

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ

ISSN 2713-2064
научный журнал

2 квартал
2025 год
15 том

Scientific journal
Machinery and technologies
in livestock

Техника и технологии в животноводстве

номер

2'25



Научный журнал

Техника и технологии в животноводстве

прежнее название – «Вестник Всероссийского
научно-исследовательского института
механизации животноводства»

Издатель: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

ISSN 2713-2064

Подписной индекс «Урал-Пресс» № 33370

включен в Перечень ВАК

включен в РИНЦ

включен в Международную
базу данных AGRIS

О журнале

Журнал является одним из ведущих изданий
отрасли. За время существования журнала
опубликовано более 2400 статей,
зарегистрированных в научной электронной
библиотеке eLIBRARY.RU (РИНЦ), суммарное число
цитирований – более 6000 ссылок.
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ составляет 0,430.
Издается с 2011 года.

Включен в перечень изданий, рекомендованных
ВАК для публикаций соискателей степеней
кандидата и доктора наук по специальности
4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса.

livestockjournal.ru

Рубрики

В основных рубриках журнала освещаются
актуальные проблемы инновационного развития
АПК по следующим тематическим направлениям:

1. Инновационные технологии и технические
средства производства молока и говядины;
2. Инновационные технологии и технические
средства производства продукции свиноводства
и комбикормов;
3. Энергоресурсосберегающие экологически
безопасные технологии и технические
средства утилизации навоза;
4. Организационно-экономические проблемы
механизации и автоматизации животноводства.

Редакция

В состав редакционной коллегии журнала входят
17 известных ученых и ведущих специалистов отрасли:
5 академиков РАН, 3 члена-корреспондента РАН,
6 докторов наук и 3 кандидата наук.

Аудитория

Аудитория журнала: руководители и специалисты
АПК, научные работники, аспиранты.

Экземпляры журнала рассылаются в ведущие
научные центры и библиотеки России.

Версии

Печатная версия журнала выходит в свет четыре
раза в год.

Электронная версия расположена на сайте:
livestockjournal.ru

Авторам

Рукописи статей представляются в редакцию
в электронном виде по адресу: livestockjournal@gmail.com
С требованиями к материалам, представляемым
для публикации в журнале, можно ознакомиться
на сайте: livestockjournal.ru

Контакты

livestockjournal@gmail.com
108823, г. Москва, поселение Рязановское,
поселок Знамя Октября, д. 31

СОДЕРЖАНИЕ

Инновационные технологии и технические средства производства молока и говядины

- Одноприенко В.В., Грицай Д.И., Капустина Е.И.** Оборудование для обработки и переработки молока в личных подсобных и фермерских хозяйствах 5
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х., Конопелькин А.А., Михайличенко С.М.** Обоснование конструкции механизма перемещения поршня шприца аппарата для искусственного осеменения коров 11
- Милушев Р.К., Кипарисов С.Е.** Биомашинные системы и метаболические показатели животных 16

Инновационные технологии и технические средства производства комбикормов

- Турубанов Н.В., Веденский Н.В., Киприянов Ф.А.** Исследование влияния технологических факторов на качество смеси в ленточном горизонтальном смесителе 24
- Саенко Ю.В., Широков М.С.** Оптимизация режимных параметров установки для проращивания зерна 30
- Булатов С.Ю., Тареева О.А., Крестинков В.Г., Шамин А.Е., Малышев Г.С.** Использование метода водораздела для выделения целых зерен при анализе гранулометрического состава измельченного зерна 38
- Мирзоянц Ю.А., Фириченков В.Е., Орлова Е.Е.** Развитие инновационных технологий и ресурсосберегающих технических средств для стрижки овец 51
- Умиров Н.Т., Абдурахмонов Ш.Х., Юлдашев Д.К.** Оценка эффективности работы роторной дробилки зерна для скармливания животным и птицам 60
- Киприянов Ф.А.** Результаты экспериментальных исследований по отделению микронизированных зерен 67

