

Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 2 (58). С. 74-80
Vestnik Kurganskoy GSXA. 2026; (2-58): 74-80

Научная статья

УДК 631.363; 636.086.55
Код ВАК 4.3.1

DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_74_80
EDN: BXLACF

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА, ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ВАЛЬЦЕДЕКОВОЙ ДРОБИЛКОЙ

Дмитрий Артемович Нехорошев^{1✉}, Дмитрий Дмитриевич Нехорошев²,
Максим Андреевич Бирюков³, Никита Дмитриевич Нехорошев⁴

^{1, 2, 3, 4} Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

¹ dmitr-nech@yandex.ru✉

² ndd.volgau.@yandex.ru

³ mak.biruckow 2012@yandex.ru

⁴ nikita.nech@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – определение степени влияния технологического зазора в измельчающем аппарате с регулируемым режимом работы в вальцедковой дробилке на гранулометрический состав кормов и определение оптимальной величины зазора, обеспечивающего необходимую однородность смеси, снижение количества мучных фракций и увеличение производительности. Объектом исследования была дробилка кормов, имеющая вальцедковый измельчающий аппарат, который обеспечивает процесс измельчения путем регулирования зазора деки относительно вальца для получения оптимального гранулометрического состава без остановки процесса дробления. Создание нового типа машины для приготовления концентрированных кормов с использованием вальцедкового устройства выполнено на основе анализа теоретических исследований процесса дробления твердых зерновых материалов. При обосновании параметров рабочих органов дробилки и совершенствования технологии измельчения важное значение отводилось теоретическим исследованиям по затратам энергии на измельчение. Для организации экономически эффективного и технологически качественно-го процесса производства комбикормов особое внимание уделяется внедрению современных инновационных технологий, позволяющих получать продукцию с минимальным количеством мучных фракций. Использование вальцедкового аппарата обеспечивает процесс измельчения путем регулирования положения подвижной деки относительно рифельного валика, что позволяет получить качественный гранулометрический состав зерна без остановки процесса измельчения. Экспериментальные исследования гранулометрического состава, полученного измельченного корма на дробилке с подвижной декой, были реализованы при влажности зерна от 14 до 16 % и технологическом зазоре измельчающего аппарата 1,5 мм, 2,0 мм, 2,5 мм. Качество измельчения и размеры фракций зерна оценивались на лабораторных ситах Ø 2,5 мм, Ø 2 мм, Ø 1,5 мм. Крупность гранулометрического состава, полученного в вальцедковой дробилке при различных режимах измельчения, составляет не менее 86 %, а в готовом продукте мучных фракций содержится 6,2 %.

Ключевые слова: вальцедковая дробилка, рифельный валец, рифельная дека, комбикорм, зерно пшеницы, степень измельчения, мука, гранулометрический состав.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета Волгоградского государственного аграрного университета. Дополнительных грантов на проведение или руководство данных конкретных исследований получено не было.

Для цитирования: Нехорошев Д.А., Нехорошев Д.Д., Бирюков М.А., Нехорошев Н.Д. Гранулометрический состав зерна, измельченного вальцедковой дробилкой // Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 2 (58). С. 74-80. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_74_80. EDN: BXLACF.

Scientific article

GRANULOMETRIC COMPOSITION OF GRAIN CRUSHED BY ROLLER AND SHREDDER CONCAVE MILL

Dmitry A. Nekhoroshev^{1✉}, Dmitry D. Nekhoroshev², Maxim A. Biryukov³, Nikita D. Nekhoroshev⁴
^{1, 2, 3, 4} Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

¹ dmitr-nech@yandex.ru✉

² ndd.volgau.@yandex.ru

³ mak.biruckow 2012@yandex.ru

⁴ nikita.nech@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to determine the degree of influence of the technological gap in the shredding machine with an adjustable mode of operation in a roller and shredder concave mill on the granulometric composition of feed and to determine the optimal size of the gap ensuring the necessary uniformity of the mixture, to reduce the number of flour fractions and to increase productivity. The object of

