and Practical Conference*. (PP. 1332–1348), Mahachkala, Dagestanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2012 (in Russ.).

2. Goryachev I. I., Pilyuk C. N., Perednya V. I., Tymoshchuk A. L., Tarasevich A.M., Khrutsky V. I. Novaya tekhnologiya proizvodstva zamenitelej cel'nogo moloka [New technology for the production of whole milk substitutes]. *Belorusskoe sel'skoe hozyajstvo. – Belarusian agriculture*, 2008; 8: 45–47 (in Russ.).

3. Lavrova G. P. Effektivnost' ispol'zovaniya soevogo moloka i okary pri vyrashchivanii telyat [The effectiveness of using soy milk and okara in raising calves]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2003; 2 (10): 275–276 (in Russ.).

4. *Rekomendacii po prigotovleniyu i ispol'zovaniyu zamenitelej cel'nogo moloka i kombikormov-starterov dlya telyat [Recommendations for the preparation and use of whole milk substitutes and mixed feeds for calves]*, Dubrovcy, Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zhivotnovodstva, 1990, 40 p. (in Russ.).

5. Dotsenko S. M., Samuilo V. V. *Mashiny i oborudovanie dlya proizvodstva zamenitelej cel'nogo moloka na osnove soevogo belka: uchebnoe posobie [Machinery and equipment for the production of whole milk substitutes based on soy protein: textbook]*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 1996, 200 p. (in Russ.).

6. Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovanij po obosnovaniyu konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov otzhimayushche-pressuyushchego uzla pri poluchenii kormovogo produkta [The results of research on the substantiation of the design and technological parameters of the pressing unit when receiving a feed product]. *AgroEkoInfo*, 2022; 2 (50) (in Russ.).

7. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovanij po obosnovaniyu konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov podayushche-doziruyushchego ustrojstva v tekhnologii proizvodstva analogov cel'nogo moloka [The results of research to substantiate the design and technological parameters of the feeding-dosing device in the production technology of whole milk analogues]. *AgroEkoInfo*, 2021; 6 (48) (in Russ.).

8. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N. Poluchenie zamenitelya cel'nogo moloka i koncentratov na osnove syr'evykh kompozicij [Production of whole milk substitute and concentrates based on raw compositions]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2022; 1 (61): 127–133 (in Russ.).

© Колесников Д. А., Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Епифанцев В. В., 2022

Статья поступила в редакцию 15.05.2022; одобрена после рецензирования 09.08.2022; принята к публикации 12.08.2022.

The article was submitted 15.05.2022; approved after reviewing 09.08.2022; accepted for publication 12.08.2022.

Информация об авторах

Колесников Дмитрий Александрович, соискатель, Дальневосточный государственный аграрный университет, kda1977savitinsk@mail.ru;

Воякин Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, vsnl77@yandex.ru;

Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, shitov.sv1955@mail.ru;

Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, ji.tor@mail.ru;

Епифанцев Виктор Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет

Information about authors

Dmitry A. Kolesnikov, Applicant, Far Eastern State Agrarian University, kda1977savitinsk@mail.ru;

Sergey N. Voyakin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, vsnl77@yandex.ru;

Sergey V. Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, shitov.sv1955@mail.ru;

Evgeniy E. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, ji.tor@mail.ru;

Victor V. Epifantsev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University