Организационно-экономические проблемы механизации и автоматизации животноводства

- Булатов С.Ю., Симачкова М.С.** Результаты подбора комбикормового оборудования по интегральному показателю на примере сельскохозяйственных предприятий Нижегородской области 74
- Водяников В.Т.** Техничко-экономическая оценка инвестиционного проекта реализации биоэнергетической установки на птицефабрике 84
- Кузьмина Т.Н., Масловский С.А.** Техническое оснащение свиноводческих предприятий: анализ импортозависимости 94



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА ДЛЯ СКАРМЛИВАНИЯ ЖИВОТНЫМ И ПТИЦАМ

Нашир Тухтабоевич Умиров, кандидат технических наук, доцент; n.umirov@tiame.uz

Шавкатжон Хасанович Абдурахмонов, PhD, доцент; sh.abdurakhmonov@tiame.uz

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан

Дилишод Кулдашев, кандидат сельскохозяйственных наук; uzkronvetservis@mail.ru

Селекционно-генетический центр кролиководства, Ташкент, Узбекистан

Реферат. Представлены материалы, касающиеся оптимальных параметров оценки эффективности работы зернодробилки в зависимости от её производительности и удельных затрат энергии, расходуемой на измельчение зерна. Размеры зерен, используемых в рационах сельскохозяйственных животных и птиц, играют значительную роль в их усвояемости, доступности питательных веществ и общем комфорте при кормлении. Различные виды животных и птиц проявляют разные требования к размеру зерна. Так, крупный рогатый скот способен эффективно перерабатывать более крупные зерна благодаря особенностям строения желудка. Свиньи могут усваивать как крупные, так и мелкие зерна, однако предварительное измельчение может способствовать улучшению усвояемости корма. У птиц, в силу меньшего объема зоба, легче усваиваются зерна мелких и средних размеров. По этой причине в птицеводстве часто возникает необходимость в предварительной обработке зерна, такой, как дробление или размол. Приведены результаты экспериментальных исследований по технологии и параметрам роторного измельчителя, применяемого для уменьшения размера частиц пшеницы до средней фракции. Приведены графические зависимости производительности рабочей камеры дробилки от величины зазора для пшеницы при различных скоростях вращения ротора, а также зависимости удельного расхода энергии, затрачиваемой на измельчение зерна пшеницы, от величины зазора рабочей камеры при тех же скоростных режимах. На основе полученных данных рекомендовано оптимальное значение зазора, обеспечивающее получение качественного продукта среднего помола, наиболее соответствующего потребностям сельскохозяйственных животных и птиц. Установлено, что для дробления зерен пшеницы в рабочей камере дробилки с целью получения максимальной доли качественной измельченной продукции среднего помола при минимальных энергетических затратах наиболее энергоэффективным является зазор 1,5 мм.

Ключевые слова: животноводство, птицеводство, комбикорма, зерно, дробилка, удельная работа, производительность, частота вращения.

Для цитирования: Умиров Н.Т., Абдурахмонов Ш.Х., Юлдашев Д.К. Оценка эффективности работы роторной дробилки зерна для скармливания животным и птицам // Техника и технологии в животноводстве. 2025. Т. 15. № 2. С. 60-66. EDN XQUYSG



EVALUATION OF THE ROTARY GRAIN CRUSHER WORK'S EFFICIENCY FOR ANIMALS AND BIRDS FEEDING

Nashir T. Umirov, candidate of technical sciences, docent

Shavkatjon H. Abdurakhmonov, PhD, docent

Tashkent institute of agriculture irrigation and mechanization's engineers, Uzbekistan