the study was a feed mill having a roller and shredder concave device, which provides the grinding process by adjusting the gap between the shredder concave and the roller to obtain an optimal granulometric composition without stopping the crushing process. The creation of a new type of machine for preparing concentrated feed using a roller and shredder concave device is based on analyzing theoretical studies of the crushing process of solid grain materials. When substantiating the parameters of the mill working bodies and improving the crushing technology, it was important to conduct theoretical research on the energy costs of crushing. In order to organize a cost-effective and technologically high-quality feed production process, special attention is paid to the introduction of modern innovative technologies that make it possible to produce products with a minimum number of flour fractions. The roller and shredder concave machine makes grinding by adjusting the position of the movable shredder concave in relation to the grooved roller, which makes it possible to obtain a high-quality grain size composition without stopping the grinding process. The experimental studies of the granulometric composition of the crushed feed obtained on the mill with a movable shredder concave were carried out with grain moisture from 14 % to 16 % and a technological gap of the shredding apparatus of 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm. The grinding quality and grain fraction sizes were evaluated with laboratory sieves with $\varnothing$ 2.5 mm, $\varnothing$ 2 mm, $\varnothing$ 1.5 mm. The grain size of the granulometric composition obtained in a roller and shredder concave mill under various grinding modes is at least 86 %, and the finished product of flour fractions contains 6.2 %.

Keywords: roller and shredder concave mill, grooved roller, grooved shredder concave, compound feed, wheat grain, degree of grinding, flour, granulometric composition.

Acknowledgments: the work was funded by the budget of the Volgograd State Agrarian University. No additional grants were received to conduct or direct these specific studies.

For citation: Nekhoroshev D.A., Nekhoroshev D.D., Biryukov M.A., Nekhoroshev N.D. Granulometric composition of grain crushed by roller and shredder concave mill // Vestnik Kurganskoy GSHA. 2026; (2-58): 74-80. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_74_80. EDN: BXLACF. (In Russ).

Введение. Измельчение – это широко используемый способ переработки хлебных злаковых культур для подготовки их к скармливанию животным и птице. Твердая внешняя оболочка зерна при измельчении полностью разрушается и становится легко переваримой. Измельченное зерно хорошо смешивается с другими ингредиентами при приготовлении кормовых смесей. Степень измельчения зерна злаковых культур зависит главным образом от вида и возраста животных, для которого оно предназначено. В производстве комбикормов из зерновых культур необходимо учитывать три степени измельчения: крупная 2,6...1,8 мм, средняя 1,8...1,0 мм, мелкая 1,0...0,2 мм.

При изготовлении комбикормов предъявляются повышенные требования по качеству измельчения сырья и количеству пылевидных фракций. Учитывая требования потребителей кормов, комбикормовые предприятия обязаны производить «структурированный» корм, соответствующий виду и потребностям животного. Данное требование означает, что за счет совершенствования технологии приготовления измельченных кормов должна увеличиваться способность усвояемости корма, а его гранулометрический состав должен соответствовать требованиям ГОСТа [1], так как корм, имеющий слишком мелкие частицы, плохо усваивается животными, а пылевидные фракции загрязняют окружающую среду и ухудшают экологическую обстановку на предприятии [2; 3].

Для снижения пылевыделения и механических потерь в процессе производства кормов с использованием дробления необходимо выполнить оптимизацию процесса измельчения компонентов путем выбора типа измельчающего аппарата. Следует исключить в технологии дробления режимы двухступенчатого способа измельчения и обеспечить однородность гранулометрического состава с минимальным количеством мучнистых фракций [4–6].

Цель работы состоит в совершенствовании технологического процесса подготовки зерна зла-

ковых культур к изменению гранулометрического состава в вальцедековой дробилке за счет обоснования конструкции вальцедекового аппарата с регулируемым режимом работы и достижения однородного гранулометрического состава с минимальным количеством мучных фракций.

Материалы и методы. На качество концентрированных кормов большое значение оказывают не только характеристики исходного сырья, но и технология выбранного процесса переработки компонентов. Для измельчения зерна используются различные конструкции дробилок, при этом особое распространение получили молотковые дробилки [7–9].

Эффективность работы машин для измельчения зерна фуражных культур характеризуется способностью соответствовать показателям заявленной производительности, малой энергоемкости и хорошему качеству производимой продукции.

Создание машин нового типа для приготовления концентрированных кормов с использованием вальцедекового устройства, измельчающего зерно злаковых культур до фракций, соответствующих зоотехническим нормам, было выполнено на основе анализа теоретических исследований процесса дробления твердых зерновых материалов [10–12].

