ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 631.363
https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-5-79-86

Оценка качества приготовления рассыпного комбикорма малогабаритным комбикормовым агрегатом

С.Ф. Вольвак[1]✉, ***Д.Н. Бахарев***[2], ***А.Г. Пастухов***[3]

[1, 3] Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; п. Майский, Россия

[2] Луганский государственный университет им. В. Даля; г. Луганск, Россия

[1] volvak.s@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-6955-7144

[2] baharevdn_82@mail.ru; https://orcid.org/0009-0005-4263-740X

[3] pastukhov_ag@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-6573-0950

Аннотация. Получить с минимальными затратами рассыпной комбикорм для кур позволяет многофункциональное оборудование. В частности, малогабаритный комбикормовый агрегат с объемным многокомпонентным дозатором и молотковым измельчителем-смесителем с вертикальным валом обеспечивает прямоточную схему технологического процесса приготовления в малых хозяйствах рассыпного комбикорма из собственного сырья и покупных добавок. Исследования проведены с целью оценки качества приготовленного агрегатом рассыпного комбикорма для кур-несушек и усовершенствования метода определения однородности смешивания кормовых смесей. Качество приготовленного рассыпного комбикорма определяли по результатам ситового анализа, модулю помола зерна, крупности и степени однородности смешивания комбикорма. Усовершенствованная методика определения степени однородности многокомпонентной кормовой смеси заключалась в определении процента подкрашенных частиц контрольного компонента в готовом рассыпном комбикорме. Экспериментально подтверждено соответствие качества приготовленного рассыпного комбикорма для кур-несушек зоотехническим требованиям. Модуль помола зерна составил 2,32 мм. Остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм соответствовал 0,07%, а на сите с отверстиями диаметром 3 мм достигал 25,93%; осталось 0,23% целых зерен. Степень однородности смеси составила 98,3%. Значения этих показателей подтверждают получение рассыпного комбикорма требуемого качества и доказывают правильность принятых решений при обосновании оптимальных параметров малогабаритного комбикормового агрегата. Определение степени однородности многокомпонентной кормовой смеси по проценту подкрашенного контрольного компонента совместно с оптической системой технического зрения позволит в перспективе обрабатывать изображения без процедуры пробоотбора и автоматизированно контролировать качество рассыпного комбикорма.

Ключевые слова: малогабаритный комбикормовый агрегат; комбикорм; рассыпной комбикорм для кур-несушек; оценка качества; модуль помола; степень однородности; крупность комбикорма

Для цитирования: Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г. Оценка качества приготовления рассыпного комбикорма малогабаритным комбикормовым агрегатом // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 5. С. 79-86. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-5-79-86

ORIGINAL ARTICLE

Quality assessment of loose compound feed preparation using a small-sized compound feed unit

S.F. Volvak[1]✉, ***D.N. Bakharev***[2], ***A.G. Pastukhov***[3]

[1, 3] Belgorod State Agrarian University; Maisky, Russia

[2] Lugansk State University named after V. Dal; Lugansk, Russia

[1] volvak.s@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-6955-7144

[2] baharevdn_82@mail.ru; https://orcid.org/0009-0005-4263-740X

[3] pastukhov_ag@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-6573-0950

Abstract. Multifunctional processing equipment enables the cost-effective, on-farm production of loose compound feed for poultry. Specifically, small-sized compound feed unit integrated with a multi-component dispenser and a hammer grinder-mixer with a vertical shaft establishes a continuous streamlined workflow for processing loose feed

© Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., 2026

from home-grown raw materials and purchased additives on small-scale farms. The study aimed to evaluate the quality of loose compound feed for laying hens prepared by the small-sized compound feed unit and to refine the methodology for assessing feed mixing uniformity. Loose feed quality was evaluated based on particle size distribution, fineness modulus, and mixture homogeneity using sieve analysis. The refined method for determining the homogeneity of the multi-component mixture relies on quantifying the percentage of colored tracer particles within the finished loose compound feed. Experimental results confirmed that the prepared feed meets the established technological standards. The fineness modulus of the ground feed was 2.32. Sieve analysis revealed a residue of 0.07% on a 5 mm sieve, 25.93% on a 3 mm sieve, and a negligible 0.23% of unbroken (whole) grains. The feed mixture achieved a high homogeneity level of 98.3%. The findings confirm that the produced loose feed meets rigorous quality standards, validating the design and operational parameters optimized for the small-sized compound feed unit. Furthermore, integrating this tracer-based homogeneity assessment with an optical computer vision system offers a promising path toward image processing without previous sampling and automated quality monitoring of loose compound feeds.

