

Научная статья

УДК 631.363.2

EDN DAQLFL

DOI: 10.22450/19996837_2023_1_103

Исследования по оптимизации процесса извлечения питательных веществ из кормовых композиций

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

^{1, 2, 3, 4} 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. Одной из главных задач в области кормления молодняка крупного рогатого скота выступает обеспечение необходимым количеством питательных веществ, которые по своим качествам и питательности не уступали бы цельному молоку. В ранее проведенных исследованиях были получены результаты, которые доказали эффективность получения заменителя молока на основе цельных семян сои. Так как на территории Амурской области большие площади заняты под этой культурой, использование местного сырья удешевляет производство кормов. В связи с этим, вопрос выделения питательных веществ из жидкой фракции сырьевых композиций, в состав которых входит соя, с целью дальнейшего использования в полноценном кормлении телят, является актуальным и востребованным. Для решения поставленной задачи была предложена конструкция многофункционального устройства, позволяющего произвести частичное отделение питательных веществ из предварительно замоченных и подготовленных для дальнейшего приготовления кормовых смесей для молодняка крупного рогатого скота. В результате проведенных исследований было определено время экстракции питательных веществ из соевых композиций, необходимое для выделения питательных веществ из кормовых смесей, состоящих из одного, двух или трех компонентов, что позволило оптимизировать энергозатраты и снизить стоимость продукции.

Ключевые слова: соя, питательные вещества, кормовые смеси, жидкая фракция, крупный рогатый скот, питательные вещества, время экстракции, оптимизация, эффективность

Для цитирования: Колесников Д. А., Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Исследования по оптимизации процесса извлечения питательных веществ из кормовых композиций // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 1. С. 103–110. doi: 10.22450/19996837_2023_1_103.

Original article

Research on the optimization of the process of extracting nutrients from feed compositions

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

^{1, 2, 3, 4} 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. One of the main tasks in the field of feeding young cattle is to provide the necessary amount of nutrients, which in terms of quality and nutritional value would not be inferior to whole milk. In previous studies, results were obtained that proved the effectiveness of obtaining

milk substitute based on whole soybeans. Since large areas are occupied by this crop in the region, the use of local raw materials reduces the cost of fodder production. In this regard, the issue of extracting nutrients from the liquid fraction of raw compositions, which include soy, for the purpose of further use in the full-fledged feeding of calves, is relevant and in demand in the Amur region. To solve this problem, the design of a multifunctional device was proposed, which allowed for the partial separation of nutrients from pre-soaked and prepared for further preparation of feed mixtures for cattle. As a result of the research, the extraction time of nutrients from soy compositions was determined, which was necessary for the release of nutrients from feed mixtures consisting of one, two or three components, which made it possible to optimize energy costs and reduce the cost of production.

Keywords: soy, nutrients, feed mixtures, liquid fraction, cattle, nutrients, extraction time, optimization, efficiency

For citation: Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Issledovaniya po optimizacii processa izvlecheniya pitatel'nyh veshhestv iz kormovyh kompozicij [Research on the optimization of the process of extracting nutrients from feed compositions]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023; 17; 1: 103–110. (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2023_1_103.

Введение. Обеспечение полноценного кормления сельскохозяйственных животных является основной задачей товаропроизводителей, занимающимися вопросами их выращивания [1]. Это, в первую очередь, относится к вопросу кормления телят, так как именно они наиболее чувствительны к недостатку в рационе питательных веществ, которые находятся в цельном молоке [2].

Современным решением этой проблемы является использование в рационе полноценных кормовых заменителей [3, 4], приготовленных с использованием семян сои (так называемое «соевое молоко»). Использование заменителей на основе сои нашло широкое применение как за рубежом, так и в Российской Федерации. Для Амурской области, являющейся одним из лидеров по производству сои в России, приготовление заменителей цельного молока из местного сырья является наиболее оправданным, так как это напрямую влияет на себестоимость, а, следовательно, и на рентабельность производства [5, 6].

Вместе с тем, предлагаемые к использованию промышленные образцы оборудования [7] для получения данных заменителей не всегда конструктивно адаптированы к конкретным сырьевым композициям. В этой связи, в статье рассматривается новая конструкция многофункционального устройства, позволяющая трансформировать соевые композиции в жидкие фракции с питательными веществами для телят и отделить нерастворимый остаток для приго-

товления основного корма для молодняка крупного рогатого скота [8].