При проектировании и обосновании параметров рабочих органов дробилки и совершенствовании технологий на основе экспериментальных исследований важное значение отводилось теоретическим исследованиям по затратам энергии на измельчение [13]. Нами создана новая конструкция вальцедекового измельчителя [14; 15], который позволяет получать фракции зерна фуражных культур без остановки процесса измельчения (рисунок 1).

Дробилка имеет бункер накопитель 1, заслонку дозатора 2, измельчающий механизм 3, мешкодержатель 4, выгрузной лоток 5, рамы 6. Привод измельчающего аппарата осуществляется электродвигателем 7 посредством клиноременной передачи 8.



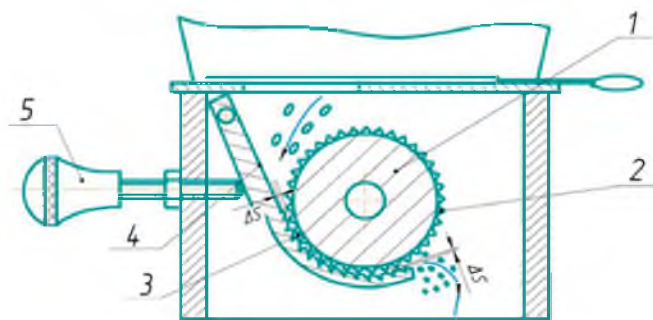
- 1 – бункер накопитель; 2 – заслонка дозатора;
3 – измельчающий механизм;
4 – мешкодержатель; 5 – выгрузной лоток;
6 – рамы; 7 – электродвигатель;
8 – клиноременная передача

Рисунок 1 – Вальцедековая дробилка

- 1 – storage hopper; 2 – dosing gate; 3 – shredding mechanism; 4 – bag holder; 5 – unloading tray;
6 – frames; 7 – electric engine; 8 – V-belt drive

Figure 1 – Roller and shredder concave mill

Рабочим органом созданной дробилки является универсальный вальцедековый аппарат, который позволяет измельчать зерно фуражных культур до фракций гранулометрическим размером от 5 до 0,5 мм. Процесс движения зерна исходного и дробленого материала к рифленому валцу 1 в дробильной камере показан стрелками на рисунке 2.



- 1 – валец; 2, 3 – рифеля; 4 – дека;
5 – регулировочный винт; ΔS – изменение зазора

Рисунок 2 – Технологическая схема работы вальцедековой дробилки

- 1 – roller; 2, 3 – grooves; 4 – shredder concave;
5 – adjusting screw; ΔS – change in clearance

Figure 2 – Flow chart of and shredder concave mill operation

Валец 1 своими рифелями 2 ударяет по зерну, располагающемуся на рифелях 3 деки 4, измельчая его путем дробления до нужных размеров с минимальным количеством мучных фракций. Измельченный материал поступает в лоток 5 (рисунок 1) и выходит из дробильной камеры 3. Количество материала, поступающего на измельчение в дробильную камеру 3, регулируется заслонкой дозатором 2, а величина измельчения (рисунок 2) регулируется изменением зазора ΔS путем перемещения деки 4 регулировочным винтом 5.

Работает устройство следующим образом. Зерно для измельчения засыпается в бункер 1, вместимостью 25 кг. Поток зерна, поступающего на измельчение, регулируется заслонкой дозатором 2. Дека тормозит движение слоя материала по кругу, обеспечивает разрушение зерна, раскалывая его на своих острых кромках усиливая воздействие острых кромок рифельного барабана. Рифельный барабан имеет 38 рифелей. Глубина рифелей 2 мм, а шаг 2,5 мм. Измельченная масса проходит за дековое пространство, а затем поступает в выгрузной лоток.

Исследования вальцедековой дробилки проводились в условиях учхоза «Горная поляна» Волгоградского ГАУ в период с 2024 по 2025 год. В настоящее время дробилка используется в кормоприготовительном цехе для измельчения зерна фуражных культур [16].

Изучалось влияние вальцедекового измельчающего аппарата на гранулометрический состав, измельченного зерна и количество полученных мучнистых фракций в соответствии с ГОСТ 13496.8–72 «Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений» [1]. Оценка полученных результатов экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики в программе Microsoft Excel «Статистический анализ данных».