Keywords: small-sized compound feed unit; compound feed; loose compound feed for laying hens; quality assessment; fineness modulus; mixture homogeneity; compound particle size

For citation: Volvak S.F., Bakharev D.N., Pastukhov A.G. Quality assessment of loose compound feed preparation using a small-sized compound feed unit. *Agricultural Engineering* (*Moscow*). 2026;28(5):79-86. (In Russ.). https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-5-79-86

Введение

Низкая рентабельность производства полнорационных комбикормов в условиях малых хозяйств обусловлена ограниченным ассортиментом компонентов комбикормов и слабо развитой системой малой механизации кормоприготовления. Как отмечают И.Н. Краснов и др.[1], «…технологический процесс производства комбикормов или кормовых смесей непосредственно в личных подсобных и фермерских хозяйствах не в полной мере отвечает рекомендациям по организации производства в специализированных кормоцехах. В этих условиях цель получения кормов высокого качества с минимальными затратами и максимальным использованием имеющихся в хозяйстве компонентов корма может быть достигнута за счет использования многофункционального оборудования».

Применение в фермерских хозяйствах комбикормового агрегата, состоящего из минимального количества оборудования, позволит снизить удельный расход электроэнергии, удельную энергоемкость и металлоемкость при требуемых показателях производительности и качества готового продукта. В частности, прямоточную схему построения непрерывного технологического процесса приготовления рассыпного комбикорма из собственного сырья и покупных добавок можно получить при использовании объемного многокомпонентного дозатора [1, 2] и молоткового измельчителя-смесителя с вертикальным валом [3]. В результате анализа конструкций предлагаемого оборудования и характера протекания процессов дозирования, измельчения и смешивания сыпучих компонентов рассыпного комбикорма[2] обоснована конструкция малогабаритного комбикормового агрегата[3,4]. В связи с этим необходимо рассмотреть технологический процесс приготовления рассыпного комбикорма с помощью разработанного малогабаритного комбикормового агрегата и оценить его качество в соответствии с зоотехническими требованиями.

Качество приготовления рассыпного комбикорма для кур-несушек оценивается по трем показателям в диапазонах, заданных зоотехническими требованиями[5] [4]: модуль помола зерновых компонентов – 1,8…2,6 мм (крупный помол) [5, 6]; степень однородности смеси – не менее 90% [7]; крупность комбикорма для взрослой птицы по ГОСТ Р 51851-2001[6].

[1] Краснов И.Н., Филин В.М., Глобин А.Н., Ладыгин Е.А. Производство комбикормов в условиях личных подсобных и фермерских хозяйств: Монография. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2026. 226 с. URL: https://profspo.ru/books/154217.

[2] Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Добрицкий А.А. Научные основы совершенствования технологических процессов и технических средств приготовления кормов для сельскохозяйственных животных и птицы: Монография. Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2022. 193 с. EDN: KJFAQR.

[3] Комбикормовый агрегат: Патент № 2805301 C1 Российская Федерация, МПК A23N17/00 / С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов, Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий; заявл. 18.05.2023; Опубл. 13.10.2023. EDN: RRFDDI.

[4] Малогабаритный комбикормовый агрегат: Патент № 2853007 C1 Российская Федерация, МПК A23N17/00 / С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов, А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев; заявл. 09.01.2025; Опубл. 17.12.2025. EDN: HWLPDG.

[5] Пахомов В.И., Рудой Д.В., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Ольшевская А.В. Технологии и оборудование для производства комбикормов и премиксов: Учебное пособие. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 228 с.

[6] ГОСТ Р 51851-2001. Комбикорма для сельскохозяйственной птицы. Номенклатура показателей. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200028983.

Для сухих комбикормов установлены три степени помола, характеризующие средневзвешенный диаметр частиц, мм (модуль): мелкий – 0,2…1 мм, средний – 1,0…1,8 мм, крупный – 1,8…2,6 мм»[7,8]. По ГОСТ Р 51851-2001 рекомендуемая крупность рассыпных комбикормов для взрослой птицы регламентируется остатком на сите с отверстиями диаметром 5 мм – не более 4,0%, остатком на сите с отверстиями диаметром 3 мм – не менее 2,0%, не более 4,5% целых зерен.

