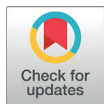


**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.26362.277-299>EDN: <https://elibrary.ru/lqqmgi>

УДК / UDK 62-112.6:636.085.55

*Оригинальная статья / Original article***Определение рациональных параметров
барабанного дозатора малогабаритного
комбикормового агрегата по результатам
экспериментальных исследований****С. Ф. Вольвак¹✉, А. Г. Пастухов¹, Д. Н. Бахарев²,
Е. П. Тимашов¹, И. А. Кощаев¹**¹ Белгородский государственный аграрный
университет имени В. Я. Горина,п. Майский, Российская Федерация, <https://ror.org/00nfb68x61>² Луганский государственный университет
имени Владимира Даля,

г. Луганск, Российская Федерация

✉ volvak.s@yandex.ru**Аннотация**

Введение. Разработка конструкции многокомпонентного барабанного дозатора малогабаритного агрегата для приготовления рассыпного комбикорма высокого качества из собственного зернофуража и промышленных добавок в условиях фермерских и личных хозяйств населения является весьма актуальной. Она направлена на решение проблемы обеспечения экономного расходования, соблюдения пропорций, точности дозирования и приготовления сбалансированного по питательности полнорационного рассыпного комбикорма.

Цель исследования. Разработка конструкции и экспериментальное определение рациональных конструктивно-технологических параметров многокомпонентного барабанного дозатора сыпучих компонентов рассыпного комбикорма для малогабаритного комбикормового агрегата.

Материалы и методы. Для определения рациональных конструктивно-технологических параметров применяли методы определения объемной массы и средневзвешенного диаметра частиц, оценки функциональных показателей, расчета и оценки погрешности производительности, однофакторного экспериментального исследования, обработки результатов измерений. Использовали влагомер «Wile-65», пурку ПХ-1МЦ, весы CAS MWP-3 000, весы MASTер MS-10, комплект измерительный K505, секундомер СОСпр-26-2, тахометр ТЧ 10-Р.

Результаты исследования. Определены рациональные конструктивно-технологические параметры пятикомпонентного барабанного дозатора при удельной энергоёмкости процесса дозирования в среднем 0,2 кВт·ч/т со средней производительностью:

© Вольвак С. Ф., Пастухов А. Г., Бахарев Д. Н., Тимашов Е. П., Кощаев И. А., 2026

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

для пшеницы – 111,3 кг/ч; сои – 47,4 кг/ч; добавок – 36,7 кг/ч; жмыха подсолнечного – 47,9 кг/ч; кукурузы – 74,4 кг/ч; в целом по рассыпному комбикорму – 317,7 кг/ч. **Обсуждение и заключение.** Оценка основных показателей работы барабанного дозатора показала соответствие требованиям к технологическому процессу дозирования компонентов рассыпного комбикорма. В перспективе возможна установка ячеистого барабана с конструктивными параметрами, зависящими от конкретного рецепта и количества сыпучих компонентов комбикорма для разных видов и возрастных групп животных и птицы. Это позволит повысить эффективность прямооточного непрерывного технологического процесса приготовления рассыпного комбикорма разрабатываемым малогабаритным комбикормовым агрегатом по сравнению с другими конструкциями.

Ключевые слова: малогабаритный комбикормовый агрегат, многокомпонентный барабанный дозатор, рассыпной комбикорм, конструктивно-технологические параметры, производительность дозатора, удельная энергоёмкость

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Тимашов Е.П., Кошаев И.А. Определение рациональных параметров барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата по результатам экспериментальных исследований. *Инженерные технологии и системы*. 2026;36(2):277–299. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.26362.277-299>

Determination of the Rational Parameters of a Drum Dispenser for a Small-Sized Compound Feed Unit by the Results of Experimental Studies

S. F. Volvak¹✉, A. G. Pastukhov¹, D. N. Bakharev²,
E. P. Timashov¹, I. A. Koschaev¹

¹ Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Maysky, Russian Federation, <https://ror.org/00nf68x61>

² Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russian Federation

✉ volvak.s@yandex.ru

Abstract

Introduction. At present, developing the design of a multicomponent drum dispenser of a small-sized unit for preparing high-quality loose compound feed from home-produced grain fodder and industrial additives on farms and private farm households is very relevant and aimed at solving the problem of ensuring economical consumption, compliance with proportions, accuracy of dosing, and preparation of nutritionally balanced full-ration loose compound feed.

Aim of the Study. The study is aimed at the development of a design and experimental determination of rational design and operational parameters for a multi-component drum dispenser of loose compound feed components in a small-sized compound feed unit.

Materials and Methods. There have been used the methods of determining the weight by volume and weighted average particle diameter, evaluating functional indicators, calculating and estimating the productivity errors, conducting a single-factor experimental study, and processing the measurement results to determine the rational design and operational parameters of the drum dispenser of a small-sized compound unit. There has

been used a moisture meter Wile-65, a grain tester ПХ-1МЦ, a scale CAS MWP-3000, a scale MASTER MS-10, a set K505, a stopwatch СОСнр-26-2, and a tachometer ТЧ 10-Р. **Results.** There have been determined the rational design and operational parameters of a five-component drum dispenser with the dosing process energy intensity of 0.2 kWh/t, and an average productivity of 111.3 kg/h for wheat, 47.4 kg/h for soybeans, 36.7 kg/h for additives, 47.9 kg/h for sunflower cake, 74.4 kg/h for corn, and 317.7 kg/h in general for loose compound feed.

Discussion and Conclusion. The evaluation of the drum dispenser main performance indicators has showed compliance with the requirements for the operational process of dosing loose compound feed components. In the future, it will be possible to install a mesh drum with design parameters that depend on the specific recipe and the amount of loose feed components for different types and age groups of animals and poultry that will increase the efficiency of the direct-flow continuous operational process of producing loose compound feed with the use of the small-sized feed unit under developing compared to other designs.

Keywords: small-sized compound feed unit, multicomponent drum dispenser, loose compound feed, design and operational parameters, dispenser productivity, specific energy intensity

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Volvak S.F., Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Timashov E.P., Koshchayev I.A. Determination of the Rational Parameters of a Drum Dispenser for a Small-Sized Compound Feed Unit by the Results of Experimental Studies. *Engineering Technologies and Systems*. 2026;36(2):277–299. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.26362.277-299>

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения продуктами животноводства в достаточном количестве и качестве является актуальной проблемой современного аграрного производства [1]. Одной из основных задач в сфере развития аграрной отрасли считается создание новых технологических процессов для изготовления комбикормов и добавок, формулирование исходных требований и подготовка технических заданий на отечественное оборудование нового образца¹. Производство усовершенствованной техники на агропромышленных предприятиях позволит снизить ее стоимость, а также обеспечить граждан рабочими местами [2].

В системе машин для механизации и автоматизации выполнения процессов при производстве продукции животноводства и птицеводства на период до 2030 года предусмотрены технологические комплексы из более «150 наименований и типоразмеров, в том числе: ... 23 – для приготовления комбикормов» [3]. Н. М. Морозов утверждает, что такие комплексы могут быть использованы как на крупных животноводческих предприятиях, так и на личных подсобных хозяйствах [2].

В крестьянско-фермерских хозяйствах возможно приготовление различных видов комбикормов из собственного зернофуража и промышленных добавок для разных видов и возрастных групп животных и птицы [4; 5]. При этом заготовление кормов необходимо осуществлять при помощи передового опыта и современных

¹ Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы. Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 № 996. URL: <https://docs.cntd.ru/document/436761964> (дата обращения: 25.08.2025).

технологий. Это имеет значение в условиях конкурентоспособности и экономической эффективности сектора животноводства [6].

