

rastitelnykh materialov / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 8 (226). – S. 70-77. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-226-8-70-77.

3. Bagaev, A.A. Rezultaty eksperimentalnogo issledovaniia polarizatsionnykh kharakteristik stenki stebliia kormovykh trav / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 9 (227). – S. 85-90. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-227-9-85-90.

4. Bagaev, A.A. Garmonicheskii analiz ostsilogramm elektricheskogo toka cherez stenku stebliia kormovykh trav / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 11 (229). – S. 83-88. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-229-11-83-88.

5. Bagaev, A.A. Matematicheskaiia model raspredeleniia kontsentratsii tokoperenosiashego iona na poverkhnosti stenki stebliia rastitelnykh materialov v protsessakh elektroosmoticheskogo obezvozhivaniia / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023.

– No. 12 (230). – S. 72-76. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-230-12-72-76.

6. Bagaev, A.A. Elektricheskaiia ekvivalentnaiia skhema zameshcheniia stenki stebliia rastitelnykh materialov v protsessakh elektroosmoticheskogo obezvozhivaniia / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 1 (231). – S. 83-91. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-231-1-83-91.

7. Bagaev, A.A. Ventilnyi effekt perenosa vlagi cherez stenku stebliia kormovykh trav / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 3 (233). – S. 68-74. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-233-3-68-74.

8. Bagaev A.A. i dr. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki: uchebnik dlia vuzov / A.A. Bagaev, L.V. Kulikova, E.V. Kuzmin, V.N. Larionov, V.D. Mikheev, O.K. Nikolskii. – Barnaul: GIPP Altai, 2000. – 772 s.

9. Grafov B.M., Ukshe E.A. Elektrokhimicheskie tsepi peremennogo toka. – Moskva: Nauka, 1973. – 128 s.



УДК 631.3

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-242-12-72-77

С.Ю. Булатов, В.Н. Нечаев, А.Г. Сергеев, А.Е. Шлыков

S.Yu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.G. Sergeev, A.E. Shlykov

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА ДКР-1 В РЕЖИМЕ ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА

EVALUATION OF PERFORMANCE OF UPGRADED DKR-1 GRAIN HAMMER CRUSHER IN METERED MATERIAL SUPPLY MODE

Ключевые слова: дозатор, дробилка, зерно, измельчение, исследование, окно, подача, показатели работы, пылевидная фракция, энергозатраты.

Зерно является одним из самых важных ингредиентов в рационе сельскохозяйственных животных и птицы. Нормативными документами регламентирована его предварительная правильная подготовка перед скармливанием. В России в отличие от стран Европы и Америки зерно измельчают в дробилках. При этом подача зерна реализуется либо транспортирующими машинами непосредственно в дробилки с принудительной подачей, либо за счет разреженного воздуха по воздуховодам непосредственно из бурта. В современных комбикормовых цехах зерно хранится в силосах и подается к дробилкам через дозаторы посредством транспортирующих машин. Нами предлагается упростить конструкцию, исключив из цепочки транспортирующее оборудование, и подавать зерно из дозатора непосред-

ственно в воздуховод дробилки с вентилятором. Однако такие дробилки обладают высокими энергозатратами, а в готовом продукте содержится большое количество пылевидной фракции. Нами выдвинута гипотеза, что улучшить данные показатели можно за счет совершенствования конструкции дробилки путем выполнения в зарешетном пространстве дополнительных выгрузных окон. Целью работы является исследование влияния площади разгрузочных зарешетных окон на показатели работы молотковой дробилки при дозированной подаче материала. Исследовали влияние площади разгрузочных зарешетных окон, выполненных в перегородке дробилки, разделяющей ротор и вентилятор, и предназначенных для эвакуации измельченного продукта из дробилки. Определялись энергетические и качественные показатели дробилки при постоянной подаче зерна ячменя через дозатор. В результате проведенных исследований процесса измельчения зерна при его дозированной подаче в дробилке ДКР-1 выяв-

лено, что наличие выгрузных окон позволяет снизить энергозатраты при использовании решет с отверстиями 5 и 6 мм на 15%. Изменяя площадь выгрузных окон, можно изменять качественные показатели измельченного зерна. В частности, наличие окон позволяет снизить в 2 раза количество пылевидной фракции в готовом продукте.