Смешивание компонентов проводится для выравнивания концентраций каждого элемента по всему объему камеры до образования однородной смеси[9]. Принято, что «…при однородности более 92% оценка смеси считается хорошей, при 90…92% – удовлетворительной, при 85…90% – недостаточно удовлетворительной, при ниже 85% – плохой. В условиях кормоцехов считается достаточным получать степень однородности кормовых смесей в пределах 90%»[10] [8].

Цель исследований: усовершенствовать метод определения однородности смешивания кормовых смесей, оценить качество приготовления рассыпного комбикорма для кур-несушек разрабатываемым малогабаритным комбикормовым агрегатом и его соответствие зоотехническим требованиям.

Материалы и методы

Рассыпной комбикорм для кур-несушек приготовлен из пяти исходных компонентов с процентным составом в соответствии с заданным рецептом. В качестве компонентов кормового сырья использовали зерно пшеницы (35%), зерно кукурузы (23,555%), соевые бобы (15%), жмых подсолнечный дробленый (15%), смесь обогатительных добавок (11,445%) (премикс П1-2, известняковая мука, монокальцийфосфат и др.). Рецепт рассчитан на программном комплексе «Корм оптима» для кур-несушек кросса «Хайсекс коричневый» [1-3].

Приготовление корма проводили на экспериментальной установке малогабаритного комбикормового агрегата при средней производительности 317,7 кг/ч (рис. 1) [3, 9]. Конструктивно-технологические параметры агрегата: сменное решето с диаметром отверстий 4 мм, 12 молотков на барабане, лопастная швырялка с двумя лопастями шириной по 50 мм, частота вращения вертикального вала – 1550 мин$^{-1}$ [9]. Уровень удельной энергоемкости процесса – 3,317 кВт·ч/т [9].

Для определения объемной массы исходных компонентов рассыпного комбикорма применяли влагомер «Wile-65», пурку литровую с падающим грузом ПХ-1МЦ, весы CAS MWP-3000. Массу навесок исходных компонентов рассыпного комбикорма определяли на весах MASTER MS-10. Для регистрации времени опытов использовали секундомер механический СОСпр-2б-2. Контроль частоты вращения горизонтального вала барабанного дозатора осуществляли тахометром часовым ТЧ 10-Р, а вертикального вала измельчителя-смесителя – тахометром цифровым Unit UT372. Для изменения частоты вращения вертикального вала измельчителя-смесителя использовали преобразователь частоты INNOVERT IVD302B43E. Для ситового анализа навесок и определения гранулометрического состава готовой смеси применили рассев лабораторный У1-ЕРЛ-1-1 и весы ВК-600.

Оценка качества приготовленного рассыпного комбикорма для кур-несушек малогабаритным комбикормовым агрегатом произведена по навескам (пробам) готового продукта. В соответствии с требованиями ГОСТ 13496.0-2016 из каждой порции полученного комбикорма отобраны пробы и проведен ситовой анализ для определения их гранулометрического состава (ГОСТ 13496.8-72[11]).

В соответствии с зависимостью, установленной В.И. Романовским, для заданной надежности результатов опытов $\alpha = 0,9$ и допустимой ошибки в пределах $\varepsilon = \pm\sigma$ принята пятикратная повторность опытов.

После пятикратного отбора проб[12] из разных участков приемного сменного контейнера (накопительной емкости) для готовой кормосмеси (рис. 2) их объединяли и перемешивали. Делением объединенной пробы получили навески массой 100 г для ситового анализа и определения степени однородности и крупности готового продукта.

Модуль помола готового рассыпного комбикорма определяли ситовым способом с учетом методики по ГОСТ 13496.8-72 и практики диссертационных

[7] Глебов Л.А., Демский А.Б., Веденьев В.Ф., Темиров М.М., Огурцов Ю.М. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия): Учебник. М.: ДеЛи принт, 2006. 815 с.

[8] Шкондин В.Н. Разработка способа измельчения кормового зерна и обоснование параметров двухступенчатого измельчителя: Дис. … канд. техн. наук. Зерноград, 2018. 173 с. URL: https://ачгаа.рф/files/sovettn/Shkondin/dissShkondin.pdf.

[9] Краснов И.Н., Филин В.М., Глобин А.Н., Ладыгин Е.А. Производство комбикормов в условиях личных подсобных и фермерских хозяйств: Монография. Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2014. 228 с.