Одним из основных процессов в приготовлении сыпучих кормовых смесей является процесс дозирования, от которого зависит смешивание² [7]. Объемные дозаторы, работающие в непрерывном режиме, гарантируют подачу корма равномерным потоком по установленному технологическому циклу при соблюдении условия непрерывной выдачи корма на протяжении заданного временного интервала [8]. В то же время объединение операций по перемещению, дозированию и смешиванию способствует уменьшению энергопотребления [4]. По типу рабочих органов одним из наиболее часто встречающихся исполнений при дозировании сыпучих кормовых смесей являются барабанные дозаторы [8].

В соответствии с представленными тенденциями развития технических средств дозирования рассыпных комбикормов разработка конструкции и определение конструктивно-технологических параметров барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата для фермерских и личных хозяйств населения является актуальной.

Целью данного этапа исследований является разработка конструкции и экспериментальное определение рациональных конструктивно-технологических параметров и производительности многокомпонентного барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата для приготовления сыпучих компонентов рассыпного комбикорма.

Для этого необходимо: разработать конструкцию многокомпонентного барабанного дозатора; составить методику экспериментальных исследований; провести эксперименты и проанализировать полученные результаты.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Актуальность научных исследований по созданию новой техники для фермерских и личных хозяйств населения подтверждается современными разработками различных конструкций малогабаритной техники для животноводства и птицеводства [9–11]. В современных условиях развития животноводческой отрасли особую значимость приобретает экономное расходование зерна, используемого на кормовые нужды. Наиболее эффективно фуражное зерно применяется в составе комбикормов, которые сбалансированы по содержанию протеина, аминокислот и других биологически активных веществ³.

По мнению В. И. Сыроватки, Н. В. Ждановой и А. Д. Обухова, комбикорма выступают главным элементом в структуре себестоимости продукции как в животноводстве, так и в птицеводстве. В рационе птицеводства их доля достигает 100 %, в свиноводстве – 95 %, а у крупного рогатого скота – от 30 до 40 %. Именно поэтому технические средства и технологические процессы для производства комбикормов

² Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учеб. пособие. М.: Форум; 2007. 176 с.; Васильев С.Н., Эленшлегер А.А., Золотарев С.В., Булгаков А.М. Производство и использование комбикормов в коллективных и фермерских хозяйствах: учеб. пособие для вузов. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет; 2003. 150 с.

³ Федоренко И.Я. Механизация производства комбикормов и амидоконцентратных добавок: учеб. пособие. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет; 2008. 32 с. URL: <https://www.sinref.ru/razdel/04650raznoc/15/403119.htm> (дата обращения: 30.08.2025).

непосредственно в хозяйствах должны отличаться универсальностью, простотой и удобством в эксплуатации [12].

Ученые из Нижегородского государственного инженерно-экономического университета установили, что «независимо от вида комбикорма в процессе его приготовления необходимо соблюдение пропорций входящих в него компонентов. Для дозирования применяют дозаторы» [13]. Согласно исследованию А. В. Чупшева, «от процесса правильной дозировки зависит бесперебойная работоспособность оборудования, точность дозирования, снижаются потери пылевидных частиц кормов при транспортировке» [7].

А. Н. Глобин указал, что в нынешних условиях для эффективного улучшения процесса дозирования следует воспринимать дозатор не в качестве отдельного элемента оборудования, а как целостную систему, надежная и качественная работа которой напрямую зависит от устойчивого функционирования каждого ее компонента. При разработке подобных систем появляется возможность учесть все факторы, воздействующие на их работу, благодаря чему процесс дозирования в меньшей степени подвергается внешним влияниям, что в итоге должно обеспечить более стабильную работу дозаторов⁴.

В то же время У. К. Сабиев, Р. Н. Амрин и А. Н. Кушнерик отмечают, что «исследования по разработке компактного, надежного в работе, простого в обслуживании многокомпонентного дозатора сыпучих кормов являются актуальными» [14].

При этом В. Н. Николаев считает, что «прямоточный способ, реализованный в малогабаритных комбикормовых агрегатах, является наиболее эффективным и характеризуется малой энерго- и металлоемкостью, простотой в обслуживании и адаптирован к условиям производства комбикормов непосредственно в хозяйствах» [4].

На основании обзора литературы отмечается широкое применение комбикормов в птицеводстве, потребность в соблюдении их правильной дозировки, системность рассмотрения конструкции дозатора в составе единой компоновки комбикормового агрегата и принцип прямоточности построения технологического процесса.

Таким образом, в соответствии с требованием прямоточности процесса приготовления рассыпного комбикорма, разработку конструкции дозатора следует рассматривать в комплексе с учетом последовательности единой компоновки бункера, дозатора и измельчителя-смесителя малогабаритного комбикормового агрегата. В связи с этим проведен патентный анализ существующих конструкций малогабаритных комбикормовых агрегатов (RU 2050151, RU 2155526, RU 2222239 и др.) и выявлен ряд существенных недостатков. К ним относятся: отсутствие дозирующего устройства, неспособность осуществлять точное дозирование, необходимость применения отдельной приводной станции дозатора, что не обеспечивает условия прямоточности и непрерывности процессов дозирования, измельчения и смешивания компонентов рассыпного комбикорма в единой конструкции.

⁴ Глобин А.Н. Дозирующие устройства: моногр. Саратов: Вузовское образование; 2017. 344 с.
Technologies, machinery and equipment

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Проведенный анализ основных способов дозирования, характера протекания процесса и конструкций дозаторов кормов⁵ показал, что в качестве объекта для дальнейших исследований целесообразно выбрать многокомпонентный барабанный дозатор сухих сыпучих кормов в единой конструкции малогабаритного комбикормового агрегата [15–17].

Методы, оборудование и процедура исследования

На основании ранее проведенных исследований⁶ в конструкции малогабаритного комбикормового агрегата реализовали принцип прямоточности построения непрерывного технологического процесса при использовании многосекционного бункера с перегородками многокомпонентного объемного дозатора барабанного типа и вертикального измельчителя-смесителя, снабженного молотковым барабаном, сменным решетом и лопастной швырлякой.

Разрабатываемая конструкция малогабаритного комбикормового агрегата (рис. 1) содержит пятисекционный бункер с перегородками 3, пятикомпонентный барабанный дозатор 2, измельчитель-смеситель 8, циклон-разгрузитель 10 и передвижной контейнер 9.

Для реализации разных рецептов комбикорма при разнице объемной массы сыпучих компонентов пятикомпонентный барабанный дозатор 2 выполнен в виде составного ячеистого барабана 4. Барабан разделен на независимые друг от друга пять отдельных секций и укомплектован пятью сменными звездочками 5 и дисками 6 между ними, которые вращаются на общем горизонтальном валу 7 с приводом от мотор-редуктора 1. Сменные звездочки 5 имеют четыре различные по объему ячейки, размещенные в разных плоскостях и смещенные одна относительно другой. Такая конструкция позволяет снизить энергоемкость и повысить эффективность процесса дозирования рассыпного комбикорма по заданному рецепту [15].