Таким образом, *целью работы является изучение способов оптимизации процесса извлечения питательных веществ из кормовых композиций при использовании многофункционального устройства, а также получение аналитических и эмпирических зависимостей, характеризующих кинетику производственного процесса.*

Условия и методы исследования. При проведении исследований по выделению питательных веществ из кормовых композиций с последующим их использованием для кормления телят за основу брались общепринятые аналитико-математические методы математического моделирования с использованием многофакторного эксперимента. Это позволило наиболее полно и достоверно определить и выделить существующие взаимосвязи процесса отделения питательных веществ в жидкой фракции из замоченных и подготовленных кормовых смесей, провести их объективную оценку и обосновать необходимое для этих целей время, обеспечивающее необходимое снижение энергозатрат.

Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с использованием методов статистической обработки и применением программ KPS и Statistika-7.

Как показали ранее проведенные исследования по кормлению телят с ис-

пользованием местного сырья, одним из компонентов кормовой композиции могут являться семена сои. При этом для получения корма необходимо применение многофункционального устройства с тремя взаимосвязанными технологическими узлами, для которых ранее были получены оптимальные параметры [8, 9].

Одним из наиболее важных узлов такого устройства является отжимающе-прессующий узел (ОПУ). Процесс функционирования этого элемента связан с продавливанием нерастворимого остатка через формующее сопло с регулируемым диаметром проходного сечения. Причем конфигурация прессующе-отжимающего винта рассматриваемого узла является конической, а корпус – перфорированным (рис. 1).

Рассмотрим основные технологические параметры предложенного устройства и определим его производительность.

Производительность устройства по нерастворимому остатку определяется по формуле (1):

$$Q_{НО} = \frac{V_c \cdot \rho_c}{t_э} \quad (1)$$

где V_c – объем продукта в зоне сопряжения, м³;

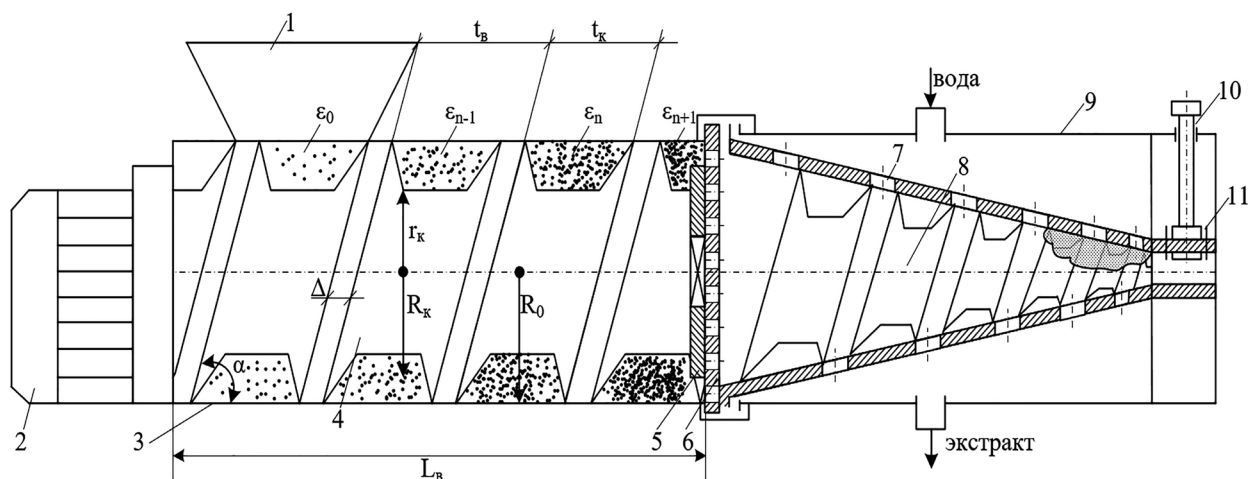
ρ_c – плотность продукта в зоне сопряжения, кг/м³;

$t_э$ – время экстракции питательных веществ из измельченных композиций, с.

В данном выражении неизвестным параметром является время усреднения влаги ($t_э$). Для его определения нами использован следующий методологический подход.

Процесс извлечения питательных веществ из измельченного продукта происходит благодаря тому, что корпус отжимающе-прессующего узла выполнен перфорированным с конической конфигурацией и размещен в цилиндрическом кожухе, внутрь которого поступает вода, а из него, через выходной патрубок выходит обогащенная питательными веществами жидкая фракция (рис. 1).