[10] Коба В.Г., Брагинец Н.В., Мурусидзе В.Ф., Некрашевич Д.Н. Механизация и технология производства продукции животноводства: Учебник. М.: Колос, 1999. 528 с.

[11] ГОСТ 13496.8-72. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200024327.

[12] Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента): Монография. Кн. 1. Киев: КТН, 2011. 508 с.



Рис. 1. Экспериментальная установка малогабаритного комбикормового агрегата:
1 – пятисекционный дозатор с бункером; 2 – измельчитель-смеситель;
3 – циклон-разгрузитель; 4 – сменный контейнер

Fig. 1. Experimental installation of a small-sized compound feed unit:
1 – five-section dispenser with a hopper; 2 – grinder mixer; 3 – cyclone unloader; 4 – removable container



а) б)

Рис. 2. Размещение пробоотборников в сменном контейнере для готовой кормосмеси:
а – пустые пробоотборники;
б – наполненные пробоотборники

Fig. 2. Arrangement of samplers in the detachable container for the finished feed mixture:
a – empty samplers; *b* – filled samplers

исследований В.Н. Шкондина[13]. Использовали набор штампованных сит с круглыми пробивными отверстиями диаметром 1,0; 2,0; 3,0 мм и поддон для сбора массового остатка рассева. Для уточнения результатов ситового анализа усовершенствовали стандартную методику определения модуля помола путем добавления трех сит диаметром 0,2 мм для определения количества пылевидных частиц размером менее 0,2 мм и диаметром 4,0 и 5,0 мм в качестве контрольных для определения количества целых зерен.

[13] Шкондин В.Н. Разработка способа измельчения кормового зерна и обоснование параметров двухступенчатого измельчителя: Дис. … канд. техн. наук. Зерноград, 2017. 173 с.

Навески готового рассыпного комбикорма массой по 100 г просеивали в течение 5 мин на рассеве лабораторном У1-ЕРЛ-1-1. Остатки на ситах и поддоне взвешивали с точностью до 0,01 г на весах ВК-600. За окончательный результат принимали среднеарифметическое результатов двух параллельных определений, причем допускаемые расхождения между результатами параллельных определений не должны были превышать 0,1%.

Модуль крупности помола M, мм, определяли по формуле:

$$M = \frac{0,1 \cdot G_0 + 0,6 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 2,5 \cdot G_3}{100} + \frac{3,5 \cdot G_4 + 4,5 \cdot G_5 + 5,5 \cdot G_6}{100}, \quad (1)$$

где 0,1; 0,6; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5 – средние размеры частиц в каждой фракции, мм; G_0 – массовый остаток на поддоне рассева, г; $G_1 \ldots G_6$ – массовые остатки на ситах с соответствующими отверстиями, г; 100 – суммарная оцениваемая масса навески, г.

Средние размеры частиц в каждой фракции вычислены как полусумма размеров отверстий двух смежных сит, между которыми заключена данная фракция.

Эффективность процесса смешивания компонентов комбикорма оценивали по «…степени однородности смеси, представляющей собой отношение содержания контрольного компонента в анализируемой пробе к содержанию того же компонента в идеальной смеси (рецептурной), выраженное в процентах или

долях единицы»[14]. Чем ближе значения к 100% (или единице), тем лучше завершен процесс [8].

Оценку однородности многокомпонентной смеси, определяющую ее качество, выполняли по степени распределения контрольного компонента с учетом известных методик[15,16]. При этом выделяли один (контрольный) компонент K_K, имеющий меньшую долю в комбикорме, остальные компоненты смеси объединяли во второй (условный) компонент K_o[17,18]. В качестве контрольного компонента K_K выбран подкрашенный дробленый подсолнечный жмых, имевший в основном зеленую и частично темную серо-коричневую окраску (рис. 3). В качестве красителя подсолнечного жмыха использовали спиртовой раствор бриллиантовый зеленый.

Для анализа лабораторных проб изготовлены две квадратные прозрачные пластины из органического стекла размером 250 × 250 мм (рис. 4). Посередине верхней пластины на квадрат площадью S_n = 0,04 м^2 с размерами сторон 200 × 200 мм нанесена сетка с квадратными ячейками с размерами сторон 10 × 10 мм. Каждую лабораторную пробу тонким слоем укладывали на нижнюю пластину, затем нижнюю и верхнюю пластины сжимали зажимами (рис. 4) и фотографировали с присвоением номера каждой фотографии. На основании анализа полученных фотографий определяли общую площадь квадратов $S_к$ размерами 10 × 10 мм, содержащих контрольный компонент. Если частица контрольного компонента одновременно находилась в нескольких квадратах, то считали суммарную площадь этих квадратов.