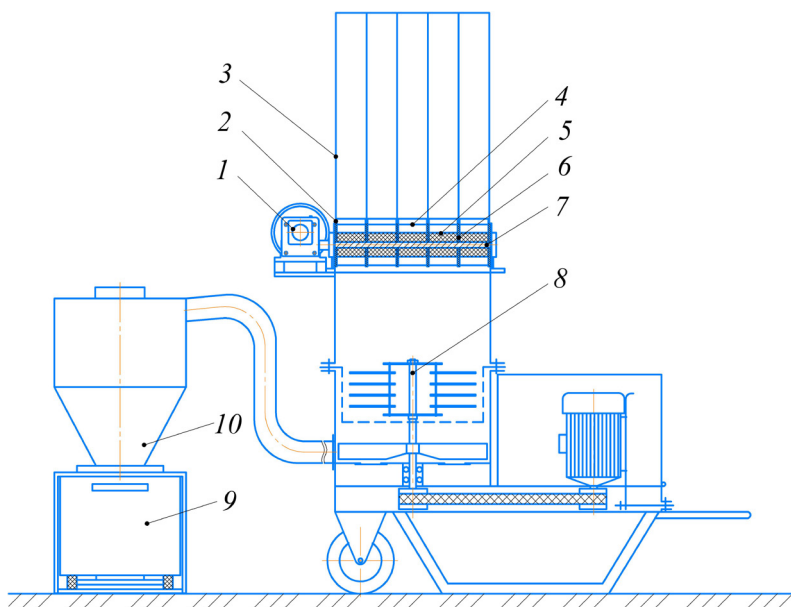
В измельчителе-смесителе 8 к раме с опорными колесами, салазками и ручкой прикреплен составной цилиндрический корпус с приемной, измельчающей и выгрузной камерами [16; 17]. Закреплено сменное решето с пропуском через вертикальный вал. Молотковый барабан с шарнирными молотками и лопастная швырляка надеты на вертикальный вал, работающий от электропривода посредством клиноременной передачи [16; 17].

Для определения рациональных конструктивно-технологических параметров барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата использовали методы определения объемной массы, средневзвешенного диаметра частиц, оценки

⁵ 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: моногр. Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ; 2022. 193 с.

⁶ Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Комбикормовый агрегат для фермерских хозяйств. В: Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы: сб. материалов III междунар. науч.-практ. конф. Луганск: ФГБОУ ВО Луганский ГАУ; 2023. С. 252–254; Вольвак С.Ф. Организация комбикормового производства с упрощенной технологической схемой. В: Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы нац. науч.-практ. конф. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ; 2024. С. 73–74; Вольвак С.Ф. Выбор дозирующей системы комбикормового агрегата. В: Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы нац. науч.-практ. конф. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ; 2024. С. 75–76.

функциональных показателей, расчета и оценки погрешности производительности, однофакторного экспериментального исследования, обработки результатов измерений.



Р и с. 1. Схема малогабаритного комбикормового агрегата:

1 – мотор-редуктор; 2 – пятикомпонентный барабанный дозатор; 3 – пятисекционный бункер с перегородками; 4 – ячеистый барабан; 5 – сменная звездочка; 6 – диск; 7 – вал; 8 – измельчитель-смеситель; 9 – передвижной контейнер; 10 – циклон-разгрузитель

F i g. 1. Scheme of a small-sized compound feed unit:

1 – gear motor; 2 – five-component drum dispenser; 3 – five-section bunker with partitions; 4 – mesh drum; 5 – replaceable sprocket; 6 – disc; 7 – shaft; 8 – grinder-mixer; 9 – mobile container; 10 – cyclone unloader

Источник: рисунок 1 взят из статьи [15].

Source: the picture 1 is taken from the article [15].

На основании расчета в программном комплексе «Корм оптима» получили рецепт полнорационного рассыпного комбикорма для кур-несушек кросса «Хайсекс коричневый» из пяти сыпучих компонентов: зерна пшеницы, кукурузы и сои, жмыха подсолнечного дробленого, смеси обогатительных добавок (премикса П1-2, известняковой муки, монокальцийфосфата и др.) [15].

Используя методику однофакторного эксперимента с последующей статистической обработкой массива данных [15], для исходных компонентов рассыпного комбикорма определили кондиционную влажность с помощью влагомера «Wile-65» и объемную массу с помощью пурки ПХ-1МЦ по ГОСТ 28254-2014⁷. При этом использовали электронные лабораторные весы CAS MWP-3 000 [15].

⁷ ГОСТ 28254-2014 Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112147> (дата обращения: 14.09.2025).

Средние арифметические значения объемной массы компонентов комбикормовой смеси определили экспериментально с трехкратной повторностью при обеспечении доверительной вероятности 0,95 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Значения объемной массы компонентов рассыпного комбикорма

Volume mass values of loose compound feed components

Наименование / Name	Влажность, % / Humidity, %	Объемная масса, кг/м ³ / Volume mass, kg/m ³
Пшеница (зерно) / Wheat (grain)	8,2	781,5
Соя (зерно) / Soybean (grain)	8,3	740,3
Добавки обогатительные / Enrichment additives	7,9	1 155,7
Жмых подсолнечный / Sunflower cake	6,2	607,4
Кукуруза (зерно) / Corn (grain)	8,1	671,7

Источник: таблицы 1–7 составлены авторами статьи.

Source: the tables 1–7 were compiled by the authors of the article.

Расчетное значение подачи каждого компонента комбикорма было согласовано с рецептом для кур-несушек кросса «Хайсекс коричневый», а общая подача всех составляющих кормовой смеси исследуемым барабанным дозатором согласована с производительностью (пропускной способностью) измельчителя-смесителя.

По рецепту и опытным значениям объемной массы для каждого компонента рассыпного комбикорма рассчитали рациональные значения параметров звездочек ячеистого барабана с учетом принятых значений частоты его вращения $n = 32 \text{ мин}^{-1}$, длины рабочей части $l = 50 \text{ мм}$, числа $z = 4$ шт. и коэффициента заполнения ячеек звездочек $\phi = 0,85$ (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Значения параметров звездочек ячеистого барабана

Values of the parameters of the mesh drum sprockets

Компоненты рассыпного комбикорма / Components of loose compound feed		Подача q / Supply q			Параметры ячейки звездочки / Sprocket cell parameters	
		Расчетная / Calculated		С учетом, $\phi = 0,85$ / Taking into account $\phi = 0,85$	Объем V , / Volume V	Площадь поперечного сечения S / Cross-sectional area S
Состав / Composition	%	кг/ч / kg/h	мм ³ /с / mm ³ /s	мм ³ /с / mm ³ /s	мм ³ / mm ³	мм ² / mm ²
Пшеница / Wheat	35	87,502	31101,2	35766,3	16775,95	335,51910
Соя / Soybean	15	37,501	14070,9	16181,5	7589,82	151,79650
Добавки / Additives	11,445	28,613	6877,1	7908,7	3709,53	74,19059
Жмых / Cake	15	37,501	17149,6	19722,0	9250,49	185,00970
Кукуруза / Corn	23,555	58,889	24352,6	28005,5	13135,78	262,71560

Из полученных значений площади поперечного сечения ячеек звездочек: $S_1 = 335,5191 \text{ мм}^2$, $S_2 = 151,7965 \text{ мм}^2$, $S_3 = 74,19059 \text{ мм}^2$, $S_4 = 185,0097 \text{ мм}^2$, $S_5 = 262,7156 \text{ мм}^2$ определили глубину и ширину ячеек. В соответствии с полученными результатами изготовили опытный образец пятисекционного ячеистого барабана с пятью сменными звездочками, выполненными на 3D-принтере из PETG-пластика.

В связи с тем, что размеры частиц исходного материала оказывали большое влияние на процесс дозирования, конструктивно-технологические параметры рабочих органов и производительность барабанного дозатора, возникла необходимость в определении средневзвешенного диаметра частиц исходного материала в соответствии с зоотехническими требованиями. Такие требования предъявляются к качеству получаемой кормосмеси в результате дозирования, измельчения и смешивания ее компонентов.

Средневзвешенный диаметр частиц исходных компонентов определяли ситовым способом с учетом требований ГОСТ 13496.8-72⁸. Для этого в течение 5 минут просеивали навески исходных компонентов массой по 100 г на лабораторном рассеве У1-ЕРЛ-1-1 с набором штампованных сит, составленными в порядке уменьшения диаметров круглых пробивных отверстий от 5,0 до 0,2 мм. 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. Допускаемые расхождения между результатами параллельных определений не превышали 0,1 %.