Согласно схеме технологического процесса работы агрегата, экстрагент, попадая во внутреннюю полость экстракционного устройства (полого цилиндра 9, рис. 1), условно говоря, «омывает» корпус отжимающего узла, содержащего перфорированный конический элемент, внутри которого перемещается измельченная масса сырьевых композиций. В результате взаимодействия воды с этой массой в нее переходят питательные вещества.



1 – загрузочный бункер; 2 – электродвигатель; 3 – корпус подающе-дозировочного узла; 4 – винт; 5 – нож; 6 – решетка; 7 – перфорированный корпус отжимающе-прессующего узла; 8 – конический винт; 9 – корпус отжимающе-прессующего узла; 10 – регулировочный винт; 11 – формующее сопло

Рисунок 1 – Многофункциональное устройство для поточного приготовления заменителя цельного молока и нерастворимого остатка

Зависимость перехода некоторой части питательных веществ из измельченной массы сырьевой композиции в воду, за промежуток времени t , характеризуется экспоненциальной кривой убывающего типа:

$$C = f(t)$$

где C – концентрация питательных веществ, г/100 г, так называемых «сухих веществ» (белков, жиров, углеводов и т. д.).

В случае извлечения питательных веществ из монокомпонентной сырьевой композиции на основе предварительно замоченного соевого зерна, за период $t + dt$, дифференциальное уравнение имеет вид выражения (2):

$$-d(z - y) = C_1(z_0 - y)dt \quad (2)$$

где z_0 – исходное количество питательных веществ в сырьевой композиции (концентрация сухих веществ);

y – количество питательных веществ, извлеченных из сырьевой композиции к моменту времени t ;

C_1 – постоянная, характеризующая скорость процесса извлечения питательных веществ.

Интенсивность извлечения питательных веществ из сырьевой композиции составит:

$$\frac{dy}{dt} = C_1(z - y) \quad (3)$$

При этом остаточное количество питательных веществ в любой момент времени равно:

$$(z_0 - y) = z_0 \cdot e^{-C_1 t} \quad (4)$$

Преобразование данного уравнения относительно времени извлечения питательных веществ из сырьевой композиции даст зависимость (5):

$$t_{\text{Э}_1} = \frac{2,3}{C_1} \cdot \ln \frac{z_0}{z_0 - y} \quad (5)$$

Для процесса извлечения питательных веществ из двухкомпонентной сырьевой композиции на основе соевого зерна дифференциальное уравнение имеет вид выражения (6):

$$-d(z - y)(m - y) = C_2(z_0 - y)(m_0 - y) \quad (6)$$

где z_0 , m_0 – исходное содержание питательных веществ в компонентах исходной сырьевой композиции.

Интенсивность извлечения питательных веществ из такой сырьевой композиции определяется выражением (7):

$$\frac{dy}{dt} = C_2(z_0 - y) \cdot (m_0 - y) \quad (7)$$

В случае, если $z_0 = m_0$, уравнение (7) принимает вид выражения (8):

$$\frac{dy}{dt} = C_2(z_0 - y)^2 \quad (8)$$

Разделение переменных, а также интегрирование данного уравнения в пределах от $t = 0$, до $t = t_p$, дает:

$$t_{\text{Э}_2} = \frac{1}{C_2} \cdot \frac{y}{z_0(z_0 - y)} \quad (9)$$

В случае, если $z_0 \neq m_0$, имеем выражение (10) или выражение (11):

$$t_{\text{Э}_2} = \frac{1}{C_2(z_0 - m_0)} \cdot \ln \left[\frac{m_0(z_0 - y)}{z_0(m_0 - y)} \right] \quad (10)$$

$$t_{\text{Э}_2} = \frac{2,3}{C_2(z_0 - m_0)} \cdot \ln \left[\frac{m_0(z_0 - y)}{z_0(m_0 - y)} \right] \quad (11)$$

Для процесса извлечения питательных веществ из трехкомпонентной сырьевой композиции на основе замоченного соевого зерна и двух других ингредиентов

исходной смеси, дифференциальное уравнение можно представить в виде выражения (12):

$$-d(z-y)(m-y)(s-y) = C_3(z_0-y)(m_0-y)(s_0-y) \quad (12)$$

где z_0, m_0, s_0 – исходное содержание питательных веществ в компонентах исходной сырьевой композиции.

