

DOI
УДК 631.363.21

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА
Б. М. Сабилов, Б. Г. Зиганшин, А. В. Дмитриев, И. Р. Нафиков, Р. Р. Сабилова

Реферат. Качество производимых кормов для крупного рогатого скота – один из основных факторов, влияющих на эффективность его содержания. Качество получаемого корма во многом зависит от конструктивных особенностей оборудования, в частности дробилок. Цель исследования – оценка эффективности разработанного устройства для дробления зерна, в сравнении с существующими дробилками (УД-200). Для измельчения зерна разработана экспериментальная установка с лопастными дисками. Ее отличительная особенность заключается в том, что в рабочей камере происходит вращение двух дисков диаметром 142 и 200 мм с лопастями. Устройство позволяет перерабатывать зерно с повышенной влажностью. При использовании существующих дробилок (УД-200) мелкий помол зерна возможен при влажности не более 12,6%, экспериментальной установки – 12,9%. Для получения среднего помола влажность зерна может варьировать соответственно от 12,6% до 13,6% и от 12,9% до 14,1%. При влажности зерна 9,8% наименьшие затраты энергии на дробление отмечены при использовании экспериментальной установки (5,3 Дж/кг), у дробилки УД-200 они достигали 6,9 Дж/кг, что на 1,6 Дж/кг больше. При влажности зерна 14,1% удельная энергоёмкость в варианте с экспериментальной установкой снижалась до 8 Дж/кг при 9 Дж/кг у УД-200. Использование дробилки с лопастными дисками обеспечивает более качественное измельчение корма, предназначенного для крупного рогатого скота и снижает затраты на реализацию этого процесса.

Ключевые слова: зерно, влажность, дробление, модуль помола, энергоёмкость, энергия, энергосбережение.

Введение. В последние несколько лет животноводческая отрасль развивается быстрыми темпами, что приводит к увеличению потребности в качественных кормах для сельскохозяйственных животных.

На сегодняшний день в небольших сельскохозяйственных предприятиях, занимающихся животноводством, все больше распространение получает технология производства кормов с использованием малогабаритного оборудования [1, 2]. Наличие такого оборудования непосредственно в хозяйствах дает возможность значительно сократить расходы на логистику и в кратчайшие сроки производить готовый к употреблению животными измельченный корм.

Малогабаритное оборудование отличается малой энергоёмкостью, металлоёмкостью, компактными размерами и небольшим сроком окупаемости [3]. Существующие дробилки разделяются на молотковые, роторные, жерновые дисковые, конусные.

Они различаются по таким технологическим признакам, как тип рабочих органов, установленная мощность, технологическое назначение, эксплуатационные характеристики [4].

Дробление зерна – наиболее энергозатратный процесс при приготовлении кормов, поэтому актуальна разработка новых установок для его реализации, обеспечивающих высокую производительность и эффективность с низкими затратами электроэнергии.

При характеристике процесса дробления учитывают такие основные параметры, как степень измельчения, модуль помола измельченного продукта и удельная энергоёмкость [5, 6, 7]. На степень измельчения в роторных дробилках влияют такие факторы, как расстояние между дисками, профиль

дробильной камеры, скорость лопастных дисков, месторасположение окна для выхода зерна, влажность исходного материала, время пребывания материала в рабочей камере и др. [8, 9].

Цель исследования – оценка эффективности разработанного устройства для дробления зерна, в сравнении с существующими дробилками (УД-200).

Основные задачи исследования – изучение влияния различных конструктивных и технологических параметров дробилки на степень измельчения λ (мм), модуль помола M (мм) и удельную энергоёмкость процесса дробления E (Дж/кг).

Условия, материалы и методы. Исследования проводили на разработанном в Казанском ГАУ устройстве для дробления зерна с лопастными дисками (Патент РФ № 2667098), для сравнения использовали дробилку УД-200 с рабочим ударным ножом.