Результаты исследований и их обсуждение.

Основным показателем, определяющим качество измельчения, является степень гранулометрического состава смеси. Для определения размера частиц, полученных при измельчении, сделан ситовой анализ, по результатам которого определено процентное содержание измельченных частиц в каждой фракции.

Далее приведены результаты исследований по измельчению зерна пшеницы на дробилке с подвижной декой. Опыты выполнены при влажности зерна от 14 до 16 % и рабочем зазоре в вальцедековом аппарате 2,5 мм, 2,0 мм, 1,5 мм. Контроль измельченного зерна проводился на решетках $\varnothing$ 2,5 мм, $\varnothing$ 2 мм, $\varnothing$ 1,5 мм. Гранулометрический состав продуктов измельчения зерна представлен в таблицах 1, 2, 3.



Рисунок 3 – Зерновая смесь до измельчения
Figure 3 – Grain mixture before grinding



Рисунок 5 – Зерновая смесь после измельчения
на сите Ø 2 мм
Figure 5 – Grain mixture after grinding using a sieve
with Ø 2 mm



Рисунок 4 – Зерновая смесь после измельчения
на сите Ø 2,5 мм
Figure 4 – Grain mixture after grinding using a sieve
with Ø 2.5 mm

Анализ гранулометрического состава при крупном измельчении зерна показал, что остаток на сите Ø 2,5 мм составляет 82,45 %, на сите Ø 2,0 мм – 6,97 %, на сите Ø 1,5 мм – 4,38 %, а количество мучных фракций – 6,2 %. Следует отметить, что при крупном измельчении количество мучных фракций не велика, и потребность в крупных фракциях, необходимых для кормления животных, составляет до 89 %.

Анализ гранулометрического состава при среднем измельчении зерна показал, что остаток на сите Ø 2,0 мм – составляет 50,73 %, на сите Ø 2,5 мм – 27,00 %, на сите Ø 1,5 мм – 16,07 %, а количество мучных фракций – 6,20 %.

Таблица 1 – Гранулометрический состав зерна при зазоре сита 2,5 мм, г

Table 1 – Grain granulometric composition with a screen gap of 2.5 mm, g

Показатель	Контрольные сита			
	Ø 2,5 мм	Ø 2,0 мм	Ø 1,5 мм	мучка
Остаток на сите	82,45	6,97	4,38	6,20
Проход на сите	17,55	10,58	6,20	–

Таблица 2 – Гранулометрический состав зерна при зазоре сита 2,0 мм, г

Table 2 – Grain granulometric composition with a sieve gap of 2.0 mm, g

Показатель	Контрольные сита			
	Ø 2,5 мм	Ø 2,0 мм	Ø 1,5 мм	мучка
Остаток на сите	27,00	50,73	16,07	6,20
Проход на сите	73,00	22,27	6,20	–

Таблица 3 – Гранулометрический состав зерна при зазоре сита 1,5 мм, г

Table 3 – Grain granulometric composition with a sieve gap of 1.5 mm, g

Показатель	Контрольные сита			
	Ø 2,5 мм	Ø 2,0 мм	Ø 1,5 мм	мучка
Остаток на сите	5,58	7,77	80,45	6,20
Проход на сите	94,42	86,65	6,20	–