Интенсивность процесса извлечения питательных веществ из сырьевой композиции, в этом случае, характеризуется зависимостью (13):

$$\frac{dy}{dt} = C_3(z_0-y) \cdot (m_0-y) \cdot (s_0-y) \quad (13)$$

При условии, что $z_0 = m_0 = s_0$, имеем уравнение (14):

$$\frac{dy}{dt} = C_3(z_0-y)^3 \quad (14)$$

Преобразование данной зависимости относительно параметра $t = t_3$ дает уравнение (15):

$$t_{3_3} = \frac{1}{C_3} \cdot \frac{y \cdot (2z_0 - y)}{2z_0^2 \cdot (z_0 - y)^2} \quad (15)$$

Тогда производительность отжимающе-прессующего узла (1) по нерастворимому остатку в соответствии с количеством элементов (для одно-, двух- и трехкомпонентной композиции) с учетом уравнений (5, 11, 15) определяется выражениями (16, 17, 18):

$$Q_{HO_1} = V_c \cdot \rho_c / t_{3_1} = \frac{C_1(V_c \cdot \rho_H \cdot e^{C_1 k})}{2,3 \cdot \ln(z_0 / (z_0 - C))} \quad (16)$$

$$Q_{HO_2} = V_c \cdot \rho_c / t_{3_2} = \frac{C_2(z_0 - m_0) \cdot V_c \cdot \rho_H \cdot e^{C_2 k}}{2,3 \cdot \ln \left[\frac{m_0(z_0 - C)}{z_0(m_0 - C)} \right]}, \quad (17)$$

$$Q_{HO_3} = V_c \cdot \rho_c / t_{3_3} = \frac{2C_3(V_c \cdot \rho_H \cdot e^{C_3 k}) \cdot z_0^2 \cdot (z_0 - C)^2}{C \cdot (2z_0 - C)} \quad (18)$$

Затраты энергии по принятым элементам составят:

$$N_{HO_1} = P \cdot Q_{HO_1}, \quad (19)$$

$$N_{HO_2} = P \cdot Q_{HO_2}, \quad (20)$$

$$N_{HO_3} = P \cdot Q_{HO_3} \quad (21)$$

Результаты исследований и их об- суждение. При проведении эксперимен- тальных исследований по определению энергоемкости рабочего процесса отжима- юще-прессующего узла (γ/N_{31}), кВт·с/кг были выбраны значимые факторы:

1) угловая скорость конического винта (α_1/ω_0), м/с;

2) коэффициент «живого сечения» перфорированного кожуха конического винта ($\alpha_2/K_{жс}$), ед.;

3) длина конического винта (α_3/l_k), м.

После проведенной математической и статистической обработки эксперимен- тальных данных были получены матема- тические модели, характеризующие ра- бочий процесс отжимающе-прессующего узла.

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений (рис. 2–4).

Выводы. По результатам экспери- ментальных исследований:

1) определены оптимальные значе- ния угловой скорости конического винта, составившей 17 с^{-1} ; коэффициента «жи- вого сечения» перфорированного кожуха конического винта (0,5 ед.); длины кони- ческого винта (0,11 м), при энергоемкости рабочего процесса отжимающе-прессую- щего устройства равной 24,0 кВт·с/кг.

2) установлена кинетика процесса извлечения питательных веществ из из- мельченной сырьевой композиции, состо- ящей из одного, двух или трех компонен- тов в зоне размещения устройства;

3) обосновано оптимальное время экстрагирования питательных веществ для одно-, двух- и трехкомпонентных сы- рьевых композиций (5, 11, 15);

4) получены зависимости пропуск- ной способности (16, 17, 18), а также за- трат энергии (мощности) на процесс рабо- ты отжимающе-прессующего устройства для одно-, двух- и трехкомпонентных сы- рьевых композиций (19, 20, 21);

5) определена энергоемкость рассмо- тренного процесса в размере 24,0 кВт·с/кг.