Устройство для дробления зерна включает опору с закрепленной на ней загрузочной тарой, направляющий канал, ситовую обечайку в форме усеченного конуса, отражательный элемент, электромотор, установленный на опоре вала привода с верхним и нижним диском [10, 11].

Верхний и нижний диски служат для разгона зерна и подачи его на ситовую обечайку, а лопасти, установленные на дисках, обеспечивают придание зерну максимального ускорения. Направляющий канал загрузочной тары предназначен для подачи зерна непосредственно в центральную часть первого диска, а конструкция ситовой обечайки в виде усеченного конуса обеспечивает отскок зерна после первого удара на второй диск, который разгоняет зерно для удара о ситовую обечайку для окончательного дробления [12, 13].

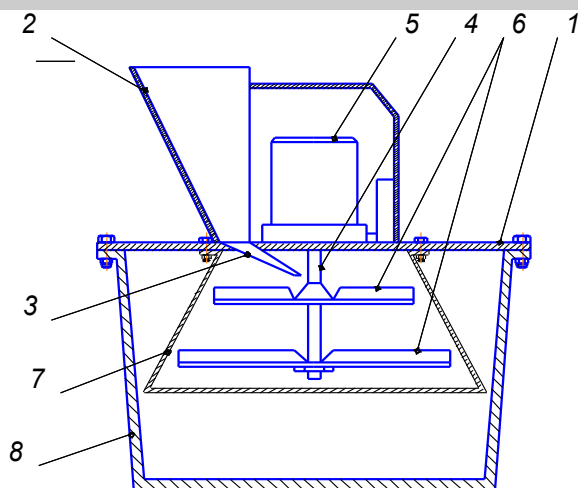


Рис. 1 – Устройство для дробления зерна: 1 – опора; 2 – загрузочная тара; 3 – направляющий канал; 4 – вал привода; 5 – электромотор; 6 – диски; 7 – обечайка ситовая; 8 – отражательный элемент

Важной отличительной особенностью разработанной дробилки можно считать то, что в рабочей камере происходит вращение двух дисков с лопастями, которые имеют разные геометрические параметры, их диаметры равны 142 и 200 мм. Для эксперимента отбирали партию зерна пшеницы массой 1 кг влажностью от 9,8 до 14,1%. Степень измельчения и модуль помола определяли на ситовом классификаторе (вибропривод ВП-30Т). Массу навески с измельченным продуктом (сита) измеряли на весах электронных настольных ВК-600 [14]. Удельную энергоёмкость определяли с помощью измерительного комплекта К-50 с трансформатором тока И-520.

Для определения модуля помола использовали металлические сита с четырьмя размерами отверстий – 0 мм (дно классификатора); 1,0 мм; 2,0 мм; 3,0 мм. Устройство устанавливали на ровную поверхность, подключали к электропитанию, монтировали необходимое количество сит, засыпали зерно и закрепляли с двух сторон горизонтальной планкой. После этого запускали устройство на 2 минуты [15, 16].

Тонкость помола (мм) оценивали по средневзвешенному диаметру частиц (модулю) в соответствии с ГОСТ 8770-58 по формуле:

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

Таблица 1 – Масса дробленого продукта в каждой навеске (сите), г

Размер сита, мм	Разработанное устройство	Существующий аналог (УД-200)
Дно классификатора	2,1	1,8
Менее 1 мм	7,3	1,0
От 1 до 2 мм	18,9	6,1
От 2 до 3 мм	61,2	70,7
Более 3 мм	10,5	20,4
Итого	100	100

Результаты и обсуждение. Разработанная дробилка с лопастными дисками обеспечивала более тонкий помол. Масса самой мелкой фракции (менее 1 мм) при ее

где G_0 – масса навески на дне классификатора, г; G_1, G_2, G_3 – масса навесок на ситах с соответствующими отверстиями, г.

Помол считали тонким при $M=0,2...1$ мм; средним при $M=1...1,8$ мм; крупным при $M=1,8...2,6$ мм [17].