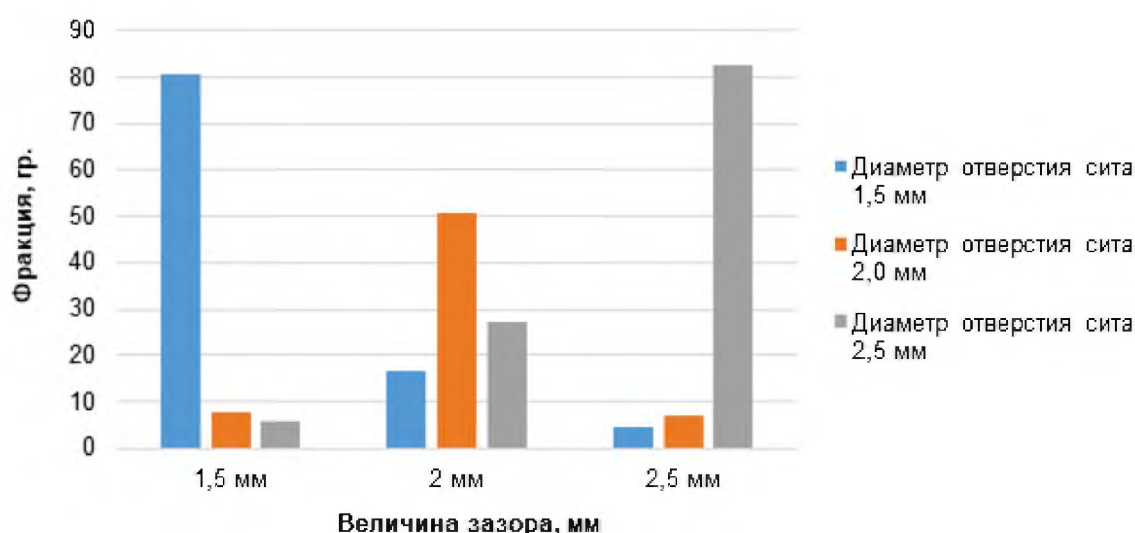


Рисунок 6 – Гранулометрический состав фракций на ситах после измельчения
Figure 6 – Granulometric composition of fractions on sieves after grinding

а мучных фракций – 6,2 %. Установлено, что при средней степени измельчения образуется больше фракций среднего размера, но количество мучки не увеличилось.

Анализ гранулометрического состава при мелком измельчении зерна показал, что наибольшее количество мелких фракций находилось на сите Ø 1,5 мм и составило 80,45 %; на сите Ø 2,0 мм – 7,77 %, на сите Ø 2,5 мм – 5,58 %, мучных фракций было 6,2 %.

Анализ работы дробилки показал, что при всех вариантах изменения зазора в измельчающем аппарате количество мучных фракций не увеличилось.

При работе вальцедековой дробилки с технологическим зазором 2,5 мм получают крупные фракции, с технологическим зазором 2,0 мм – средние фракции, а с технологическим зазором 1,5 мм – мелкие фракции, которые по количеству соответствуют требованиям для использования в рационах животных и составило более 86 %. В полученной измельченной массе преобладают крупные фракции.

Заключение. Достоинством разработанной дробилки является универсальность конструкции вальцедекового рабочего органа, который позволяет регулировать гранулометрический состав материала без остановки процесса измельчения, а так же позволяет измельчать зерновые фуражные культуры до фракций от 5 до 0,5 мм с минимальным количеством мучных фракций. Анализ гранулометрического состава измельченного зерна в данных дробилках показал, что количество крупных фракций измельченного зерна составило 86 %, а мелких мучных – 6,2 %. Предложенная дробилка может использоваться в небольших фер-

мерских хозяйствах, а также в кормоцехах крупных аграрных предприятий для приготовления малых партий кормовых смесей.

Список источников

- ГОСТ 13496.8-72 Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания не размолотых семян культурных и дикорастущих растений. М.: Стандартинформ, 2011. 2 с.
- Механизация приготовления концентрированных кормов / Д.А. Нехорошев [и др.] // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград: Изд-во Волгоградского ГАУ, 2025. С. 68-74. EDN: BEVTFP.
- Чупшев А.В. Обоснование перспективной операционной схемы приготовления комбикормов-концентратов в условиях животноводческих предприятий // Нива Поволжья. 2021. № 3 (60). С. 135-141. DOI: 10.36461/NP.2021.60.3.022. EDN: NTAYQY.
- Савиных П.А., Сычуглов Ю.В., Казаков В.А. Перспективные технологии и технические средства для обработки зерна // Техника и оборудование для села. 2020. № 3 (273). С. 22-26. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-3-22-26. EDN: CVCLIU.
- Свиридова С.А., Таркинский В.Е., Петухов Д.А. Эффективность применения современных дробилок кормовых культур // Техника и оборудование для села. 2022. № 12 (306). С. 44-46. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-44-46. EDN: ARCSXY.
- Превентивная стратегия технического обслуживания дробильного оборудова-

ния / И.Х. Гималтдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3 (59). С. 71-76. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-71-76. EDN: BPQIRH.