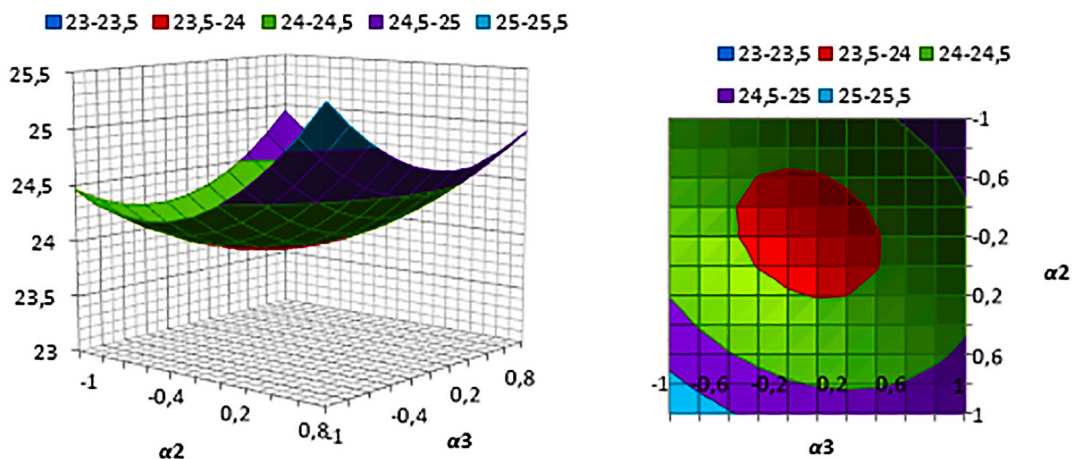


Рисунок 2 – Поверхность отклика $\gamma_7 = f(\alpha_1 = 0; \alpha_2; \alpha_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

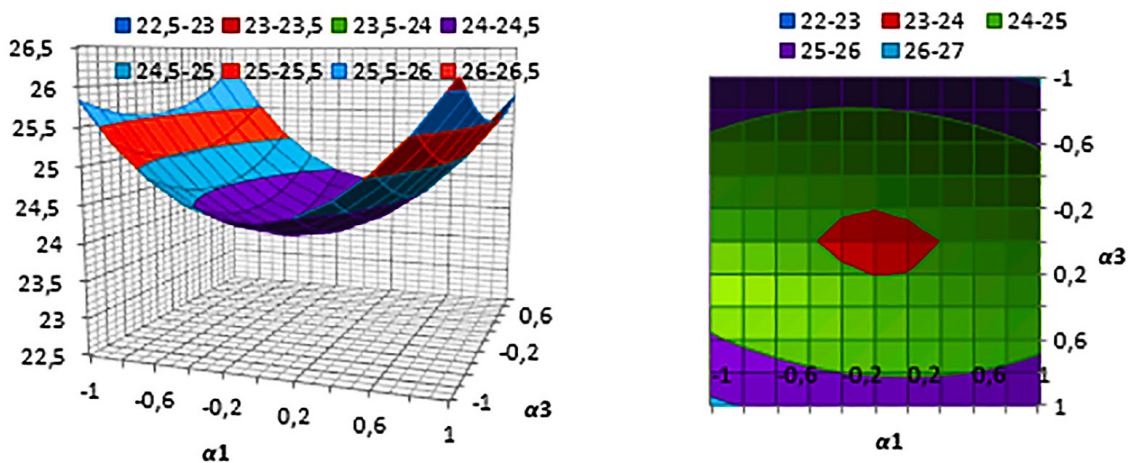


Рисунок 3 – Поверхность отклика $\gamma_7 = f(\alpha_1; \alpha_2 = 0,06; \alpha_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

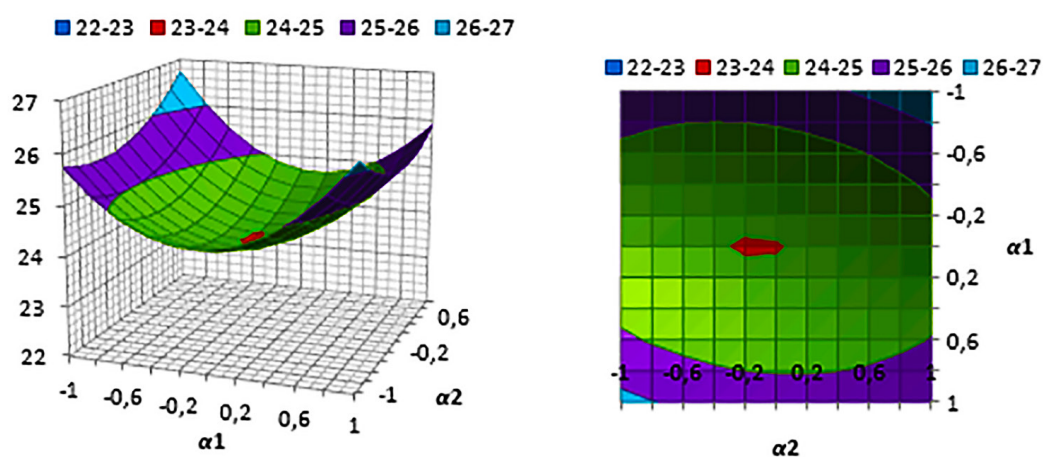


Рисунок 4 – Поверхность отклика $\gamma_7 = f(\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 0,39) \rightarrow \min$ и ее сечения