Для определения степени измельчения зерна, использовали выражение:

$$\lambda = \frac{D_{\Sigma}}{d_{CP}}, \quad (2)$$

где D_{Σ} – средневзвешенный диаметр частиц (модуль) измельченного зерна, мм; d_{CP} – диаметр шара объемом, равным объему одной зерновки, называемый эквивалентным диаметром зерна, мм.

Расход полезной энергии на образование единицы новой поверхности рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{P_D - P_{XX}}{Q \Delta S} \quad (3)$$

где A – удельный расход энергии, Дж/м²; P_D – мощность на валу ротора дробилки при дроблении, Вт; P_{XX} – мощность холостого хода дробилки, Вт; ΔS – приращение удельной площади поверхности, м²/кг; Q – производительность дробилки, кг/ч.

использовании была больше, чем при дроблении на УД-200, на 6,3 г, средней – на 12,8 г (табл. 1).

На УД-200 мелкий помол возможен при

влажности зерна не более 12,6%, а при использовании устройства с лопастными дисками – до 12,9%.

Для получения среднего помола она может варьировать соответственно от 12,6%

до 13,6% и от 12,9% до 14,1% (рис. 2). Возможность использования экспериментальной дробилки при большей исходной влажности зерна обеспечивает снижение затрат энергии на его дополнительную сушку [18].

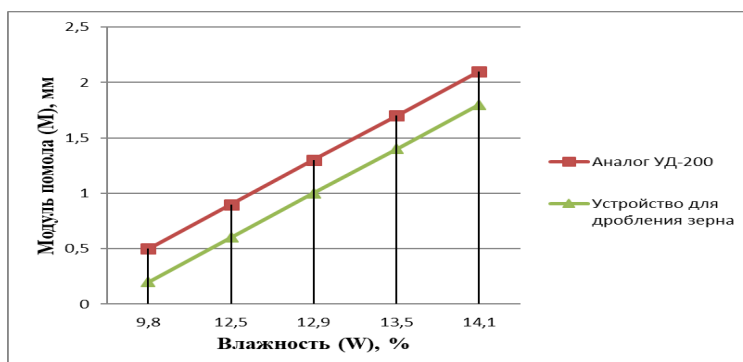


Рис. 2 – Модуль помола в зависимости от влажности зерна

При влажности зерна 14,1 % максимальная степень измельчения на УД-200 составила 2,6 мм, а при использовании устройства с лопастными дисками получили

более мелкий помол, степень его измельчения составила 2,1 мм, что на 0,5 мм меньше, чем при использовании традиционных дробилок (рис. 3).

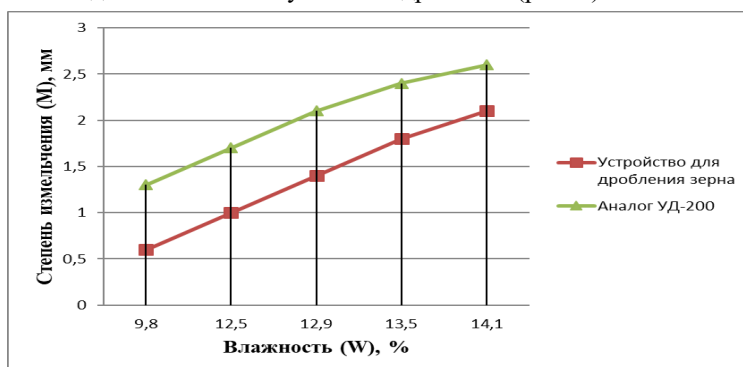


Рис. 3 – Степень измельчения в зависимости от влажности зерна

При повышении влажности зерна возрастают затраты энергии на измельчение зерна [19, 20]. При влажности зерна 9,8% и использовании экспериментальной установки они составили 5,3 Дж/кг, в варианте с УД-200 – 6,9 Дж/кг, что на 1,6 Дж/кг меньше.

При повышении влажности зерна до 14,1% удельная энергоёмкость увеличивалась соответственно до 8 и 9 Дж/кг. Отмеченное снижение затрат энергии на дробление зерна можно отнести одному из преимуществ разработанного устройства (рис. 4).