Средневзвешенный диаметр частиц d , мм, вычисляли по формуле⁹:

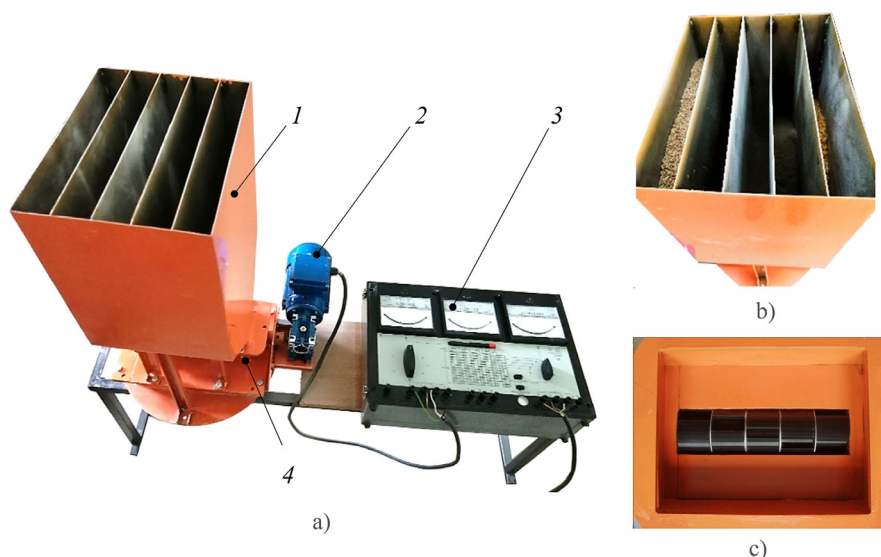
$$d = \sum_{i=1}^n \frac{d_i p_i}{100} = \frac{d_1 p_1 + d_2 p_2 + \dots + d_n p_n}{100},$$

где d_i – средний размер отверстий двух смежных сит, мм; p_i – весовой выход (масса) частиц класса, % ($\sum p_i = 100$ %).

Для проведения лабораторных однофакторных экспериментов разработали и изготовили экспериментальную установку (рис. 2), в состав которой вошли: пятисекционный бункер 1; пятикомпонентный барабанный дозатор 4 с электроприводом от компактного червячного мотор-редуктора 2 серии NMRV030-30-30-0, 12кВт-63В14. Для измерения мощности в трехфазной цепи переменного тока использовали встроенный ваттметр комплекта измерительного 3 серии K505, для взвешивания массы навесок компонентов рассыпного комбикорма – весы MAMster MS-10, для регистрации времени опытов – секундомер механический СОСпр-26-2, частоту вращения ячеистого барабана измеряли при помощи тахометра часового ТЧ 10-Р.

⁸ ГОСТ 13496.8-72 Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024327> (дата обращения: 14.09.2025).

⁹ Механизация измельчения зерновых кормов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/3364151/page/9/> (дата обращения: 14.09.2025); Чистяков И.Д. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции мукомольно-крупяного, масличного и комбикормового производства: сайт [Электронный ресурс]. URL: https://de.donstu.ru/CDOCourses/Design/Mashini&ApparatiPishivi hProizvodstv/Чистяков_часть2/All.files/1_1.htm (дата обращения: 14.09.2025).



Р и с. 2. Экспериментальная установка пятикомпонентного барабанного дозатора:

- а) общий вид экспериментальной установки:
1 – пятисекционный бункер с перегородками; 2 – мотор-редуктор;
3 – комплект измерительный К505; 4 – пятикомпонентный барабанный дозатор;
б) пятисекционный бункер с дозируемыми компонентами комбикорма;
в) пятисекционный ячеистый барабан (вид снизу)

F i g. 2. Experimental installation of a five-component drum dispenser:

- а) general view of the experimental installation:
1 – five-section bunker with partitions; 2 – gear motor; 3 – measuring kit K505;
4 – five-component drum dispenser;
б) five-section bunker with dosed compound feed components;
в) five-section cellular drum (bottom view)

Источник: фотографии для рисунка 2 сделаны С. Ф. Вольваком при проведении лабораторных экспериментов в 2025 г.

Source: the photographs were taken by S. F. Volvak during laboratory experiments in 2025.

Оценку качества работы исследуемого барабанного дозатора кормов проводили на каждом из компонентов рассыпного комбикорма при номинальном режиме согласно СТО АИСТ 19.2-2008¹⁰. Дозатор включали в работу на 0,4 ч с целью обеспечения выполнения устойчивого технологического процесса и надежности соединений.

Расчетное значение производительности (подачи) каждого компонента кормовой смеси в отдельных пяти секциях ячеистого барабана q_d , кг/ч определяли по формуле [15]:

$$q_d = 60Slzn\gamma\varphi,$$

где S – площадь поперечного сечения одной ячейки звездочки в секции ячеистого барабана, м²; l – длина рабочей части ячеек звездочки в секции ячеистого барабана, $l = 50 \cdot 10^{-3}$ м; z – число ячеек звездочки в секции ячеистого барабана,

¹⁰ СТО АИСТ 19.2-2008. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Методы оценки функциональных показателей. М.: ФГНУ «РосНИИТиМ»; 2008.

$z = 4$ шт.; n – частота вращения ячеистого барабана, $n = 32 \text{ мин}^{-1}$; γ – объемная масса продукта (материала), кг/м^3 ; φ – коэффициент заполнения ячеек звездочек, $\varphi = 0,85$ [15].

Опыты проводили в пятикратной повторности на навесках, отобранных в соответствии с заданным рецептом (5 кг для пшеницы, 3 кг для сои, 2 кг для добавок, 3 кг для жмыха подсолнечного и 4 кг для кукурузы). После чего, для определения точности (погрешности) дозирования компонентов комбикорма, находили разницу между фактической и расчетной производительностью барабанного дозатора кормов. Полученные значения обрабатывали методами математической статистики.

В кормоприготовлении допускается относительная погрешность объемных дозаторов 10–12 %. На погрешность влияет нестабильность таких свойств кормовых материалов, как объемная масса, коэффициенты трения, угол естественного откоса, угол обрушения. Эти свойства, в свою очередь, зависят от влажности корма, его гранулометрического состава и др.¹¹.

При использовании объемных дозаторов погрешность внесения компонентов, составляющих в рецепте более 30 %, допускается до $\pm 1,5$ %; 10–30 % – до $\pm 1,0$ %; 3–10 % – до $\pm 0,5$ %; менее 3 % – до $\pm 0,1$ % суммарного количества всех компонентов¹². При этом соответствие исследуемого барабанного дозатора непрерывного действия заданным условиям работы оценивали исходными (зотехническими) требованиями к точности дозирования, которые рассматривали как технологический допуск на процесс дозирования в зависимости от доли компонента рассыпного комбикорма (для пшеницы $\Delta \leq \pm 1,5$ %; для остальных компонентов $\Delta \leq \pm 1,0$ %)¹³.

Определили значение и оценили погрешность производительности дозатора с учетом ОСТ 70.19.2-83¹⁴, СТО АИСТ 19.2-2008, ГОСТ Р 8.736-2011¹⁵ и других источников¹⁶ [18; 19] по формулам:

$$q = 3\,600 \frac{m}{t},$$

где q – производительность дозатора, кг/ч ; m – масса навески за опыт, кг ; t – время опыта, с ;

¹¹ Коба В.Г., Брагинец Н.В., Мурусидзе Д.Н., Некрашевич В.Ф. Механизация и технология производства продукции животноводства. М.: Колос; 1999. 528 с.