Dilshod K. Yuldashev, candidate of agricultural sciences

Center of rabbit breeding and genetics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The materials concerning with the grain grinder's optimal parameters for efficiency evaluating in depending on performance and the specific energy consumption spending on grinding grain are presented. The grain sizes used in the farm animals and birds' rations play a significant role in their digestibility, nutrient availability, and overall comfort feeding. The different types of animals and birds different grain size requirements having. Thus, cattle are able efficiently to process larger grains due to their stomach structure's peculiarities. Pigs can digest both large and small grains, but pre-grinding can help the feed digestibility improving. The birds, due to goiter's smaller volume, small and medium sized grains are easier digesting. For this reason grain preprocessing, such as crushing or milling, is often necessary in poultry farming. The results of experimental studies on the rotary shredder's technology and parameters used to reduce the wheat particles' size to an average fraction are presented. Graphical dependences of the crusher chamber working's productivity on the gap size for wheat at the rotor rotation's different speeds are shown, as well as

the dependence of the specific energy consumption on wheat grains grinding on the gap size of the chamber's working at the same speed conditions spending. Based on the obtaining data, the optimal clearance value is recommended for the of a highquality medium ground product producing meeting the best way the farm animals and birds' needs ensuring. It has been established that for wheat grains crushing at the crusher chamber's working in order to the maximum proportion of highquality crushed products of medium grinding with minimal energy costs obtaining, the gap of 1,5 mm is the most energy efficient.

Keywords: livestock, poultry farming, compound feed, grain, crusher, specific work, productivity, rotation's speed.

For citation: Umirov N.T., Abdurokhmonov Sh.H., Yuldashev D.K. Evaluation of the rotary grain crusher work's efficiency for animals and birds feeding // Machinery and technologies in livestock. 2025. Vol. 15. No. 2. P. 60-66. EDN XQUYSG

Введение. В настоящее время отсутствует конкретная методика оценки качества работы сельскохозяйственной техники и расчета ущерба, нанесенного хозяйству, несмотря на наличие утвержденных критериев экономической эффективности и ресурсосбережения [1]. Зерна являются основным компонентом для кормления многих сельскохозяйственных животных и птиц в чистом виде или в составе комбикормов. Их правильное использование критически важно для достижения хороших результатов в животноводстве и птицеводстве. Размеры зерен, используемых в кормлении животных и птиц, могут существенно влиять на их усвояемость, доступность питательных веществ и общий комфорт при поедании.

Для разных видов животных и птиц требуются зерна различного размера. К примеру, для крупного рогатого скота подходят более крупные зерна, так как функциональная анатомия их желудка позволяет эффективно перерабатывать данный тип корма. Свиньи, в свою очередь, способны усваивать как крупные, так и мелкие зерна, но измельчение зерна может повысить уровень его усвояемости. У птиц меньший объем зоба, поэтому легче усваиваются мелкие и средние зерна. В связи с этим при кормлении птиц часто требуется предварительная подготовка зерна (дробление или размол). Таким образом, правильный выбор и подготовка зерен в кормлении являются ключевыми факторами для обеспечения здоровья и продуктивности животных и птиц [2].

Обоснование и актуальность исследований. Размер неизмельченных различных зерен в природе обычно составляет от 5 до 15 мм в диаметре (например, кукуруза, пше-

ница). При грубом дроблении размер измельченного зерна составляет 3-5 мм, и такие корма потребляются крупным рогатым скотом. При среднем дроблении размер дробленого зерна составляет 1-3 мм; такие корма предназначены для свиней, кур и мелких животных, так как эти размеры позволяют улучшить усвояемость питательных веществ корма.

Мелкое дробление зерна (размер дробленых частиц менее 1 мм) используется в производстве комбикормов для птиц и других мелких животных по специализированным полноценным кормовым рецептам с максимально высокой доступностью питательных веществ, применяемых в откорме [3]. В связи с вышеизложенным работы, направленные на создание новых видов ресурсосберегающих технологий и технических средств приготовления комбикормов путем измельчения зернового сырья в животноводстве и птицеводстве с учетом их вида, пола, возраста, физиологического состояния, являются актуальными [4, 5].