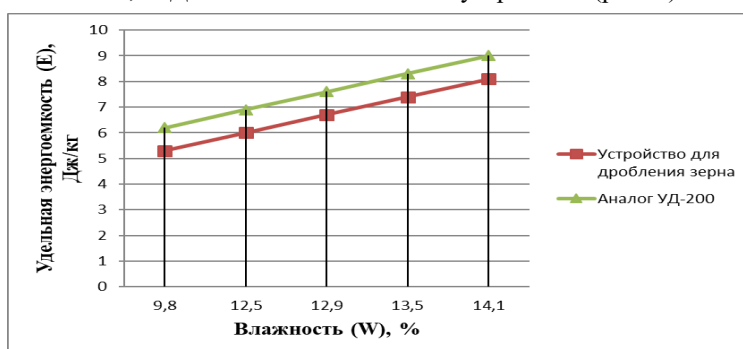


Рис. 4 – Удельная энергоёмкость в зависимости от влажности зерна

Выводы. Использование экспериментальной установки с лопастными дисками обеспечило снижение максимального модуля помола, по сравнению с существующим аналогом (УД-200), на 0,2 мм, максимальной степени измельчения – на 0,5 мм, удельного

расхода энергии – на 0,9 Дж/кг. Разработанное устройство в сравнении с аналогом УД-200 обеспечивает в совокупности и получение более качественного, измельченного корма, предназначенного для непосредственного скармливания крупному рогатому скоту.

Литература

1. Современное состояние зернового производства в Российской Федерации / Д. И. Файзрахманов, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 138–142.
2. Определение рабочей площади торцевых решет дробилки зерна с увеличенной сепарирующей поверхностью / Б. Г. Зиганшин, С. Ю. Булатов, К. Е. Миронов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2(58). С. 87–91.
3. Исследование движения воздушно-зерновой смеси в рабочей зоне семенорушки аэромеханического типа / Д. Т. Халиуллин, А. В. Дмитриев, Р. Н. Хафизов и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4(63). С. 27–37.
4. Невзоров В. Н., Мацкевич И. В., Храмовских Н. А., Янова М. А. Устройство для дробления зерна. Патент РФ № 2742055, 02.02.2021.
5. Зиганшин Б. Г., Дмитриев А. В., Сабиров Б.М. Устройство для дробления зерна. Патент РФ № 2667098, 14.09.2018.
6. Mathematical modeling of the grain trajectory in the workspace of the sheller with rotating decks / R. I. Ibyatov, A. V. Dmitriev, B. G. Ziganshin [et al.] // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019): Vol. 17. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00093. – DOI 10.1051/bioconf/20201700093.
7. Федоренко И. Я., Бесподенов Р. В. Молотковая дробилка. Патент РФ 2746586, 16.04.2021.
8. Бесподенов Р. В. Молотковая дробилка для зерна с вертикально установленным ротором. Патент РФ № 2742509, 08.02.2021.
9. Определение средней силы удара для разрушения структурных элементов зерна гречихи / Д. Г. Федоров, А. В. Дмитриев, Е. С. Денисов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 2(148). С. 151–155.
10. Technological factors influence on the work efficiency of the feed grinder / I. M. Gomaа, I. I. Kashapov, R. R. Khaidarov [et al.] // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019): International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” - Kazan: EDP Sciences, 2020. P. 00233. DOI 10.1051/bioconf/20201700233.
11. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 124–132. DOI 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
12. Тонкое измельчение путем истирания. Типы и конструкции мельниц // Самлит. Литейный завод. URL: http://samlit.com/izmel/shemy_izmelcheniya-istiranie_materialov.htm (дата обращения: 21.12.2022).
13. Исследование движения зерна в конфузоре пневмомеханического обрушивателя семян подсолнечника / Д. Т. Халиуллин, Э. Г. Нуруллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2010. Т. 5. № 4(18). С. 122–124.
14. Обоснование параметров вакуум-откачных средств с пульсирующим активным потоком / И. Р. Нафиков, Р. К. Хусаинов, Р. П. Лукманов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1(65). С. 67–72.
15. Превентивная стратегия технического обслуживания дробильного оборудования / И. Х. Гималтдинов, Б. Г. Зиганшин, И. Г. Галиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3(59). С. 71–76. DOI 10.12737/2073-0462-2020-71-76.
16. Эффективность ресурсосберегающих приемов возделывания озимой пшеницы в условиях Центрально-Чернозёмного региона / И. И. Гуреев, А. В. Гостев, Л. Б. Нитченко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 6. – С. 55–60. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_6_55.
17. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies / D. Khaliullin, I. Badretdinov, I. Naficov, R. Lukmanov // Engineering for Rural Development. – Virtual, Jelgava, 2021. – P. 1501–1506. – DOI 10.22616/ERDev.2021.20.TF321.
18. Оптимизация технологических операций при возделывании ярового ячменя в Среднем Поволжье / О. И. Горянин, Л. В. Пронович, Б. Ж. Джангабаев, Е. В. Щербинина // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 8. – С. 55–60. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_8_55.
19. Влияние элементов технологии возделывания на фитосанитарное состояние посевов и урожайность зерновых культур / В. А. Полосина, В. К. Ивченко, Е. П. Пучкова, С. И. Липский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2(63). – С. 51–58. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-63-2-51-58.
20. Противоэрозионная мелиорация в Республике Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2(66). – С. 47–54. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-52.