¹² Технология обработки пищевых отходов, кормов животного происхождения и приготовления кормовых смесей [Электронный ресурс]. URL: <https://gcagro.ru/klientam/poleznye-statii/tehnologiya-obrabotki-pishhevyh-othodov-kormov-zhivotnogo-proishozhdeniya-i-prigotovleniya-kormovykh-smesey.html> (дата обращения: 20.09.2025).

¹³ Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Росагропромиздат; 1988. 286 с.

¹⁴ ОСТ 70.19.2-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудования для приготовления кормов. М.: Издательство стандартов; 1984.

¹⁵ ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 16.09.2025).

¹⁶ Глобин А.Н. Дозирующие устройства; Коба В.Г., Брагинец Н.В., Мурусидзе Д.Н., Некрашевич В.Ф. Механизация и технология производства продукции животноводства; Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов; Алешкин В.Р., Рошин П.М. Механизация животноводства. М.: Агропромиздат; 1985. 336 с.; Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов. М.: Агропромиздат; 1990. 336 с.; Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов.

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n},$$

где $\bar{q}$ – средняя производительность дозатора кг/ч; q_i – производительность дозатора в i -ой повторности, кг/ч; n – количество повторностей, $n = 5$;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}},$$

где σ – среднеквадратическое отклонение (погрешность) производительности дозатора за фиксированное время, кг/ч;

$$\Delta = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{\bar{q}} \cdot 100 \%,$$

где Δ – точность дозирования как технологический допуск производительности дозатора, %; $q_{\max}$, $q_{\min}$ – производительность дозатора, соответственно, максимальная и минимальная, кг/ч;

$$v = \frac{\sigma}{\bar{q}} \cdot 100 \%,$$

где v – относительная погрешность производительности дозатора как коэффициент вариации, %.

С помощью коэффициента вариации подачи оценивали неравномерность дозирования и относительную меру разброса подачи дозатора относительно среднего значения. Лучший дозатор тот, у которого коэффициент вариации v меньше. Для дозирования дерти, комбикормов и их компонентов необходимо, чтобы $v \leq 5 \%$ ¹⁷.

Значение удельной энергоёмкости процесса дозирования E_d , кВт·ч/т, выполняемого исследуемым барабанным дозатором, определяли по экспериментально полученным значениям производительности q , кг/ч, и потребляемой на процесс дозирования мощности N_d , Вт, без учета мощности, необходимой на холостой ход, по формуле:

$$E_d = \frac{N_d}{q}.$$

Таким образом, в качестве основных показателей работы барабанного дозатора рассыпного комбикорма непрерывного действия, характеризующих его пригодность к выполнению технологического процесса, приняли: производительность q каждого компонента (с возможностью ее регулирования в пределах установленной пропорции); точность дозирования Δ (технологический допуск); неравномерность дозирования (среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент v вариации производительности); удельная энергоёмкость процесса дозирования E_d .

¹⁷ Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов.

Допустимые отклонения по массе каждого дозируемого компонента комбикорма определяли умножением расчетной массы в единицу времени на установленные нормированные коэффициенты (в зависимости от процентного содержания компонентов в рецепте). Для исследуемого барабанного дозатора кормов при содержании каждого компонента в рецепте рассыпного комбикорма более 10 % значение нормированного коэффициента составило 0,1 (10 %) для каждого компонента¹⁸.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные результаты ситового анализа навесок компонентов рассыпного комбикорма представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Table 3

Результаты ситового анализа навесок компонентов рассыпного комбикорма
Results of sieve analysis of attachment of loose compound feed components

Компоненты рассыпного комбикорма / Components of loose com- pound feed	Повтор- ность / Repetition	Размеры отверстий сит, мм / The size of the sieve holes, mm							Средневзвешен- ный диаметр частиц, мм / Weighted average particle diameter, mm
		0	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	
		Средний размер частиц, мм / Average particle size, mm							
		0,1	0,6	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	
Остатки на ситах, г / Residues on sieves, g									
Пшеница / Wheat	1	0	0	0,12	3,93	83,93	12,02	0	3,6
	2	0	0	0,12	3,93	83,89	12,06	0	
Соя / Soybean	1				—				6,6
	2								
Добавки / Additives	1	61,01	29,51	7,90	1,48	0,10	0	0	0,4
	2	60,95	29,55	7,92	1,48	0,10	0	0	
Жмых / Cake	1	7,21	32,57	17,68	12,99	10,81	9,77	8,97	2,1
	2	7,22	32,64	17,75	12,93	10,77	9,74	8,95	
Кукуруза / Corn	1				—				7,1
	2								

Источник: средневзвешенный диаметр частиц сои и кукурузы взят из¹⁹.

Source: weighted average of the diameter of soybean and corn particles is taken from the¹⁹.

Результаты экспериментального определения производительности барабанного дозатора по каждому компоненту рассыпного комбикорма представлены в таблице 4. Расчет массы навески в целом производили на опытных данных по суммарной производительности, приведенных к минимальному времени опытов.

¹⁸ Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов.

¹⁹ Бородин И.А. Совершенствование процесса посева семян сои высевальным аппаратом плунжерного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск: Дальневост. гос. аграр. ун-т; 2012. 19 с.; Насыпная плотность пшеницы [Электронный ресурс]. URL: <https://strrtorg.ru/nasiypnaya-plotnost-pshenitsiy.html#image27> (дата обращения: 14.09.2025).

Т а б л и ц а 4

Table 4

Результаты определения производительности барабанного дозатора кормов
Results of determining the productivity of the drum feed dispenser

Наименование показателя / Naming of the indicator	Повторность / Repetition					Сумма / The amount	Среднее арифметическое значение / The arithmetic mean
	1	2	3	4	5		
Пшеница / Wheat							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	5	5	5	5	5	25	5
Время опыта, с / Experiment time, s	162	161	162	163	161	809	161,8
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	111,111	111,801	111,111	110,429	111,801	556,253	111,251
Соя / Soybean							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	3	3	3	3	3	15	3
Время опыта, с / Experiment time, s	228	227	229	228	227	1139	227,8
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	47,368	47,577	47,162	47,368	47,577	237,052	47,410
Добавки обогатительные / Enriching additives							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	2	2	2	2	2	10	2
Время опыта, с / Experiment time, s	196	196	197	196	196	981	196,2
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	36,735	36,735	36,548	36,735	36,735	183,488	36,698
Жмых подсолнечный / Sunflower cake							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	3	3	3	3	3	15	3
Время опыта, с / Experiment time, s	225	225	225	226	226	1127	225,4
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	48,000	48,000	48,000	47,788	47,788	239,576	47,915
Кукуруза / Corn							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	4	4	4	4	4	20	4
Время опыта, с / Experiment time, s	194	193	193	194	194	968	193,6
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	74,227	74,611	74,611	74,227	74,227	371,903	74,381
Рассыпной комбикорм / Loose compound feed							
Масса навески, кг / Weight of the attachment, kg	14,285	14,255	14,284	14,333	14,228	71,385	14,277
Время опыта, с / Experiment time, s	162	161	162	163	161	809	161,8
Производительность, кг/ч / Productivity, kg/h	317,441	318,724	317,432	316,547	318,128	1588,272	317,655

Расчет оценки погрешности производительности показал, что по среднеквадратическому отклонению, технологическому допуску и коэффициенту вариации исследуемый барабанный дозатор кормов соответствует требованиям к процессу дозирования сыпучих компонентов рассыпного комбикорма (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Table 5

Расчет оценки погрешности производительности барабанного дозатора кормов
Calculation of the error of a drum feed dispenser productivity