Keywords: *dispenser, crusher, grains, grinding, research, window, feed, performance indicators, pulverized fraction, energy consumption.*

Grain is one of the most important ingredients in the diets of farm animals and poultry. The reference documents regulate its preliminary proper preparation before feeding. In Russia, unlike in Europe and America, grain is crushed in crushers. In this case, grain supply is performed either by transporting machines directly into the crushers with forced feeding, or by using rarefied air through air ducts directly from the heap. In modern feed mills, grain is stored in silos and fed to crushers through dispensers by means of conveying machines. We propose to simplify the design by excluding the transporting equipment from the chain and

feeding grain from the dispenser directly into the air duct of the crusher with a fan. However, such crushers have high energy consumption, and the finished product contains a large amount of pulverized fractions. We hypothesized that these indices may be improved by upgrading the design of the crusher by performing additional discharge windows in the grated space. Therefore, the research goal is to study the effect of the area of unloading barred windows on the performance of a hammer crusher with metered material supply. The influence of the area of unloading barred windows made in the partition of the crusher separating the rotor and the fan, and designed to evacuate the crushed product from the crusher was investigated. The energy and quality indices of the crusher were determined with constant supply of barley grain through a dispenser. As a result of the conducted studies of the grain grinding process with its dosed supply in the DKR-1 crusher, it was found that the presence of discharge windows reduced energy consumption when using sieves with holes of 5 and 6 mm by 15%. By changing the area of the unloading windows, you can change the quality indices of the crushed grain. In particular, the presence of windows allows reducing the amount of dust fraction in the finished product 2 times.

Булатов Сергей Юрьевич, д.т.н., доцент, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru.

Нечаев Владимир Николаевич, к.т.н., доцент, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: nechaev-v@list.ru.

Сергеев Александр Георгиевич, к.т.н., ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: office@ukdoza.com.

Шлыков Алексей Евгеньевич, ст. преподаватель, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: leshaoitrm@mail.ru.

Bulatov Sergey Yurevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru.

Nechaev Vladimir Nikolaevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: nechaev-v@list.ru.

Sergeev Aleksandr Georgievich, Cand. Tech. Sci., ООО «Doza-Agro», Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: office@ukdoza.com.

Shlykov Aleksey Evgenevich, Asst. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: leshaoitrm@mail.ru.

Введение

Зерно является одним из самых важных ингредиентов в рационе сельскохозяйственных животных и птицы [1-3]. Нормативными документами регламентирована его предварительная правильная подготовка перед скармливанием. В основном зерно скармливают в сухом измельченном виде, т.к., например, КРС не способны пережевать цельное зерно [4]. В России в отличие от стран Европы и Америки зерно измельчают в дробилках. При этом подача зерна реализуется либо транспортирующими машинами непосредственно в дробилки с принудительной подачей, либо за счет разреженного

воздуха по воздуховодам непосредственно из бурта [5, 6]. В современных комбикормовых цехах зерно хранится в силосах и подается к дробилкам через дозаторы посредством транспортирующих машин. Нами предлагается упростить конструкцию, исключив из цепочки транспортирующее оборудование, и подавать зерно из дозатора непосредственно в воздуховод дробилки с вентилятором. Однако такие дробилки обладают высокими энергозатратами, а в готовом продукте содержится большое количество пылевидной фракции, отрицательно сказывающейся на здоровье животных [7, 8]. Нами выдвинута гипотеза, что улучшить данные показа-

тели можно за счет совершенствования конструкции дробилки путем выполнения в зарешетном пространстве дополнительных выгрузных окон. **Целью** работы является исследование влияния площади разгрузочных зарешетных окон на показатели работы молотковой дробилки при дозированной подаче материала.

Задачи исследования:

- определить энергетические показатели работы усовершенствованной дробилки ДКР-1 при дозированной подаче материала;
- провести оценку качества измельченного зерна.