Сведения об авторах:

Сабиров Булат Миннефайлевич – ассистент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: sabbm5@mail.ru

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации, e-mail: zigan66@mail.ru

Дмитриев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: avd-mail@mail.ru

Нафиков Инсаф Рафитович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: insaf-82@mail.ru

Сабирова Разиля Рустемовна – аспирант кафедры лесоводства и лесных культур, e-mail: razilyshechka@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

STUDY OF A DEVICE FOR CRUSHING GRAIN

B. M. Sabirov, B. G. Ziganshin, A. V. Dmitriev, I. R., Nafikov, R. R. Sabirova

Abstract. The quality of feed produced for cattle is one of the main factors affecting the efficiency of its maintenance. The quality of the resulting feed largely depends on the design features of the equipment, in particular crushers. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of the developed device for crushing grain, in comparison with existing crushers (UD-200). An experimental plant with paddle disks has been developed for grinding grain. Its distinguishing feature is that two disks with a diameter of 142 and 200 mm with blades rotate in the working chamber. The device allows processing grain with high humidity. When using existing crushers (UD-200), fine grinding of grain is possible at a moisture content of not more than 12.6%, experimental installation - 12.9%. To obtain an average grinding, grain moisture can vary from 12.6% to 13.6% and from 12.9% to 14.1%, respectively. With a grain moisture content of 9.8%, the lowest energy costs for crushing were noted when using an experimental installation (5.3 J/kg), for the UD-200 crusher they reached 6.9 J/kg, which is 1.6 J/kg more. At a grain moisture content of 14.1%, the specific energy intensity in the variant with the experimental setup decreased to 8 J/kg, while UD-200 had 9 J/kg. The use of a crusher with paddle discs provides better grinding of feed intended for cattle and reduces the cost of this process.

Key words: grain, humidity, crushing, grinding module, energy intensity, energy, energy saving.