Компоненты / Components	Пшеница / Wheat	Соя / Soybean	Добавки / Additives	Жмых / Cake	Кукуруза / Corn	Всего / Total
Средняя производительность $\bar{q}$, кг/ч / Average productivity $\bar{q}$, kg/h	111,251	47,410	36,698	47,915	74,381	317,655
Среднеквадратическое отклонение σ , кг/ч / Standard deviation σ , kg/h	0,574	0,174	0,084	0,116	0,210	0,820
Технологический допуск Δ , % / Technological allowance Δ , %	1,233	0,875	0,510	0,442	0,516	0,685
Коэффициент вариации v , % / Coefficient of variation v , %	0,516	0,367	0,229	0,242	0,282	0,258

Расчет нормы отклонения дозируемых компонентов комбикормовой смеси показал, что допустимые отклонения от общей массы порции находятся в пределах установленных нормированных коэффициентов²⁰ (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Table 6

Расчет нормы отклонения дозируемых компонентов рассыпного комбикорма
Calculation of the deviation norm for the dosed components of loose compound feed

Компоненты / Components	Норма ввода компонентов по рецепту, % / The norm of input of components by recipe, %	Требуемая производительность дозатора, кг/ч / Required productivity dispenser, kg/h		Допустимые отклонения			
				в дозировании, кг/ч / in the dosage, kg/h		от общей массы порции, % / of the total mass of the portion, %	
		расчетная / calculated	фактическая / actual	расчетные / calculated	фактические / actual	расчетные / calculated	фактические / actual
Пшеница / Wheat	35	87,502	111,251	±8,7502	±11,1251	±3,50	±3,50
Соя / Soybean	15	37,501	47,410	±3,7501	±4,7410	±1,50	±1,49
Добавки / Additives	11,445	28,613	36,698	±2,8613	±3,6698	±1,14	±1,16
Жмых / Cake	15	37,501	47,915	±3,7501	±4,7915	±1,50	±1,51
Кукуруза / Corn	23,555	58,889	74,381	±5,8889	±7,4381	±2,36	±2,34
Всего / Total	100	250,006	317,655	±25,0006	±31,7655	±10	±10

²⁰ Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов.

Сопоставление полученных экспериментальных данных по отдельным компонентам и в целом по рассыпному комбикорму (табл. 7) показало, что увеличение значений фактической производительности q_a по отношению к значениям расчетной производительности q_d можно выразить в виде поправочного коэффициента производительности дозатора k . На его величину влияют конструктивные зазоры между ячеистым барабаном и корпусом барабанного дозатора, а также средневзвешенный диаметр исходных частиц компонентов рассыпного комбикорма, что необходимо учитывать в дальнейших исследованиях.

Таблица 7

Table 7

Сопоставление расчетной и фактической производительности и расчет коэффициента производительности барабанного дозатора кормов

Comparison of calculated and actual productivity and calculation of the productivity coefficient of the drum feed dispenser

Показатель / Indicator	Компоненты рассыпного комбикорма / Components of loose compound feed											
	Пшеница / Wheat		Соя / Soybean		Добавки / Additives		Жмых / Cake		Кукуруза / Corn		Всего / Total	
	кг/ч / kg/h	%	кг/ч / kg/h	%	кг/ч / kg/h	%	кг/ч / kg/h	%	кг/ч / kg/h	%	кг/ч / kg/h	%
q_d	87,502	35	37,501	15	28,613	11,445	37,501	15	58,889	23,555	250,006	100
q_a	111,251	35,023	47,410	14,925	36,698	11,553	47,915	15,084	74,381	23,415	317,655	100
$\pm$	+23,749	+0,023	+9,909	-0,075	+8,085	+0,108	+10,414	+0,084	+15,492	-0,140	+67,649	0
k	1,27141		1,26423		1,28256		1,27770		1,26307		1,27059	

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при дозировании сыпучих кормов следует исходить из соответствия рецепту рассыпного комбикорма и производительности барабанного дозатора. При этом целесообразно учитывать значения средневзвешенного диаметра частиц исходных компонентов для установления рациональных конструктивно-технологических параметров и достижения высокой точности изготовления конструкции барабанного дозатора.

Установлены средневзвешенные диаметры частиц исходных компонентов рассыпного комбикорма, которые оказывают большое влияние на процесс объемного непрерывного дозирования, конструктивно-технологические параметры рабочих органов и производительность многокомпонентного барабанного дозатора.

Изготовлена экспериментальная установка пятикомпонентного барабанного дозатора с электроприводом от червячного мотор-редуктора и пятисекционным бункером с перегородками. Конструкция опытного образца пятисекционного ячеистого барабана имеет выполненные на 3D-принтере из PETG-пластика пять сменных звездочек с четырьмя ячейками, различными по геометрической форме и объему, размещенными не в одной плоскости и смещенными одна относительно другой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Концепция повышения эффективности технологического процесса приготовления рассыпных комбикормов путем объединения систем дозирования, измельчения и смешивания сухих сыпучих кормов в единую конструкцию малогабаритного

комбикормового агрегата позволила обеспечить прямоточность построения и непрерывность процесса, а также получение более однородного состава готового продукта в установленной пропорции.

Энергетическая оценка по установленной мощности электродвигателя предварительно показала, что удельный расход энергии (кВт·ч на единицу производительности) экспериментальной конструкции, равный 0,38 кВт·ч/т, примерно сопоставим с существующими конструкциями барабанных дозаторов – 0,33 кВт·ч/т²¹. При этом мощность, потребляемая на процесс дозирования рассыпного комбикорма, в среднем составила 63,6 Вт.

Прослеживается взаимосвязь величин средневзвешенного диаметра частиц исходного материала (табл. 3) и коэффициента производительности дозатора (табл. 7): с увеличением средневзвешенного диаметра частиц величина коэффициента производительности дозатора снижается, зависимость близка к линейной.

Разница между полученным и заданным процентным содержанием (относительными долями) отдельных компонентов в рецепте находится в пределах допустимой погрешности (для пшеницы – $\pm 1,500\%$, для остальных компонентов – $\pm 1,000\%$).

Превышение полученных значений фактической производительности по всем компонентам рассыпного комбикорма по сравнению со значениями расчетной производительности (табл. 7) можно объяснить наличием неучтенных в расчетах конструктивных зазоров между ячеистым барабаном и корпусом дозатора. Поэтому в качестве расчетных целесообразно принять среднее значение фактической производительности, которая показывает, какое количество корма может подавать ячеистый барабан при условии заполнения его ячеек с учетом зазоров. При этом, принимая во внимание технологические аспекты, необходимо стремиться к уменьшению этих зазоров, что, однако, может привести к трению или заклиниванию между узлами из-за конструктивных особенностей.

Таким образом, предлагается уточненная формула для определения расчетного значения производительности каждого компонента в отдельных секциях ячеистого барабана многокомпонентного барабанного дозатора q_a , кг/ч, с учетом эмпирического коэффициента производительности k , определяемого экспериментально:

$$q_a = q_d k.$$

В связи с этим для дальнейших исследований в качестве расчетного значения производительности многокомпонентного барабанного дозатора целесообразно принять полученные экспериментально средние значения производительности по каждому компоненту: для пшеницы – 111,3 кг/ч; для сои – 47,4 кг/ч; для добавок – 36,7 кг/ч; для жмыха – 47,9 кг/ч; для кукурузы – 74,4 кг/ч и в целом по рассыпному комбикорму – 317,7 кг/ч. Удельная энергоемкость процесса дозирования в среднем составила 0,2 кВт·ч/т.

Полученные экспериментальные данные по средней производительности, среднеквадратическому отклонению, технологическому допуску, коэффициенту вариации, нормам допустимых отклонений, погрешности внесения компонентов

²¹ Садов В.В. Обоснование структуры и состава технологических линий для производства комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях: дисс ... д-ра техн. наук. Барнаул; 2018. 294 с.