7. Саенко Ю.В., Семернина М.А., Страхов В.Ю. Обоснование конструктивных и режимных параметров дробилки с двумя типами рабочих органов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18. № 3 (86). С. 38-47. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_3_38. EDN: VICVVT.

8. Разработка и исследование рабочего процесса измельчения зерна дробилки ударно-отражательного действия / К.Е. Миронов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 100-106. DOI: 10.12737/article_5cceddbccce1e93.58919071. EDN: ZIJUBN.

9. Экспериментальное исследование установок для дробления зерновых кормов / Б.Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4 (76). С. 75-80. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-75-80. EDN: KJSMUK.

10. Клевцова Т.А., Гвоздев А.В., Пупынин А.А. Дробилка прямого удара с предварительной сепарацией зерна для фермерских хозяйств // Техника и оборудование для села. 2025. № 8 (338). С. 23-27. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-8-23-27. EDN: ZIUKMN.

11. Гранулометрическая модель кусков горной породы в камере щековой дробилки / А.И. Курочкин [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2025. № 1. С. 474-487. EDN: NSTZYF.

12. Савиных П.А., Турубанов Н.В. Теоретические исследования движения частицы материала в камере измельчения дробилки // Техника и технологии в животноводстве. 2026. Т. 16. № 1. С. 87-95. DOI: 10.22314/27132064-2026-16-1-87. EDN: ZVUFLO.

13. Modeling and simulation of particle motion in the operation area of a centrifugal rotary chopper machine / A. Marczuk [et al.] // Sustainability. 2019. Vol. 11. No. 18. P. 4873. DOI: 10.3390/su11184873. EDN: YPGWVJ.

14. Вальцедековая дробилка: пат. 2851192 Рос. Федерация. № 2025110445 / Нехорошев Д.А.; заявл. 21.04.2025; опубл. 20.11.2025; Бюл. № 32. 9 с. EDN: UCIYMB

15. Вальцедековая дробилка: пат. 2851178 Рос. Федерация. № 2025110438 / Нехорошев Д.А. [и др.]; заявл. 21.04.2025; опубл. 19.11.2025; Бюл. № 32. 9 с. EDN: MKZSUB.

16. Исследование процесса измельчения злаковых культур / Д.А. Нехорошев [и др.] // Из-

вестия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 410-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-44. EDN: SWWWUX.

References

1. GOST 13496.8-72 Kombikorma. Metody opredeleniya krupnosti razmola i sodержaniya ne razmolotyykh semyan kul'turnykh i dikorastushchikh rastenii [Compound feed. Methods for determining the grinding size and content of unground seeds of cultivated and wild plants]. Moscow: Standartinform; 2011: 2. (In Russ).

2. Nekhoroshev D.A. [et al.] Mekhanizatsiya prigotovleniya kontsentriruyemykh kormov [Mechanization of concentrated feed preparation]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex in the Context of Digital Transformation». Volgograd: Volgogradskii GAU; 2025: 68-74. EDN: BEVTFP. (In Russ).

3. Chupshev A.V. Obosnovanie perspektivnoi operatsionnoi skhemy prigotovleniya kombikormov-kontsentratov v usloviyakh zhivotnovodcheskikh predpriyatiy [Substantiation of a promising operational scheme for the preparation of concentrated feed in livestock farms]. Volga Region Farmland. 2021; 3(60): 135-141. DOI: 10.36461/NP.2021.60.3.022. EDN: NTAYQY. (In Russ).

4. Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Perspektivnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya obrabotki zerna [Advanced technologies and technical means for grain processing]. Machinery and Equipment for Rural Area. 2020; 3(273): 22-26. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-3-22-26. EDN: CVCLIU. (In Russ).

5. Sviridova S.A., Tarkivsky V.E., Petukhov D.A. Effektivnost' primeneniya sovremennykh drobilok kormovykh kul'tur [Efficiency of using modern forage crop crushers]. Machinery and Equipment for Rural Area. 2022; 12(306): 44-46. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-44-46. EDN: ARCSXY. (In Russ).

6. Gimaltdinov I.Kh. [et al.] Preventivnaya strategiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya drobil'nogo oborudovaniya [Preventive Maintenance Strategy for Crushing Equipment]. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2020; 15(3-59): 71-76. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-71-76. EDN: BPQIRH. (In Russ).