Объектом исследования является процесс измельчения зерна усовершенствованной дробилкой ДКР-1. Схема и общий вид лабораторной установки представлены на рисунке 1. В отличие от аналогов усовершенствованная дробилка обладает меньшими энергозатратами.

Материалы и методы исследований

Испытание дробилок проводилось в научно-производственной лаборатории ГБОУ ВО НГИЭУ в составе линии гранулирования комбикорма ЛПКГ-0,9 (рис. 1). Особенностью дробилки является наличие разгрузочных окон 8. Традиционно измельченное зерно проходит через решето 3, попадая в эвакуационную камеру 5, через нижнее окно 7 и вентилятор 4. Установка разгрузочных окон 8 позволяет перераспределить поток воздуха. Часть проходит через окно 7, часть через окна 8. Для исключения забивания эвакуационной камеры 6 выполнены дополнительные окна 5. Воздух, проходя через них, забирает измельченный материал, очищая камеру 5. Часть воздуха, проходящего через подсасывающие отверстия и далее под перегородкой, начинает перемещаться через периферийные окна, что приводит к нарушению процесса вывода измельченного зерна, частичному перекрытию подсасывающих отверстий и, как следствие, росту энергозатрат. Проведены исследования, направленные на изучение влияния разгрузочных окон 8 на рабочие показатели дробилки.

Опытная установка состояла из дозатора 1, который осуществлял дозированную подачу зерна в воздуховод 2, непосредственно исследуемой дробилки 3 и смесителя-осадителя 4 для измельченного зерна (рис. 2).

Исследовали влияние площади разгрузочных зарешетных окон, выполненных в перегородке дробилки, разделяющей ротор и вентилятор, и

предназначенных для эвакуации измельченного продукта из дробилки. Изменение площади окон осуществлялось перемещением перекрывающего кольца.

Определялись энергетические и качественные показатели дробилки при постоянной подаче зерна ячменя через дозатор. Для этого предварительно было установлено максимальное значение подачи зерна дозатором: при измельчении зерна на решетках с диаметром отверстий 5 и 6 мм – 1000 кг/ч, при 4 мм – 675 кг/ч. При проведении эксперимента подача изменялась с пульта управления дозатором.

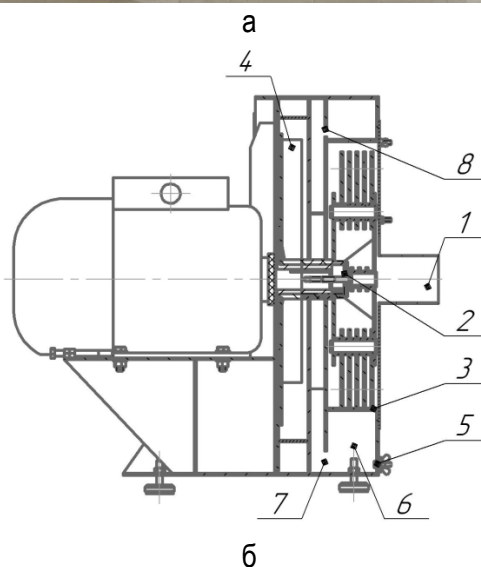


Рис. 1. Исследуемая дробилка:
 а – в составе линии приготовления комбикормов; б – схема:
 1 – всасывающий патрубок, 2 – ротор, 3 – решето, 4 – вентилятор, 5 – окна для дополнительной подачи воздуха; 6 – эвакуационная камера, 7 – нижнее окно, 8 – разгрузочные окна

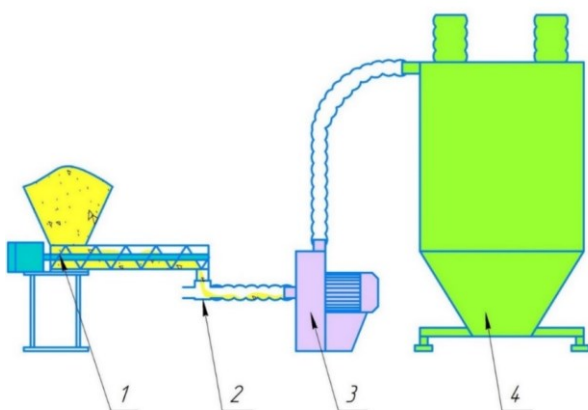


Рис. 2. Схема лабораторной установки:
1 – дозатор шнековый; 2 – воздушный тройник;
3 – дробилка; 4 – смеситель