Рис. 3. Дробленый подсолнечный жмых, подкрашенный спиртовым раствором бриллиантового зеленого

Fig. 3. Crushed sunflower cake dyed with an ethanolic solution of brilliant green

Учитывая вероятностный характер процесса смешивания, оценку однородности многокомпонентной смеси (Θ, %) выполняли по коэффициенту вариации ν, %[19]:

$$\Theta = 100 - \nu = 100 - \frac{\sigma}{B_{\text{ср}}} \cdot 100; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (B_i - B_{\text{ср}})^2}{n-1}}; \quad (3)$$

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} B_i}{n}; \quad (4)$$

$$B_i = \frac{S_{\text{к}}}{S_{\text{п}}}; \quad (5)$$

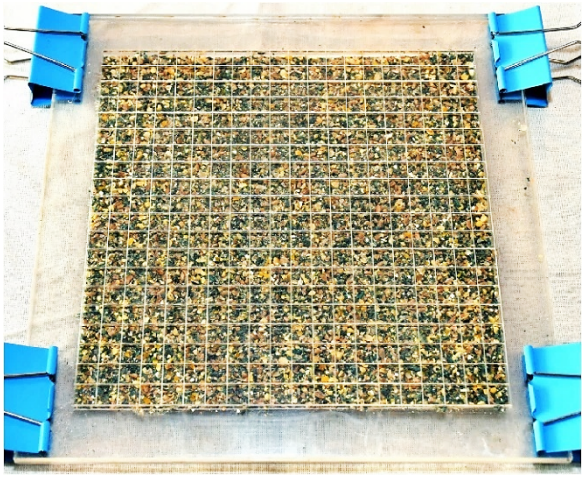


Рис. 4. Пластины для определения степени однородности смеси с контрольным компонентом

Fig. 4. Plates used to determine mixture homogeneity with a control tracer component

[14] Московский М.Н. Машины и оборудование для обеспечения животноводства. URL: https://de.donstu.ru/CDOCourses/structure/_new_/ 1058591/1501.pdf.

[15] Аль Атум Мохаммад. Повышение эффективности универсального измельчителя-смесителя кормов для мелкого рогатого скота: Дис. … канд. техн. наук. Кировоград, 2014. 168 с.

[16] Опара В.А., Корж О.В., Попсуй В.В. Упрощенный способ определения качества смешивания компонентов комбикормов в производственных условиях // Селекция на современных популяциях отечественного молочного скота как основа импортозамещения животноводческой продукции: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Белгород, 2018. С. 351-357. EDN: YUOYTB.

[17] Ведищев С.М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: Дис. … д-ра техн. наук. Тамбов, 2018. 381 с.

[18] Солонщиков П.Н., Мохнаткин В.Г. Разработка и исследование параметров работы установки для приготовления жидких кормовых смесей. Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2021. 183 с.

[19] Киров Ю.А., Новиков В.В. Современные средства механизации для приготовления корма. Кинель: РИЦ СГСХА, 2015. 25 с.

$$\Theta = 100 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(B_i - B_{\text{ср}}\right)^2 \Big/ n-1}}{B_{\text{ср}}} \cdot 100, \qquad (6)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение контрольного компонента; $B_{ср}$ – среднее арифметическое содержание контрольного компонента, найденное в опыте; B_i – доля контрольного компонента в *i*-й пробе; *n* – число проб; $S_к$ – площадь квадратов, содержащих контрольный компонент, с размерами сторон 10 × 10 мм; S_n – площадь квадрата с размерами сторон 200 × 200 мм, S_n = 0,04 м^2.

Результаты и их обсуждение

Результат ситового анализа двух навесок по 100 г готового рассыпного комбикорма представлен в таблице 1.

В результате расчета по стандартной методике модуль крупности помола составил 2,33 мм, а по уточненной методике по формуле (1) – 2,32 мм, то есть полученные значения практически совпадают, что не противоречит методике испытаний по ГОСТ и позволяет сделать вывод о достоверности полученных результатов ситового анализа готового рассыпного комбикорма.

Массовые остатки рассыпного комбикорма на поддоне и ситах с соответствующими диаметрами отверстий показаны на рисунке 5.