7. Saenko Yu.V., Semernina M.A., Strakhov V.Yu. Obosnovanie konstruktivnykh i rezhimnykh parametrov drobilki s dvumya tipami

rabochikh organov [Justification of the design and operating parameters of a crusher with two types of working bodies]. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025; 18(3-86): 38-47. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_3_38. EDN: VICVVT. (In Russ).

8. Mironov K.E. [et al.] Razrabotka i issledovanie rabocheho protsessa izmel'cheniya zerna drobilki udarno-otrazhatel'nogo deistviya [Development and research of the working process of grain grinding by an impact crusher]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019; 14(1-52): 100-106. DOI: 10.12737/article_5cceddbcce1e93.58919071. EDN: ZIJUBN. (In Russ).

9. Ziganshin B.G. [et al.] Eksperimental'noe issledovanie ustanovki dlya drobleniya zernovykh kormov [Experimental study of a grain feed crushing plant]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2024; 19(4-76): 75-80. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-75-80. EDN: KJSMUK. (In Russ).

10. Klevtsova T.A., Gvozdev A.V., Pupynin A.A. Drobilka pryamogo udara s predvaritel'noi separatsiei zerna dlya fermerskikh khozyaistv [Direct impact crusher with preliminary grain separation for farms]. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2025; 8(338): 23-27. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-8-23-27. EDN: ZIUKMN. (In Russ).

11. Kurochkin A.I. [et al.] Granulometricheskaya model' kuskov gornoj porody v kamere shchekovoi drobilki [Granulometric model of rock pieces in the jaw crusher chamber]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2025; (1): 474-487. EDN: NSTZYF. (In Russ).

12. Savinykh P.A., Turubanov N.V. Teoreticheskie issledovaniya dvizheniya chastitsy materiala v kamere izmel'cheniya drobilki [Theoretical studies of the motion of a particle of material in the grinding chamber of a crusher]. *Machinery and technologies in livestock*. 2026; 16(1): 87-95. DOI: 10.22314/27132064-2026-16-1-87. EDN: ZVUFLO. (In Russ).

13. A. Marczuk [et al.] Modeling and simulation of particle motion in the operation area of a centrifugal rotary chopper machine. *Sustainability*. 2019; 11(18): 4873. DOI: 10.3390/su11184873. EDN: YPGWVJ.

14. Val'tsedekovaya drobilka [Roller crusher]: Pat. 2851192 Rus. Federation. No 2025110445 / Nekhoroshev D.A.; dec. 21.04.2025: publ. 20.11.2025; Bul. № 32. 9 h. EDN: UCIYMB. (In Russ).

15. Val'tsedekovaya drobilka [Roller crusher]: Pat. 2851178 Rus. Federation. No 2025110438 / Nekhoroshev D.A. [at al.]; dec. 21.04.2025: publ. 19.11.2025; Bui. № 32. 9 p. EDN: MKZSUB. (In Russ).

16. Nekhoroshev D.A. [at al.] Issledovanie protsessa izmel'cheniya zlakovykh kul'tur [Study of the process of grinding cereal crops]. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2025; 1(79): 410-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-44. EDN: SWWWUX. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Нехорошев Д.А. – научное руководство.

Нехорошев Д.Д. – написание исходного материала.

Бирюков М.А. – обработка материала.

Нехорошев Н.Д. – сбор материала.

AUTHOR CONTRIBUTION

Nekhoroshev, D.A. – scientific guidance.

Nekhoroshev, D.D. – writing the source material.

Biryukov, M.A. – material processing.

Nekhoroshev, N.D. – collection of material.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

Д.А. Нехорошев – доктор технических наук, доцент; AuthorID 160451.

Д.Д. Нехорошев – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 160451.

М.А. Бирюков – аспирант.

Н.Д. Нехорошев – AuthorID 1218632.

Information about the author

D.A. Nekhoroshev – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor; AuthorID 160451.

D.D. Nekhoroshev – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor; AuthorID 160451.

M.A. Biryukov – Postgraduate Student.

N.D. Nekhoroshev – AuthorID 1218632.

Статья поступила в редакцию 20.03.2026; одобрена после рецензирования 13.05.2026; принята к публикации 18.06.2026.

The article was submitted 20.03.2026; approved after reviewing 13.05.2026; accepted for publication 18.06.2026.