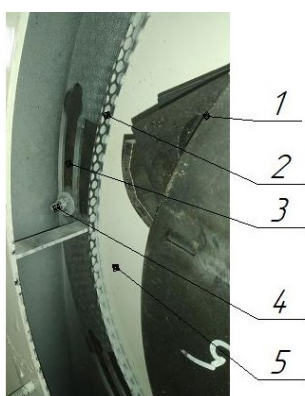


Рис. 3. Разгрузочные окна в стенке дробилки:
1 – ротор; 2 – элемент решета;
3 – перекрывающее кольцо;
4 – фиксатор перекрывающего кольца;
5 – перегородка камеры измельчения

Опыты проводили в следующей последовательности. На дробилках устанавливали необходимые значения исследуемых параметров, с пульта управления дозатором задавали нужную частоту вращения шнека, тем самым, устанавливая необходимую подачу зерна, включали дробилку. При выходе дробилки на номинальный режим работы проводили замеры потребляемой мощности и отбирали пробы измельченного зерна через пробоотборник, установленный на выгрузном патрубке дробилки. После реализации опыта меняли настроечные параметры и вновь проводили замеры и отбор проб.

После проведения экспериментов осуществлялись расчет удельных энергозатрат, и оценка качественных показатели готового продукта по требованиям ГОСТ 18221-2018 Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Общие технические условия, ГОСТ Р 51550-2000 Комбикорма-концентраты для свиней. Общие технические условия и ГОСТ 9268-

2015 Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия.

Для определения гранулометрического состава на лабораторном сее РЛ в течение 5 мин. проводился сев навески готового продукта массой 100 г, взятой из пробы. В набор для сева входили сита с диаметрами отверстий 3; 2,5; 2; 1,4; 1; 0,5; 0,315; 0,2; 0,1 мм и дно. После сева навески остатки на ситах взвешивались на весах ВК-300 с точностью до 0,01 г. Результаты сева заносились в таблицы, по которым строились графики. Для более точного определения состава дерти сев проводился в трехкратной повторности.

Результаты исследования и их обсуждение

Энергетические показатели работы дробилки приведены на рисунке 4. Необходимо отметить, что наибольшие удельные энергозатраты наблюдаются при измельчении на базовом варианте дробилки с решетом, диаметр отверстий которого минимален (4 мм) – 13,58 кВт·ч/т. С увеличением диаметра отверстий решета до 6 мм удельные энергозатраты снижаются до 10,85 кВт·ч/т. При этом полная потребляемая электродвигателем мощность не превышает установленной.

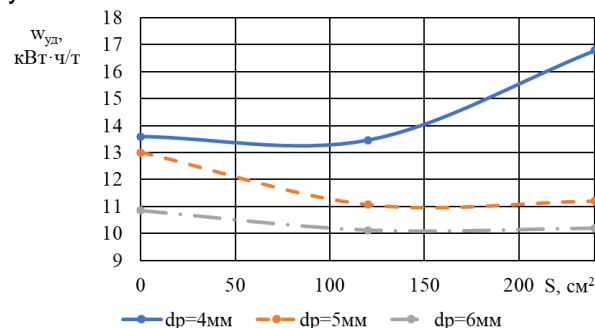


Рис. 4. Влияние площади разгрузочных окон на удельные энергозатраты

Наличие окон существенным образом влияет на энергетические показатели при измельчении зерна. Причем в случае измельчения зерна на решетках с диаметрами отверстий 5 и 6 мм с увеличением площади окон наблюдалось снижение удельных энергозатрат до 15% (при dp=5 мм) (рис. 4). Данный эффект объясняется своевременным выводом измельченного зерна за счет создания дополнительного потока воздуха по периферии решета. Решето с диаметрами отверстий 4 мм обладает меньшим живым сечением, чем решета с большими диаметрами отверстий. Это приводит к резкому снижению его