Наиболее ответственной и трудоемкой технологической операцией в подготовке зерен к кормлению животных и птиц является измельчение фуражного зерна, которое осуществляется в основном молотковыми дробилками с большой энергоемкостью и металлоемкостью, а качество измельченного продукта не всегда соответствует физиологическим возможностям животных и птиц и зоотехническим требованиям [6, 7]. Поэтому создание измельчителя различного фуражного зерна, позволяющего получать кормовой продукт требуемого качества в соответствии с зоотехническими требованиями и с наименьшими энергетическими затратами и металло-

емкостью, является важнейшей задачей [8, 9]. В Республике Узбекистан и за рубежом многие ученые исследовали процессы дробления зерна для сельского хозяйства (Механизация животноводческих ферм / С.В. Мельников, П.В. Андреев, В.Ф. Базенков и др. М., 1969), однако рабочие процессы роторной дробилки в контексте энергетических затрат и качества продукции остаются недостаточно изученными [10, 11, 12].

При производстве кормов для повышения их качества важную роль играет наличие необходимой техники для заготовки кормов; также важно, чтобы технические средства в сельском хозяйстве использовались производительно, эффективно, качество измельчения должно соответствовать зоотехническим требованиям [13, 14].

В связи с вышеизложенным оценка рабочего режима работы роторной дробилки, разработанной в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства Национального Исследовательского Университета, а также ее производительности при определенном зазоре является актуальной.

Цель исследования – теоретическое и экспериментальное обоснование рабочих режимов работы роторной дробилки.

Материалы и методы исследования. Для определения характеристик роторной дробилки были использованы общетехнические методы, принятые в испытаниях. Испытания были проведены в лаборатории Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства.

Эффективность работы дробилки зерна была оценена по следующим показателям:

- производительность роторной дробилки Q , кг/ч:

$$Q = \frac{G_g}{t} 3600, \quad (1)$$

где G_g – масса измельченного зерна, кг;
 t – время, с;

- удельные затраты электроэнергии при работе роторной дробилки $A_{уд}$, Вт·ч/кг:

$$A_{уд} = \frac{N_p}{Q}, \quad (2)$$

где N_p – затраты мощности на измельчение зерна, Вт.

Конструктивно-технологическая схема роторной дробилки зерна для фермерских хозяйств, разработанная в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации, приведена на рисунке 1.

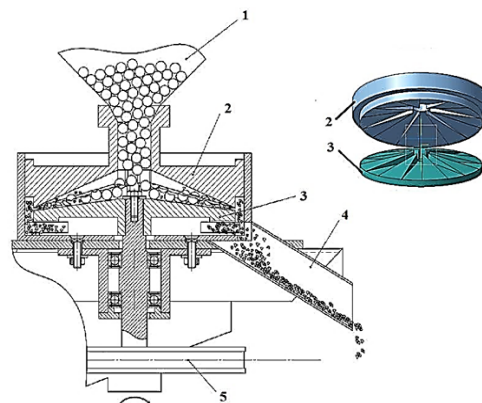


Рис. 1. Технологическая схема роторной дробилки зерна: 1 – бункер; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – сливной желоб; 5 – шкив

Роторная дробилка работает следующим образом. Зерно поступает в бункер 1, проходит через горловину и под действием центробежной силы поступает в пазы статора 2 и ротора 3, измельчается между ними. Измельченная продукция, выходя из рабочей камеры, с помощью погрузочных лопаток передается сливному желобу 4.

Испытания проводилось в соответствии с разработанной методикой с необходимыми приборами и оборудованием. В частности, при определении производительности дробилки за определенное время использовали аналитические весы ВЛКТ-500 и секундомер Агат 4295В, энергопотребление замеряли амперметром М 381Т42 и вольтметром М 381, частоту вращения электродвигателя – автотрансформатором ЛАТР-1М. Частота вращения вала замерялась тахометром ТЧ10-Р. Частота вращения вала электродвигателя регулировалась с помощью выпрямителя. За время испытаний были осуществлены замеры при различных значениях зазора рабочей камеры с изменением частоты вращения ротора. По полученным данным определены значения производительности и удельной работы дробилки зерна.

Полученные результаты и их обсуждение. Опыты были проведены на мягких сортах пшеницы (таблица).