Результаты ситового анализа навесок позволяют сделать вывод о соответствии зоотехническим требованиям гранулометрического состава по модулю помола 2,32 мм и крупности полученного готового рассыпного комбикорма для кур-несушек.

Результаты экспериментально определенной степени однородности кормовой смеси Θ на основе усредненных значений $S_к$, B_i, $B_{ср}$ представлены в таблице 2.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что степень однородности кормовой смеси обеспечивается в соответствии с регламентированным показателем для птицы.

Таким образом, полученные в работе [9] значения показателей качества по модулю помола, однородности

Таблица 1

Результаты ситового анализа готового рассыпного комбикорма

Table 1

Sieve analysis results for the finished loose compound feed

Размеры отверстий сит, мм							Целые зерна $N_з$, %	Пылевидные частицы, $N_п$, %	Модуль помола, *M*, мм
0	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0			
Средний размер частиц, мм									
0,1	0,6	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5			
Остатки на ситах, г									
7,64	7,66	12,30	46,47	24,76	1,10	0,07	0,23	7,64	2,32

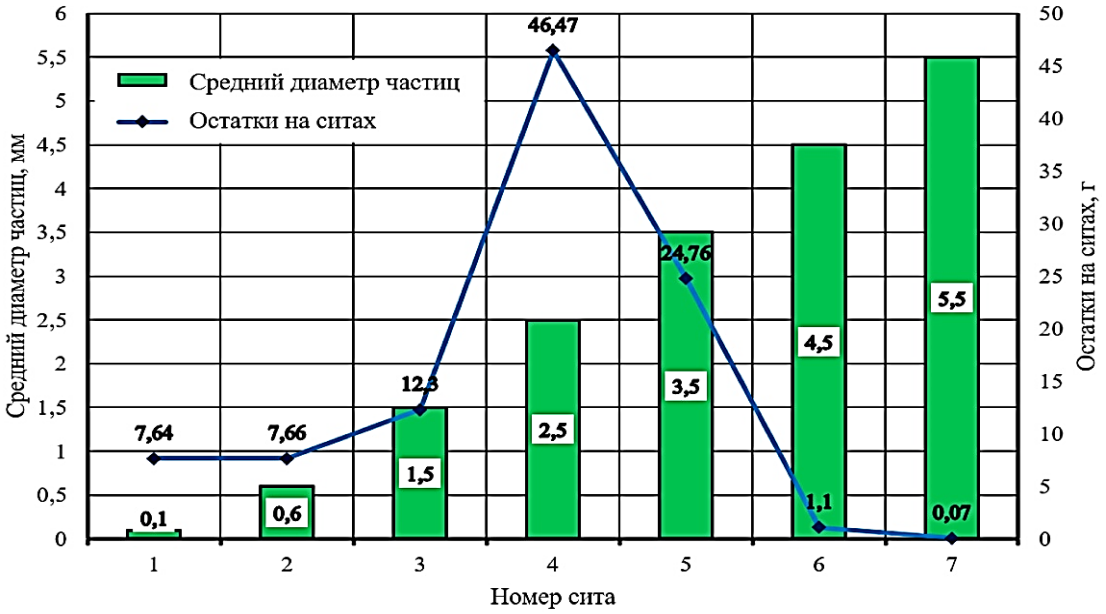


Рис. 5. Диаграмма зависимости массовых остатков рассыпного комбикорма от среднего диаметра частиц

Fig. 5. Sieve mass residue of loose compound feed as a function of the average particle diameter

и крупности готового продукта в виде критериев ограничения в многофакторном эксперименте при обосновании оптимальных параметров малогабаритного комбикормового агрегата приняты правильно.

В перспективе для автоматизации процедур контроля качества рассыпного комбикорма определение степени однородности многокомпонентной кормовой смеси с «разделением» компонентов по цвету целесообразно проводить с использованием методов оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных [10], анализа качества смеси по цвету [11] и цифровым изображениям смеси[20] [12, 13] с применением оптической системы технического зрения [14].

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования степени однородности кормовой смеси

Table 2

Results of experimental evaluation of feed mixture homogeneity and mixing uniformity

K_o, %	K_K, %	S_n, 10^{-4} м^2	$S_к$, 10^{-4} м^2	B_i	$B_{ср}$	Θ, %
85,0	15,0	400	375	0,9375	0,9190	98,32
			372	0,9300		
			360	0,9000		
			368	0,9200		
			363	0,9075		

Выводы

1. Приготовленный малогабаритным комбикормовым агрегатом рассыпной комбикорм для кур-несушек характеризуется следующим фракционным составом: остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм – 0,07%; остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм – 25,93%; наличие целых зерен – 0,23%. Модуль помола зерновых компонентов составил 2,32 мм, а степень однородности смеси – 98,3%.