Список источников

1. Механизация возделывания продукции растениеводства в экстремальных условиях : методические указания / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, А. А. Манохина [и др.]. М. : Российский государственный аграрный университет, 2018. 59 с.
2. Результаты исследований по получению кормового продукта для молодняка сельскохозяйственных животных / Д. А. Колесников, С. Н. Воякин, С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 4 (60). С. 165–172.
3. Раднаев Д. Н. К методике проектирования технологических процессов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1 (22). С. 71–75.
4. 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.
5. Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Оптимизация энергетических затрат транспортно-производственного процесса // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 4 (56). С. 151–155.
6. Исследование процесса производства гуминовых органоминеральных удобрений в системе экономической безопасности страны / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова, С. М. Челбин, А. Н. Головкин // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Вып. 1 (61). С. 95–103.
7. Садов В. В., Сорокин С. А. Определение равномерности подачи компонентов при работе многокомпонентного вибрационного дозатора // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 12 (170). С. 99–107.
8. 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).
9. Результаты исследований по обоснованию конструктивно-технологических параметров отжимающе-прессующего узла при получении кормового продукта / Д. А. Колесников, С. Н. Воякин, С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов // АгроЭкоИнфо. 2022. № 2 (50).

References

1. Aldoshin N. V., Zolotov A. A., Manokhina A. A., Panov A. I., Lylin N. A. *Mekhanizatsiya vozdelevaniya produktsii rastenievodstva v ekstremal'nykh usloviyakh: metodicheskie ukazaniya* [Mechanization of cultivation of crop production in extreme conditions: guidelines], Moskva, Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018, 59 p. (in Russ.).
2. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovaniya po polucheniyu kormovogo produkta dlya molodnyaka sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Results of studies to determine the optimal parameters of the drying process of feed products]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2021; 4 (60): 165–172 (in Russ.).
3. Radnaev D. N. K metodike proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov [To the methodology of designing technological processes]. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skokozyajstvennoj akademii. – Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy*, 2011; 1 (22): 71–75. (in Russ.).
4. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N. Poluchenie zamenitelya tsel'nogo moloka i kontsentratov na osnove syr'evykh kompozitsii [Obtaining a substitute for whole milk and concentrates based on raw materials]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2022; 1 (61): 127–133 (in Russ.).
5. Krivutsa Z. F., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Optimizatsiya energeticheskikh zatrat transportno-proizvodstvennogo protsessa [Optimization of energy costs of the transport and production process]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2020; 4 (56): 151–155 (in Russ.).

6. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Chelbin S. M., Golovko A. N. Issledovanie protsessa proizvodstva guminovykh organomineral'nykh udobrenii v sisteme ekonomicheskoi bezopasnosti strany [Study of the production process of humic organomineral fertilizers in the system of economic security of the country]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2022; 1 (61): 95–103 (in Russ.).

7. Sadov V. V., Sorokin S. A. Opredelenie ravnomernosti podachi komponentov pri rabote mnogokomponentnogo vibratsionnogo dozatora [Determination of the uniformity of the supply of components during the operation of a multicomponent vibratory dispenser]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2018; 12 (170): 99–107. (in Russ.).

8. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovaniy po obosnovaniyu konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov podayushche-doziruyushchego ustroystva v tekhnologii proizvodstva analogov tsel'nogo moloka [Results of research on the substantiation of the design and technological parameters of the feeding and dosing device in the production technology of whole milk analogues]. *AgroEcoInfo*, 2021; 6 (48) (in Russ.).

9. Kolesnikov D. A., Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovaniy 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 squeezing-pressing unit when obtaining a fodder product]. *AgroEcoInfo*, 2022; 2 (50) (in Russ.).

© Колесников Д. А., Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., 2023

Статья поступила в редакцию 18.01.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2023; принята к публикации 03.03.2023.

The article was submitted 18.01.2023; approved after reviewing 22.02.2023; accepted for publication 03.03.2023.

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, vsn177@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

Information about authors

Dmitry A. Kolesnikov, Degree-Seeking Student, Far Eastern State Agrarian University, kda1977savitinsk@mail.ru;

Sergey N. Voyakin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, vsn177@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