В ходе испытаний было установлено, что с увеличением зазора δ и частоты вращения ротора n производительность дробилки зерна Q возрастает (рис. 2).

Исключение представляют случаи работы с малыми зазорами (при $\delta=0,25$ мм). При этом во всех режимах получена минималь-

ная производительность. Наблюдения за работой машины на малых зазорах ($<0,25$ мм) показали, что при этом преобладающими становятся разрушение и стирание. В результате происходит нагрев дисков ротора и статора, выделение влаги из продукта (что особенно нежелательно при повышенной влажности зерна) и, как следствие, сжатие потока на выходе и снижение производительности.

Таблица. Влияние изменения зазора рабочей камеры и частоты вращения ротора на производительность и удельную работу дробилки зерна

Значение зазора в рабочей камере δ , мм	Частота вращения ротора n , об/мин.	Производительность Q , кг/ч	Потребляемая мощность N , Вт		Удельная работа дробилки	
			общая	при дроблении	$A_{уд}$, Вт·ч/кг	$A_{уд}$, Дж/кг
0,25	750	8,02	340,00	121,82	15,10	54360
0,5		9,37	313,64	94,64	10,10	36360
1,0		15,7	330,47	11,47	7,10	25560
1,5		28,1	373,55	154,55	5,50	19800
2,0		42,91	399,22	180,22	4,20	15120
0,25	1000	11,30	431,20	158,20	14,0	50400
0,5		12,65	390,65	117,645	9,30	33490
1,0		20,00	407,00	134,00	6,70	24120
1,5		35,14	445,19	172,19	4,90	17288
2,0		59,00	473,60	200,60	3,40	12240
0,25	1500	19,37	612,12	242,12	12,50	45000
0,5		21,29	489,22	115,22	8,50	30600
1,0		32,70	471,37	101,37	5,00	18000
1,5		45,50	506,50	136,50	3,00	12600
2,0		70,0	552,00	182,00	2,6	9380
0,25	2000	23,10	643,57	190,57	8,25	29700
0,5		26,60	591,86	138,86	5,30	19080
1,0		40,60	595,10	142,10	3,50	12600
1,5		60,50	634,50	181,50	3,00	10800
2,0		91,90	639,23	196,23	1,7	6120

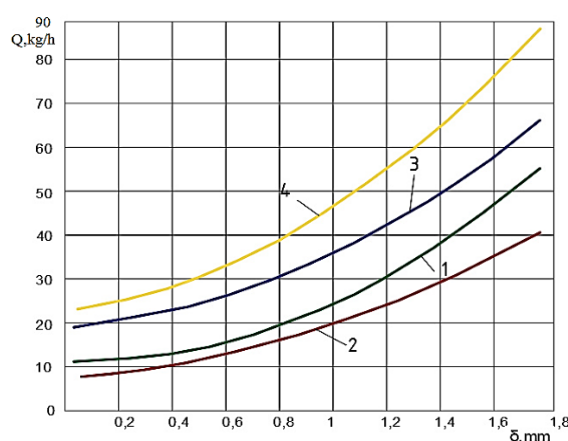


Рис. 2. Зависимость производительности Q рабочей камеры от зазора δ для пшеницы при различных скоростных режимах: 1-750 мин⁻¹; 2-1000 мин⁻¹; 3-1500 мин⁻¹; 4-2000 мин⁻¹