References

1. Fayzrakhmanov DI, Valiev AR, Ziganshin BG. [The current state of grain production in the Russian Federation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 138-142 p.
2. Ziganshin BG, Bulatov SYu, Mironov KE. [Determination of the working area of the end screens of a grain crusher with an increased separating surface]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 2(58). 87-91 p.
3. Khaliullin DT, Dmitriev AV, Khafizov RN. [Study of the air-grain mixture movement in the working unit of the aeromechanical seed hopper]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.12. 4(63). 27-37 p.
4. Nevzorov VN, Matskevich IV, Khramovskikh NA, Yanova MA. [Device for grain crushing]. Patent RF № 2742055, 02.02.2021.
5. Ziganshin BG, Dmitriev AV, Sabirov BM. [Device for grain crushing]. Patent RF № 2667098, 14.09.2018.
6. Mathematical modeling of the grain trajectory in the workspace of the sheller with rotating decks / R. I. Ibyatov, A. V. Dmitriev, B. G. Ziganshin [et al.] // International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019): Vol. 17. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00093. – DOI 10.1051/bioconf/20201700093.
7. Fedorenko IYa, Bepoldenov RV. Molotkovaya drobilka. [Hammer crusher]. Patent RF 2746586, 16.04.2021.
8. Bepoldenov RV. [Hammer crusher for grain with a vertically mounted rotor]. Patent RF № 2742509, 08.02.2021.
9. Fedorov DG, Dmitriev AV, Denisov ES. [Determination of the average impact force for the destruction of structural elements of buckwheat grain]. Vestnik of the Altai State Agrarian University. 2017; 2(148).151-155 p.
10. Technological factors influence on the work efficiency of the feed grinder / I. M. Gomaa, I. I. Kashapov, R. R. Khaidarov [et al.] // International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019): International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" - Kazan: EDP Sciences, 2020. P. 00233. DOI 10.1051/bioconf/20201700233.
11. Assessment of food security in Russia / I. N. Safullin, B. G. Ziganshin, E. F. Amirova [et al.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. Vol. 16. 2(62). 124-132 p. DOI 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
12. Fine grinding by abrasion. Types and designs of mills // Samlit. Foundry Factory. URL: http://samlit.com/izmel/shemy_izmelcheniya-istiranje_materialov.htm (date of reference: 12/21/2022).
13. Khaliullin DT, Nurullin EG. [Investigation of grain movement in the confuser of the pneumomechanical sunflower seed crusher]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010; Vol. 5. 4(18). 122-124 p.
14. Nafikov IR, Khusainov RK, Lukmanov RR. [Substantiation of the parameters of vacuum pumping devices with a pulsating active flow]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 67-72 p.
15. Himaltidinov IH, Ziganshin BG, Galiev IG. [Preventive strategy of maintenance of crushing equipment]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol. 15. 3(59). 71-76 p. DOI 10.12737/2073-0462-2020-71-76.
16. Gureev II, Gostev AV, Nitchenko LB. [Efficiency of resource-saving methods of winter wheat cultivation in the conditions of the Central Chernozem region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol. 36. 6. 55-60 p. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_6_55.
17. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies / D. Khaliullin, I. Badretdinov, I. Naficov, R. Lukmanov // Engineering for Rural Development. – Virtual, Jelgava, 2021. – P. 1501-1506. – DOI 10.22616/ERDev.2021.20.TF321.
18. Goryanin OI, Pronovich LV, Dzhagabaev BJ, Shcherbinina EV. [Optimization of technological operations in the cultivation of spring barley in the Middle Volga region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol. 36. 8. 55-60 p. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_8_55.
19. Polosina VA, Ivchenko VK, Puchkova EP, Lipskiy SI. [Influence of elements of cultivation technology on the phytosanitary state of crops and crop yields]. Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet). 2022; 2(63). 51-58 p. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-63-2-51-58.
20. Hismatullin MM, Valiev AR, Hismatullin MM. [Anti-erosion land reclamation in the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 17. 2(66). 47-54 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-52.

Authors:

Sabirov Bulat Minnefailevich - Assistant of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: sabbm5@mail.ru
 Ziganshin Bulat Gusmanovich - Doctor of Technical sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, e-mail: zigan66@mail.ru
 Dmitriev Andrey Vladimirovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor, e-mail: avd-mail@mail.ru
 Nafikov Insaf Rafitovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: insaf-82@mail.ru
 Sabirova Razilya Rustemovna – post-graduate student of Forestry and Forest Plantations Department, e-mail: razilyshechka@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.