2. Экспериментально подтверждено соответствие качества приготовленного рассыпного комбикорма для кур-несушек современным зоотехническим требованиям по показателям модулю помола, однородности и крупности готового продукта. Полученные значения показателей качества, выступающих в виде критериев ограничения в многофакторном эксперименте, доказывают правильность принятия решения при обосновании оптимальных параметров малогабаритного комбикормового агрегата.

3. Определение степени однородности многокомпонентной кормовой смеси по проценту подкрашенного контрольного компонента совместно с оптической системой технического зрения позволит в перспективе обрабатывать изображения без процедуры пробоотбора и автоматизированно контролировать качество рассыпного комбикорма.

[20] Способ определения неоднородности смеси сыпучих материалов на базе цветовой сегментации изображений в LAB-пространстве: Патент № 2839819 C1 Российская Федерация, МПК G01N15/0227 (2024.01) / С.Ю. Булатов, Г.С. Малышев, О.А. Тареева; заявл. 04.12.2024; Опубл. 12.05.2025; Бюл. № 14.

Список источников

1. Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Тимашов Е.П., Кощаев И.А. Определение рациональных параметров барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата по результатам экспериментальных исследований // Инженерные технологии и системы. 2026. Т. 36, № 2. С. 277-299. EDN: LQQMGI

2. Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Кощаев И.А. Обоснование конструкции барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2025. № 1 (45). С. 14-24. EDN: NBIGLJ

3. Вольвак С.Ф. Обоснование конструкции малогабаритного комбикормового агрегата // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2026. № 2 (50). С. 15-23. EDN: LYZEXM

4. Al-Maidi A.A.H., Himoud M.S., Kaliganov A.C. et al. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. 2021;16:1769-1774. EDN: NIZZWM

5. Сабиров Б.М., Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В. и др. Исследование устройства для дробления зерна // Вестник Казанского

References

1. Volvak S.F., Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Timashov E.P., Koshchaev I.A. Determination of the rational parameters of a drum dispenser for a small-sized com-pound feed unit by the results of experimental studies. *Engineering Technologies and Systems*. 2026;36(2):277-299. (In Russ.)

2. Volvak S.F., Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Koshchaev I.A. Substantiation of the design of the drum dispenser of a small-sized feed unit. *Innovations in agricultural complex*: *problems and perspectives*. 2025;1(45):14-24. (In Russ.)

3. Volvak S.F. Substantiation of the design of a small-sized compound feed unit. *Innovations in agricultural complex*: *problems and perspectives*. 2026;2(50):15-23. (In Russ.)

4. Al-Maidi A.A.H., Himoud M.S., Kaliganov A.C. et al. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2021;16:1769-1774.

5. Sabirov B.M., Ziganshin B.G., Dmitriev A.V. et al. Study of a device for crushing grain. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2023;18(1):75-79. (In Russ.)

государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 1. С. 75-79. EDN: JVHYQP

6. Khaliullin D., Badretdinov I., Naficov I., Lukmanov R. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies. Engineering for Rural Development. Virtual, Jelgava, 2021. Pp. 1501-1506. EDN: CAUCPH

7. Сторожук Т.А. Оптимизация процесса смешивания кормов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 148. С. 31-39. EDN: ZQZHYT

8. Коновалов В.В., Чупшев А.В., Фомина М.В. Моделирование изменения качества смеси лопастного смесителя на основе технологических параметров // Инновационная техника и технология. 2016. № 3. С. 57-66. EDN: WXTKXH

9. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Обоснование оптимальных конструктивно-технологических параметров малогабаритного комбикормового агрегата // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2026. Т. 20, № 3. С. 31-41. EDN: DJWVBN

10. Миронова И.В., Латыпова Э.Х., Никитин Е.А., Благов Д.А. Системы и методы оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных // Аграрная наука. 2024. № 5. С. 56-62. EDN: GTEIYS

11. Костромина А.О., Комарова Н.Э., Дурнев А.С. Экспериментальное определение качества порошковой смеси по цвету // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 90-91. EDN: QYYQJF

12. Демин О.В., Смолин Д.О., Першин В.Ф. Оценка качества смеси сыпучих материалов на основе анализа их цифровых изображений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 157. EDN: RXUOKP