Характер распределения значений производительности (Q) и удельной работы (A), полученных в результате эксперимента, даст возможность предположить применение моделей $Q_m=f(\delta)$ и $A_m=f(\delta)$ в виде уравнений:

$$Q_m = a_0 + a_1 \cdot \delta + a_2 \cdot \delta^2; \quad (3)$$

$$A_m = v_0 + v_1 \cdot \delta + v_2 \cdot \delta^2. \quad (4)$$

Определены коэффициенты модели для $Q_m=f(\delta)$ производительности рабочей камеры дробилки (3). На рисунке 2 показан характер зависимости $Q_m=f(\delta)$ с нанесением точек экспериментальных значений Q для различных скоростных режимов. Отклонение кривых от точек на соответствующих сечениях, а также численные значения векторов ошибок (не более 5% на сечениях для максимальных величин ошибок) показывают хорошую сходимость теоретических моделей с экспериментом. Производительность рабочей камеры дробилки изменяется в линейной зависимости от величины зазора (5):

$$\begin{cases} Q_{1m} = -0,1030 + 18,04\delta; \\ Q_{2m} = -8,6644 + 31,75\delta; \\ Q_{3m} = -0,5185 + 25,88\delta; \\ Q_{4m} = -0,8335 + 33,96\delta. \end{cases} \quad (5)$$

Из этих уравнений видно, что наиболее быстро изменение производительности происходит при $n=2000 \text{ мин}^{-1}$, что объясняется значительным ростом центробежных сил, способствующих более быстрому движению частиц в пазах ротора. Аналогично были найдены коэффициенты для модели удельной работы измельчения (6). Однако получен-

ные ошибки ($A-A_m$) на всех режимах оказались большими, в ряде случаев достигали 10-15% (на сечениях A).

Для увеличения гибкости модели, т.е. снижения численных значений элементов вектора ошибок на каждом режиме, увеличили степень уравнения:

$$A_m = v_0 + v_1 \cdot \delta + v_2 \cdot \delta^2 + v_3 \cdot \delta^3. \quad (6)$$

В результате получена следующая система уравнений в порядке увеличения частоты вращения:

$$\begin{cases} A_{1m} = 21,43 - 21,23 \cdot \delta + 21,58 \cdot \delta^2 - 5,15 \cdot \delta^3; \\ A_{2m} = 17,72 - 28,45 \cdot \delta + 19,69 \cdot \delta^2 - 4,78 \cdot \delta^3; \\ A_{3m} = 17,75 - 24,99 \cdot \delta + 15,41 \cdot \delta^2 - 3,36 \cdot \delta^3; \\ A_{4m} = 12,51 - 23,05 \cdot \delta + 15,96 \cdot \delta^2 - 4,07 \cdot \delta^3. \end{cases} \quad (7)$$

На рисунке 3 приведен характер зависимости $A_m=f(\delta)$ от размера зазора рабочей камеры δ с нанесением значений A , полученных в результате экспериментов, в виде точек, которые наглядно представляют различие теоретических и экспериментальных значений. Дальнейшее усовершенствование модели за счет увеличения степени уравнения (6), как показали расчеты, приводит к очень медленному уменьшению максимальных ошибок.

Максимальная ошибка не превышает 9% на определенных размерах сечений, и нулевая гипотеза H_0 о соответствии моделей подтверждается экспериментальными данными при уровне значимости $\alpha=0,05$. Поэтому результаты можно считать вполне удовлетворительными.

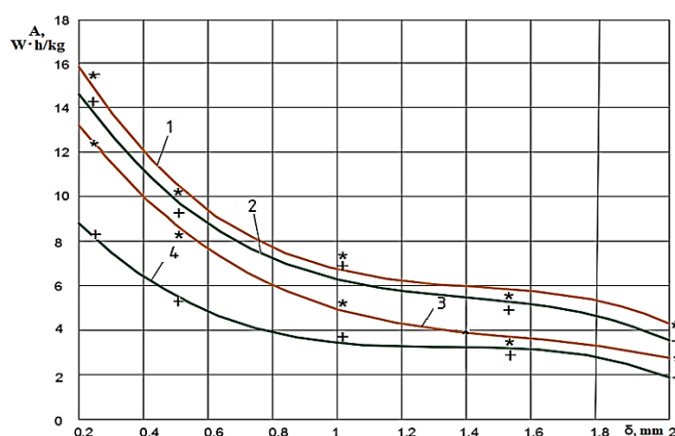


Рис. 3. Зависимость удельной работы A , необходимой для измельчения пшеничного зерна, от размера зазора рабочей камеры δ при различных режимах скорости: 1-750 мин^{-1} ; 2-1000 мин^{-1} ; 3-1500 мин^{-1} ; 4-2000 мин^{-1}