пропускной способности как измельченного зерна, так и воздуха. С увеличением площади разгрузочных окон количество перемещаемого воздуха через решето возрастает, однако в случае с решетом, диаметр отверстий которого 4 мм, значительное количество воздуха проходит через разгрузочные окна. Воздуха, генерируемого ротором, становится недостаточно, поэтому часть воздуха, проходящего через дополнительные отверстия 5 и через нижнее окно 7 (рис. 1 б), начинает перемещаться через разгрузочные окна 8, что приводит к нарушению процесса вывода измельченного зерна, частичному перекрытию дополнительных отверстий 5 и, как следствие, росту энергозатрат.

Анализ дерти, полученной на серийно выпускаемой дробилке ДКР-1, показал, что содержание пыли на решетке с отверстиями диаметром 6 мм составляет 4,8%, 5 мм – 13,6%, 4 мм – 7,42%. Количество целых зерен на решетке с отверстиями диаметром 6 мм не превышало 0,2%, 5 мм – 0,15%, 4 мм – 0%. Средневзвешенный размер частиц дерти при этом составлял на решетке с

диаметром отверстий 6 мм – 1,39 мм, 5 мм – 1,12 мм, 4 мм – 1,05 мм. На серийной дробилке ДКР-1 при подаче зерна через дозатор, исходя из условия максимальной производительности, можно получить дерть, соответствующую требованиям ГОСТ, практически для всех групп животных кроме молодняка кур в возрасте 1-7 недель, бройлеров в возрасте 1-4 недель и молодняка КРС 10-75 дней. Качественные показатели готового продукта, полученного на усовершенствованной дробилке, приведены в таблице. Целые зерна отсутствуют в дерти, полученной на решетке с диаметром отверстий 4 мм, а также 5 мм при открытых выгрузных окнах. При использовании решет с диаметром 4 мм наблюдается увеличение степени измельчения, что свидетельствует об ухудшении условий вывода измельченного продукта из камеры измельчения. С увеличением диаметра отверстий решета картина меняется в противоположную сторону, и с увеличением площади окон степень измельчения уменьшается, помол получается более грубым (табл.).

Таблица

Сравнительные показатели качества

Показатели	d ₀ = 4 мм			d ₀ = 5 мм			d ₀ = 6 мм		
	S=0	S=50%	S=100%	S=0	S=50%	S=100%	S=0	S=50%	S=100%
Количество целых зерен m _{цз} , %	0	0	0	0,15	0	0	0,2	0,07	0,07
Количество пылевидной фракции m _{цв} , %	5,15	3,44	6,04	13,55	5,79	5,6	4,8	3,74	2,32
Остаток на сите с отверстиями 3 мм m _з , %	1,06	0,37	0,15	1,49	1,97	1,69	4,33	3,57	3,79
Остаток на сите с отверстиями 2 мм m ₂ , %	8,36	5,6	2,5	8,09	9,05	8,65	14,43	12,58	15,45
Средневзвешенный размер дерти d _{ср} , мм	1,16	1,12	0,99	1,12	1,2	1,18	1,39	1,34	1,45
Степень измельчения λ	3,81	3,93	4,45	3,91	3,66	3,71	3,16	3,28	3,04

Из анализа состава измельченного зерна следует, что использование окон в стенке ведет к снижению содержания пылевидной фракции более, чем в два раза. Однако существенного влияния на критерии ГОСТ не оказывает, и по ним измельченное зерно идентично тому, что получено на серийной дробилке.

Заключение

1. В результате проведенных исследований процесса измельчения зерна при его дозированной подаче в дробилке ДКР-1 выявлено, что наличие выгрузных окон позволяет снизить

энергозатраты при использовании решет с отверстиями 5 и 6 мм на 15%.

2. Изменяя площадь выгрузных окон, можно изменять качественные показатели измельченного зерна. В частности, наличие окон позволяет снизить в 2 раза количество пылевидной фракции в готовом продукте.