13. Штейнберг Т.С., Морозова О.В., Семикина Л.И., Аматуни А.Л. Метод анализа цифрового изображения зерна для оценки его качества // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 10. С. 47-51. EDN: TFEMHR

14. Малышев Г.С., Тареева О.А. Разработка метода определения однородности рассыпного комбикорма // Вестник НГИЭИ. 2023. № 12. С. 36-47. EDN: MUJZMI

6. Khaliullin D., Badretdinov I., Naficov I., Lukmanov R. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies. *Engineering for Rural Development*. Virtual, Jelgava, 2021:1501-1506.

7. Storozhuk T.A. Optimization of the process of mixing feed. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;148:31-39. (In Russ.)

8. Konovalov V.V., Chupshev A.V., Fomina M.V. Modeling of changes in the quality mix paddle mixer on the basis technological parameters. *Innovative Machinery and Technology*. 2016;3:57-66. (In Russ.)

9. Volvak S.F., Bakharev D.N., Pastukhov A.G., Timashov E.P. Substantiation of optimal design and technological parameters of a small-sized compound feed unit. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026;20(3):31-41. (In Russ.)

10. Mironova I.V., Latypova E.Kh., Nikitin E.A., Blagov D.A. Systems and methods for assessing the homogeneity of feed mixtures for farm animals (Review). *Agrarian Science*. 2024;5:56-62. (In Russ.)

11. Kostromina A.O., Komarova N.E., Durnev A.S. Experimental determination of the quality of a powder mixture by color. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2013;8-1:90-91. (In Russ.)

12. Demin O.V., Smolin D.O., Pershin V.F. Qualification mixes bulk materials based on their digital images. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013;2:157. (In Russ.)

13. Steinberg T.S., Morozova O.V., Semikina L.I., Amatuni A.L. The method of digital image analysis of grain for assess its quality. *Storage and Processing of Farm Products*. 2014;10:47-51. (In Russ.)

14. Malyshev G.S., Tareeva O.A. Methods for determining the uniformity of the feed mixture. *Vestnik NGIEI*. 2023;12:36-47. (In Russ.)

Информация об авторах

[1] **Вольвак Сергей Федорович,** канд. техн. наук, профессор; volvak.s@yandex.ru✉; SPIN-код: 7701-7068; https://orcid.org/0000-0002-6955-7144

[2] **Бахарев Дмитрий Николаевич,** д-р техн. наук, доцент; baharevdn_82@mail.ru; SPIN-код: 1175-0650; https://orcid.org/0009-0005-4263-740X

[3] **Пастухов Александр Геннадиевич,** д-р техн. наук, профессор; pastukhov_ag@mail.ru; SPIN-код: 3891-3927; https://orcid.org/0000-0001-8249-8970

[1, 3] Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина; 308503, Россия, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 1

[2] Луганский государственный университет им. В. Даля; 291034, Луганская Народная Республика, г. Луганск, квартал Молодежный, дом 20А

Author Information

S.F. Volvak, CSc (Eng), Professor; volvak.s@yandex.ru✉; SPIN-code: 7701-7068; https://orcid.org/0000-0002-6955-7144

D.N. Bakharev, DSc (Eng), Associate Professor; baharevdn_82@mail.ru; SPIN-code: 1175-0650; https://orcid.org/0009-0005-4263-740X

A.G. Pastukhov, DSc (Eng), Professor; pastukhov_ag@mail.ru; SPIN-code: 3891-3927; https://orcid.org/0000-0001-8249-8970

[1, 3] Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin; 1, Vavilov Str., Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, 308503, Russian Federation

[2] Lugansk State University named after V. Dal; 20A, Molodezhny District, Lugansk, 291034, Russian Federation

Вклад авторов

С.Ф. Вольвак – планирование и проведение исследований, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и её редактирование;
Д.Н. Бахарев – концептуализация, руководство исследованиями;
А.Г. Пастухов – методология, верификация данных.

Author Contribution

Sergey F. Volvak – conceptualization; investigation; writing – original draft, review and editing of the manuscript;
Dmitry N. Bakharev – conceptualization, research supervision;
Aleksandr G. Pastukhov – methodology, data validation

Статья поступила 10.04.2026, после рецензирования и доработки 30.09.2026, принята к публикации 30.09.2026

Received 10.04.2026; Revised 30.09.2026; Accepted 30.09.2026