по рецепту и удельной энергоемкости процесса дозирования свидетельствуют о высокой эффективности работы барабанного дозатора при соответствии предъявляемым требованиям к процессу дозирования сыпучих компонентов рассыпного комбикорма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения необходимой подачи исходных компонентов рассыпного комбикорма и согласованной работы барабанного дозатора с измельчителем-смесителем в соответствии с рецептом для кур-несушек кросса «Хайсекс коричневый» получены рациональные конструктивно-технологические параметры ячеистого барабана многокомпонентного барабанного дозатора: частота вращения $n = 32 \text{ мин}^{-1}$; длина рабочей части ячеек звездочек $l = 50 \text{ мм}$; число ячеек звездочек $z = 4 \text{ шт.}$; объем ячеек звездочек $V_1 = 16\,776 \text{ мм}^3$; $V_2 = 7\,590 \text{ мм}^3$; $V_3 = 3\,710 \text{ мм}^3$; $V_4 = 9\,250 \text{ мм}^3$; $V_5 = 13\,136 \text{ мм}^3$.

Разработанная конструкция многокомпонентного барабанного дозатора с определенными параметрами за счет более стабильного и равномерного дозирования сыпучих компонентов рассыпного комбикорма позволит добиться упрощения технологической схемы, получения однородного состава и уменьшения себестоимости готового продукта. При ее применении возможно снижение энергозатрат, повышение надежности и эффективности работы агрегата.

В перспективе, в зависимости от заданного рецепта и количества сыпучих компонентов рассыпного комбикорма для разных видов и возрастных групп животных и птицы, возможна установка ячеистого барабана многокомпонентного барабанного дозатора с другими конструктивными параметрами. Это позволит в целом повысить эффективность прямоточного непрерывного технологического процесса приготовления рассыпного комбикорма разрабатываемым малогабаритным комбикормовым агрегатом по сравнению с другими конструкциями. При этом разработанный многокомпонентный барабанный дозатор может быть использован не только при компоновке предлагаемого малогабаритного комбикормового агрегата, но и при разработке конструкций комбикормовых агрегатов различных типоразмеров и производительности.

Таким образом, создание более эффективного, надежного и гибкого многокомпонентного барабанного дозатора малогабаритного комбикормового агрегата отвечает современным требованиям сельского хозяйства и способствует оптимизации технологического процесса приготовления рассыпного комбикорма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Исследование процесса измельчения концентрированных кормов. *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2022;(4):14–24. URL: <https://belgau.ru/InfResource/magazine.php> (дата обращения: 25.08.2025).
2. Морозов Н.М. Направления развития системы машин для животноводства. *Техника и технологии в животноводстве*. 2019;(4):7–11. URL: https://livestockjournal.ru/4_36_2019 (дата обращения: 25.08.2025).

3. Морозов Н.М. Направления технического прогресса в механизации и автоматизации животноводства и эффективности их применения. *Техника и оборудование для села*. 2022;(12):2–5. URL: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-12-2-5>
4. Николаев В.Н. Анализ технологических схем приготовления рассыпных комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях. *Научный аспект*. 2024;3(6):299–305. URL: <https://na-journal.ru/arhiv/14104-zhurnal-nauchnyj-aspekt-6-2024-tom3> (дата обращения: 26.08.2025).
5. Сергеев Н.С., Николаев В.Н., Литаш А.В., Зязев Е.В., Гайнуллин Э.Н. Технологии и технические средства для приготовления сыпучих кормовых смесей на базе многокомпонентного вибрационного дозатора. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015;(1):68–72. URL: <https://orensau.ru/ru/nauka/izvestiya-orenburgskogo-gau> (дата обращения: 26.08.2025).
6. Astanakulov K., Borotov A., Tursunov Ja., Tursunov S., Ariffin A.S. Dependence of the Uniformity of Feed Mixing in the Feed Mixing Device of the Granulation Line on the Number of Paddle Shaft Revolutions and Mixing Time. *AEGISD-IV: BIO Web of Conferences*. 2024;105(1):02011. URL: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410502011>
7. Чупшев А.В. Обоснование перспективной операционной схемы приготовления комбикормов-концентратов в условиях животноводческих предприятий. *Нива Поволжья*. 2021;(3):135–141. URL: <https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.022>
8. Ведищев С.М., Глазков А.Ю., Прохоров А.В. Анализ дозаторов кормов. *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского*. 2014;(1):103–108. URL: <https://vernadsky.tstu.ru/ru/vjpusk/2014/vjpusk-01.php> (дата обращения: 26.08.2025).
9. Choriev R.K., Khudaynazarov D.Kh., Israilova D.A. Dependence of the Amount of Feed Distribution in the Small Sized Feed Distribution Device on the Number of Rotations of Blade Rotor. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: II International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions. Tashkent: IOP Publishing Ltd; 2022:012074. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012074>
10. Borotov A., Bekzhanov S., Nurjan D., Tursunov J., Tursunov Sh., Boykulov U. и др. Development of the Construction of the Feed Mixer Device of Granulation Line. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development. Tashkent: IOP Publishing Ltd; 2023:012013. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1284/1/012013>
11. Iskakov R.M., Mamirbaeva I.K., Gulyarenko A.A., Silaev M.Yu., Gusev A.S. Improved Hammers for Crushers in Feed Production. *Russian Engineering Research*. 2022;(42):987–992. URL: <https://doi.org/10.3103/S1068798X22100124>
12. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах. *Техника и технологии в животноводстве*. 2020;(1):24–31. URL: https://livestockjournal.ru/1_37_2020 (дата обращения: 30.08.2025).
13. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Сергеев А.Г. Система дозирования компонентов комбикорма. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2021;(2):62–70. URL: <https://doi.org/10.33920/sel-05-2102-06>
14. Сабиев У.К., Амрин Р.Н., Кушнерик А.Н. Краткий анализ многокомпонентных дозаторов сыпучих кормов. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016;(2):238–241. URL: https://www.omgau.ru/vestnik/arkhiv/vestnik-omskogo-gau-2-22-2016.php?PAGEN_8=3 (дата обращения: 08.09.2025).
15. 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):14–24. URL: <https://belgau.ru/InfResource/magazine.php> (дата обращения: 10.09.2025).
16. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И., Бахарев Д.Н., Добрицкий А.А. Комбикормовый агрегат. Патент 2805301 С1 Российская Федерация. 13 октября 2023. URL: <https://elibrary.ru/rfddi> (дата обращения: 10.09.2025).

17. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И., Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Малогабаритный комбикормовый агрегат. Патент 2853007 С1 Российская Федерация. 17 декабря 2025. URL: <https://elibrary.ru/hwlpdg> (дата обращения: 10.09.2025).
18. Bulatov S., Nechaev V., Savinyh P., Rucins A. Research Results of Experimental Automated System for Dosing Bulk Materials. In: Engineering for Rural Development: Conference: 20th International Scientific Conference. Jelgava; 2021. p. 199–204. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF043>
19. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Zykin A.A., Sergeev A.G. Investigation of Kinematic Characteristics of Screw Dispensers for Sustainable Agrarian-and-Feed Production. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd; 2022:042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042028>