Библиографический список

1. Nikkha A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *J Anim Sci Biotechnol.* 3 (1): 22. DOI: 10.1186/2049-1891-3-22.

2. Restle, J., Faturi, C., Pascoal, L. L., et al. (2009). Processing oats grain for cull cows finished in feedlot. *Brazilian Animal Science / Ciência Animal Brasileira*, 10 (2), 497–503. <https://doi.org/10.5216/cab.v10i2.3877>

3. Black, J.L., Tredrea, A.M., Nielsen, S.G., et al. (2005). Feed uses for barley. Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium, Hobart, Tasmania.

4. Valentine, S.C., Wickes, R.B. (1980). The production and composition of milk from dairy cows fed hay supplemented with whole, rolled or alkali treated barley grain. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 13, 397–400.

5. Булатов, С. Ю. Результаты исследований рабочего процесса системы загрузки и очистки фуражного зерна малогабаритного комбикормового агрегата: монография / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев. – Княгинино, 2012. – 140 с. – Текст: непосредственный.

6. Оценка рабочего процесса комбикормового оборудования ООО "ДОЗА-АГРО" по показателям качества кормов / А. Г. Сергеев, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Е. Шамин. – Текст: непосредственный // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 54-64.

7. Обоснование направления совершенствования конструкций дробилок зерна / В. Е. Чуйков, В. В. Коновалов, М. В. Донцова, С. С. Петрова – Текст: непосредственный // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 45-55.

8. Ширококов, В. И. Анализ качества измельченного зерна при использовании дробилок открытого и закрытого типов / В. И. Ширококов, О. С. Фёдоров, А. Г. Ипатов. – Текст: непосредственный // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2 (58). – С. 69-74.

References

1. Nikkhah A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *J Anim Sci Biotechnol.* 3 (1): 22. DOI: 10.1186/2049-1891-3-22.

2. Restle, J., Faturi, C., Pascoal, L. L., et al. (2009). Processing oats grain for cull cows finished in feedlot. *Brazilian Animal Science / Ciência Animal Brasileira*, 10 (2), 497–503. <https://doi.org/10.5216/cab.v10i2.3877>

3. Black, J.L., Tredrea, A.M., Nielsen, S.G., et al. (2005). Feed uses for barley. Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium, Hobart, Tasmania.

4. Valentine, S.C., Wickes, R.B. (1980). The production and composition of milk from dairy cows fed hay supplemented with whole, rolled or alkali treated barley grain. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 13, 397–400.

5. Bulatov, S.Iu., Nechaev, V.N. Rezultaty issledovaniia rabochego protsesssa sistemy zagruzki i ochistki furazhnogo zerna malogabaritnogo kombikormovogo agregata: monografiia / S.Iu. Bulatov, V.N. Nechaev. – Kniaginino, 2012. – 140 s.

6. Sergeev, A.G., Bulatov, S.Iu., Nechaev, V.N., Shamin, A.E. Otsenka rabochego protsesssa kombikormovogo oborudovaniia ООО "DOZA-AGRO" po pokazateliyam kachestva kormov / A.G. Sergeev, S.Iu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.E. Shamin // Kormlenie selskokhoziaistvennykh zhiivotnykh i kormoproizvodstvo. – 2020. – No. 2. – S. 54-64.

7. Chuikov, V.E., Konovalov, V.V., Dontsova, M.V., Petrova, S.S. Obosnovanie napravleniia sovershenstvovaniia konstruktсии drobilok zerna / V.E. Chuikov, V.V. Konovalov, M.V. Dontsova, S.S. Petrova // Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii. – 2023. – No. 3. – S. 45-55.

8. Shirobokov, V.I., Fedorov, O.S., Ipatov, A.G. Analiz kachestva izmelchennogo zerna pri ispolzovanii drobilok otkrytogo i zakrytogo tipov / V.I. Shirobokov, O.S. Fedorov, A.G. Ipatov // Vestnik Izhevskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii. – 2019. – No. 2 (58). – S. 69-74.