$-1,784 \cdot x + 21,43$ меняется линейно, уменьшаясь с увеличением x (здесь x – интервал между частотами вращения: 250 мин^{-1} – кривая 1; 500 мин^{-1} – кривая 2; 750 мин^{-1} – кривая 3) коэффициент η уменьшается. Для остальных коэффициентов закономерности их изменений в зависимости от частоты вращения ротора получить не удастся. Это объясняется сложностью кривых, первые производные которых носят нелинейный характер.

Быстрое уменьшение A_m в интервале $\delta = 0,25 \dots 0,8 \text{ мм}$ объясняется снижением потерь энергии на истирание и нагрев продукта на выходе из рабочей камеры. Таким образом, для получения качественной измельченной продукции с наименьшими энергетическими затратами и соответствующей зоотехническим требованиям для птиц необходимо иметь зазор в рабочей камере $1,5 \text{ мм}$. При этом производительность будет иметь максимальное значение, а потери помола практически будут отсутствовать. Это говорит о том, что качество измельченных продуктов будет отвечать зоотехническим требованиям.

Выводы. На основе анализа результатов, полученных в ходе данных экспериментов, были сделаны следующие выводы:

1. При производстве комбикормов и в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц важную роль играет использование техники дробления с хорошей производительностью, дающей качественные показатели среднего помола зерна, отвечающего физиологическим потребностям животных и птиц.

2. Производительность дробилки в рабочей камере существенно зависит от величины зазора рабочей камеры и числа оборотов ротора. Особенно быстрое повышение производительности происходит на больших числах оборотов.

3. Значение удельной работы повышается при наименьших значениях зазора рабочей камеры и меньших значениях числа оборотов ротора.

4. При дроблении зерен пшеницы для птиц и для получения большей доли каче-

тватами необходимо иметь зазор в рабочей камере дробилки $1,5 \text{ мм}$.

Литература:

1. Сорокин Н.Т., Табашников А.Т. Методика оценки экономической эффективности сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 2. С. 41-44. EDN: TOCCQB
2. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов и др. М., 2003. 456 с. EDN: PXQMHL
3. Хохрин С.Н. Кормление крупного рогатого скота, овец, коз и лошадей. СПб., 2019. 486 с. EDN: ZBINVU
4. Денисов В.А. Исследование процесса измельчения фуражного зерна в высокоскоростной центробежной дробилке и обоснование режимов её работы: автореф. дис. к.т.н. М., 1980. 23 с.
5. Золотарёв С.В. Механико-технологические основы создания ударно-центробежных измельчителей фуражного зерна: автореф. дис. д.т.н. Барнаул, 2002. 52 с. EDN: FMEORR
6. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Шамин А.Е. Результаты оценки качества измельчения зерновых дробилкой ДЗМ-6 // Вестник НГИЭИ. 2020. № 3(106). С. 21-36. EDN: GXWHWY
7. Гвоздев А.В., Ялпачик А.В. Экспериментальные исследования распределения зерна по камере дробления дробилки с вертикальным ротором // Праці таврійського державного агротехнологічного університету. 2012. Т. 12. № 3. С. 102-108. EDN: TBERPN
8. Лопатин Л.А. Сравнительные исследования процесса измельчения зерна молотковыми и дисковыми рабочими органами // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. Орел, 2018. С. 177-181. EDN: XTPBJB
9. Савиных П.А., Исупов А.Ю., Иванов И.И. Результаты исследований центробежно-роторного измельчителя зерна // Вестник НГИЭИ. 2019. № 8(99). С. 18-33. EDN: QTKUPI
10. Abdurakhmonov Sh., Alijanov D., Ismaylov Kh. Forces affecting the grain movement in the working chamber of the rotary crusher // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 614. 012110. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012110
11. Alijanov D., Abdurakhmonov Sh., Makhatov Sh. Simulation of grain movement in the working chamber // European science review. 2018. № 5-6. P. 251-257. DOI: 10.29013/ESR-18-5.6-251-257
12. Сергеев Н.С. Центробежно-роторные измельчители фуражного зерна: автореф. дис. д.т.н. Челябинск, 2008. 38 с. EDN: NJIANV
13. Достоинства и недостатки некоторых отечественных дробилок зерновых материалов / У.К. Сабиев и др. // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК. Омск, 2020. С. 249-255. EDN: NJFUVF