REFERENCES

1. Volvak S.F., Shapovalov V.I. Study of the Grinding Process Concentrated Feed. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2022;(4):14–24. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://belgau.ru/InfResource/magazine.php> (accessed 25.08.2025).
2. Morozov N.M. Directions of the Livestock Machine System Development. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2019;(4):7–11. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://livestockjournal.ru/4_36_2019 (accessed 25.08.2025).
3. Morozov N.M. Directions of Technical Progress in the Mechanization and Automation of Animal Husbandry and the Effectiveness of their Application. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;(12):2–5. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-12-2-5>
4. Nikolaev V.N. [Analysis of Technological Schemes for the Preparation of Loose Compound Feeds in Agricultural Enterprises]. *The Scientific Aspect*. 2024;3(6):299–305. (In Russ.) Available at: <https://na-journal.ru/arhiv/14104-zhurnal-nauchnyj-aspekt-6-2024-tom3> (accessed 26.08.2025).
5. Sergeev N.S., Nikolaev V.N., Litash A.V., Zyazev Ye.V., Gainullin E.N. Technology and Technical Means for Dry Feed Mixtures Preparation Based on the Multi-Component Vibration Dispenser. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2015;(1):68–72. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://orensau.ru/ru/nauka/izvestiya-orenburgskogo-gau> (accessed 26.08.2025).
6. Astanakulov K., Borotov A., Tursunov Ja., Tursunov S., Ariffin A.S. Dependence of the Uniformity of Feed Mixing in the Feed Mixing Device of the Granulation Line on the Number of Paddle Shaft Revolutions and Mixing Time. *AEGISD-IV: BIO Web of Conferences*. 2024;105(1):02011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410502011>
7. Chupshv A.V. Justification of the Prospective Operational Scheme Preparation of Mixed Fodder Concentrates in the Conditions of Livestock Enterprises. *Niva Povolzhya*. 2021;(3):135–141. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.022>
8. Vedishchev S.M., Glazkov A.Yu., Prokhorov A.V. The Analysis of Forage Batchers. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*. 2014;(1):103–108. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://vernadsky.tstu.ru/ru/vjpusk/2014/vjpusk-01.php> (accessed 26.08.2025).
9. Choriev R.K., Khudaynazarov D.Kh., Israilova D.A. Dependence of the Amount of Feed Distribution in the Small Sized Feed Distribution Device on the Number of Rotations of Blade Rotor. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: II International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions. Tashkent: IOP Publishing Ltd; 2022:012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012074>
10. Borotov A., Bekzhanov S., Nurjan D., Tursunov J., Tursunov Sh., Boykulov U., et al. Development of the Construction of the Feed Mixer Device of Granulation Line. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development. Tashkent: IOP Publishing Ltd; 2023:012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1284/1/012013>

11. Iskakov R.M., Mamirbaeva I.K., Gulyarenko A.A., Silaev M.Yu., Gusev A.S. Improved Hammers for Crushers in Feed Production. *Russian Engineering Research*. 2022;(42):987–992. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22100124>
12. Syrovatka V.I., Zhdanova N.V., Obuhov A.D. System of Machinery for Combined Feeds' Preparing on Farms. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2020;(1):24–31. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://livestockjournal.ru/1_37_2020 (accessed: 30.08.2025).
13. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Sergeev A.G. The System of Components Dosing in Compound Feed. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2021;(2):62–70. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33920/sel-05-2102-06>
14. Sabiev U.K., Amrin R.N., Kushnerik A.N. A Brief Analysis of Multi-Component Free-Running Feed Dispensers. *Vestnik of Omsk State Agrarian University*. 2016;(2):238–241. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://www.omgau.ru/vestnik/arkhiv/vestnik-omskogo-gau-2-22-2016.php?PAGEN_8=3 (accessed 08.09.2025).
15. 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):14–24 (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://belgau.ru/InfResource/magazine.php> (accessed 10.09.2025).
16. Volvak S.F., Shapovalov V.I., Bakharev D.N., Dobritskij A.A. Feed Meel. Patent 2805301 C1 Russian Federation. 2023 October 13. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/rfddi>
17. Volvak S.F., Shapovalov V.I., Pastukhov A.G., Bakharev D.N. Compact Combined Feed Unit. Patent 2853007 C1 Russian Federation. 2025 December 17. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/hwlpdg>
18. Bulatov S., Nechaev V., Savinyh P., Rucins A. Research Results of Experimental Automated System for Dosing Bulk Materials. In: *Engineering for Rural Development: Conference: 20th International Scientific Conference. Jelgava; 2021. p. 199–204.* <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF043>
19. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Zykin A.A., Sergeev A.G. Investigation of Kinematic Characteristics of Screw Dispensers for Sustainable Agrarian-and-Feed Production. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd; 2022:042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042028>

Об авторах:

Вольвак Сергей Федорович, кандидат технических наук, профессор инженерного факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина (308503, Российская Федерация, п. Майский, ул. Вавилова, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>, Researcher ID: OKT-0957-2025, Scopus ID: 57209270770, volvak.s@yandex.ru

Пастухов Александр Геннадиевич, доктор технических наук, профессор инженерного факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина (308503, Российская Федерация, п. Майский, ул. Вавилова, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>, Researcher ID: ADV-6694-2022, Scopus ID: 57202643377, pastuhov_ag@belgau.ru

Бахарев Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильного транспорта Луганского государственного университета имени Владимира Даля (291034, Российская Федерация, г. Луганск, квартал Молодежный, д. 20 а), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4263-740X>, baharevdm_82@mail.ru

Тимашов Евгений Петрович, доктор технических наук, доцент инженерного факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина (308503, Российская Федерация, п. Майский, ул. Вавилова, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0740-8714>, Researcher ID: ABE-2104-2021, timachov@mail.ru

Кощаев Иван Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент технологического факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина (308503, Российская Федерация, п. Майский, ул. Вавилова, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0377-6088>, Researcher ID: [ABU-3398-2022](#), Scopus ID: [57221203996](#), koshchaev@belgau.ru

Вклад авторов:

С. Ф. Вольвак – формулирование идеи исследования, целей и задач; осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов или сбор данных; создание и подготовка рукописи: написание черновика рукописи, включая его перевод на иностранный язык.

А. Г. Пастухов – контроль, лидерство и наставничество в процессе планирования и проведения исследования; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

Д. Н. Бахарев – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

Е. П. Тимашов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая сбор данных; создание и подготовка рукописи.

И. А. Кощаев – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 28.10.2025; поступила после рецензирования 19.11.2025;
принята к публикации 25.11.2025*

About the authors:

Sergey F. Volvak, Cand.Sci. (Eng.), Professor of the Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin (1 Vavilova str., Maiskiy 308503, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>, Researcher ID: [OKT-0957-2025](#), Scopus ID: [57209270770](#), volvak.s@yandex.ru

Alexander G. Pastukhov, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin (1 Vavilova str., Maiskiy 308503, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>, Researcher ID: [ADV-6694-2022](#), Scopus ID: [57202643377](#), pastuhov_ag@belgau.ru

Dmitriy N. Bakharev, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Department of Road Transport, Lugansk Vladimir Dahl State University (20 a Molodezhny District, Lugansk 291034, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4263-740X>, baharev_dn_82@mail.ru

Evgeny P. Timashov, Dr.Sci. (Eng.), Docent of the Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin (1 Vavilova str., Maiskiy 308503, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0740-8714>, Researcher ID: [ABE-2104-2021](#), timachov@mail.ru

Ivan A. Koshchaev, Cand.Sci. (Eng.), Docent of the Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin (1 Vavilova str., Maiskiy 308503, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0377-6088>, Researcher ID: [ABU-3398-2022](#), Scopus ID: [57221203996](#), koshchaev@belgau.ru

Authors contribution:

S. F. Volvak – ideas; formulation or evolution of overarching research goals and aims; conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments, or data/evidence collection; preparation, creation and presentation of the published work, specifically writing the initial draft (including substantive translation).

A. G. Pastukhov – oversight and leadership responsibility for the research activity planning and execution, including mentorship external to the core team; preparation, creation and / or presentation of the published work by those from the original research group, specifically critical review, commentary or revision – including pre- or post-publication stages.

D. N. Bakharev – conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments; preparation, creation and / or presentation of the published work, specifically visualization / data presentation.

E. P. Timashov – preparation, creation and / or presentation of the published work; conducting a research and investigation process, specifically performing data.

I. A. Koshchaev – conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 28.10.2025; revised 19.11.2025; accepted 25.11.2025