14. Thomas M., Hendriks W., Poel A. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding // *Animal Feed Science and Technology*. 2018. Vol. 240. P. 11-21. DOI: 10.1016/J.ANIFEEDSCI.2018.03.010

Literature:

1. Sorokin N.T., Tabashnikov A.T. Methodology for the agricultural machinery's economic efficiency assessing // *Agricultural machinery and technology*. 2015. No. 2. P. 41-44. EDN: TOCCQB
2. Norms and rations of farm animals' feeding / A.P. Kalashnikov, V.I. Fisinin, V.V. Shcheglov et al. M., 2003. 456 p. EDN: PXQMHL
3. Khokhrin S.N. Feeding of cattle, sheep, goats and horses. St. Petersburg, 2019. 486 p. EDN: ZBIHVU
4. Denisov V.A. Investigation of feed grain crushing in a high-speed centrifugal crusher and justification its modes' operating: candidate of technical sciences dissertation's abstract. Moscow, 1980. 23 p.
5. Zolotarev S.V. The mechanical-and-technological foundations of impact of centrifugal feed grain grinders' creating: doctor of technical sciences dissertation's abstract. Barnaul, 2002. 52 p. EDN: FMEORR
6. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Shamin A.E. The grain crushing quality results with the DZM-6 crusher's assessing // *Vestnik of NGIEI*. 2020. No. 3(106). P. 21-36. EDN: GXWHWY
7. Gvozdev A.V., Yalpachik A.V. Experimental studies of grain distribution in the crusher's grinding chamber with a vertical rotor // *Праці таврійського державного агро-*

технологічного університету. 2012. Т. 12. № 3. С. 102-108. EDN: TBERPN

8. Lopatin L.A. Comparative studies of the grain by hammer and disc's working bodies grinding // *Resource-and-saving technologies in the agricultural products' storage*. Orel, 2018. P.177-181. EDN: XTPBJB

9. Savinykh P.A., Isupov A.Yu., Ivanov I.I. Research results of a centrifugal rotary grain shredder // *Vestnik of NGIEI*. 2019. No. 8(99). P. 18-33. EDN: QTKUPI

10. Abdurakhmonov Sh., Alijanov D., Ismaylov Kh. Forces affecting the grain movement in the working chamber of the rotary crusher // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 614. 012110. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012110

11. Alijanov D., Abdurakhmonov Sh., Makhatov Sh. Simulation of grain movement in the working chamber // *European science review*. 2018. № 5-6. P. 251-257. DOI: 10.29013/ESR-18-5.6-251-257

12. Sergeev N.S. Centrifugal-and-rotary shredders of forage grain: doctor of technical sciences dissertation's abstract. Chelyabinsk, 2008. 38 p. EDN: NJIANV

13. Advantages and disadvantages of some grain materials' domestic crushers / U.K. Sabiev et al. // *The role of students' research work in the APK development*. Omsk, 2020. P. 249-255. EDN: NJFUVD

14. Thomas M., Hendriks W., Poel A. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding // *Animal Feed Science and Technology*. 2018. Vol. 240. P. 11-21. DOI: 10.1016/J.ANIFEEDSCI.2018.03.010

Заявлений вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Claimed contribution of the authors: all authors had made an equivalent contribution to this publication preparation.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию / The article was received by the editorial office on **25.03.2025**

Статья принята к публикации / The article was accepted for publication on **26.05.2025**

