

УДК 631.354.2.076

UDC 631.354.2.076

4.3.1 Технологии машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1 Technologies machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАКЛОННОГО РЕШЕТА СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ НА РАБОТУ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE INCLINED SIEVE OF THE CLEANING SYSTEM ON THE OPERATION OF THE COMBINE HARVESTER

Алексаков Юрий Фёдорович
Советник при ректорате
РИНЦ SPIN-код: 7455-2220
yf.aleksakov@yandex.ru

Aleksakov Yuri Fedorovich
Counselor
RSCI SPIN-code: 7455-2220
yf.aleksakov@yandex.ru

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Система очистки выполняет значимую функцию в работе зерноуборочного комбайна по выделению полноценного зерна из поступающей на решета, вымолоченной массы, состоящей из зерна и примесей различных фракций, включающих частицы соломы, полосу, ость, семена сорняков и минеральные примеси. В связи с разнообразием физико-механических свойств указанных компонентов зернового вороха наиболее достоверным методом определения эффективности работы системы очистки является натурный эксперимент, при котором происходит реальное взаимодействие рассматриваемых частиц с рабочими органами при одновременном изменении структуры рабочей массы при поступлении на решета и обдуве воздушным потоком. В статье представлены результаты сравнительной агротехнической оценки двух гибридных зерноуборочных комбайнов при работе в одинаковых условиях с двумя типами решет

The cleaning system performs a significant function in the operation of a grain harvester, which is to separate full-fledged grain from the mass that enters the sieves, which consists of grain and impurities of various fractions, including particles of straw, chaff, bran, weed seeds, and mineral impurities. Due to the diverse physical and mechanical properties of these components of the grain heap, the most reliable method for determining the effectiveness of the cleaning system is a field experiment, which involves the actual interaction of the particles under consideration with the working elements, while simultaneously changing the structure of the working mass as it enters the sieves and is blown by the air flow. The article presents the results of a comparative agrotechnical assessment of two hybrid grain harvesters operating under the same conditions with two types of sieves

Ключевые слова: ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН; СИСТЕМА ОЧИСТКИ; НАКЛОННОЕ РЕШЕТО; АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА; ПОТЕРИ ЗЕРНА

Keywords: GRAIN HARVESTER; CLEANING SYSTEM; INCLINED SIEVE; AGROTECHNICAL ASSESSMENT; GRAIN LOSSES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-219-053>

Введение. Создание конкурентноспособной на мировом рынке сельскохозяйственной высокопроизводительной и надёжной техники, обеспечивающей выполнение заданных показателей работы и позволяющей производить качественную сельскохозяйственную продукцию растениеводства является одной из важнейших задач

<http://ej.kubagro.ru/2026/05/pdf/53.pdf>

сельскохозяйственного машиностроения. Анализ существующих тенденций развития систем очистки зерноуборочных комбайнов [1,2] показал возможности перехода комбайностроительных компаний от однокаскадных к двухкаскадным конструкциям систем очистки, что обусловлено увеличением площади сепарации для возможности сепарации зерна из большего количества вымолоченной зерновой массы с целью достижения максимальной производительности при одновременном снижении потерь. Следует отметить значимость наличия направленного движения воздушного потока, создаваемого вентилятором по всей площади решет и в особенной степени на первоначальном участке схода зернового вороха со стрясной доски. В указанной зоне требуется существенное воздействие воздуха, так как плотность вороха наибольшая, а выдуваемые из комбайна лёгкие частицы соломы, половы и сорных примесей без повторного осаждения снижают нагрузку на решета, что повышает вероятность выделения зерна и уменьшает инерциальные нагрузки в системе. Повысить эффективность выделения примесей на данном участке возможно за счёт установки удлинителей стрясной доски различных конфигураций, установки пальцевой решётки [6], теоретическая [8] и экономическая [7] эффективность которой была ранее доказана или дополнительного решета [3]. Для количественного анализа возможности интенсификации этого процесса в зоне схода со стрясной доски в соответствии с конструкцией системы очистки изготовленной в соответствии с патентом RU 2 852 263 [3] необходимо было провести сравнительное исследование для подтверждения данной гипотезы т.к. в ней заключается основная идея распределения во времени воздействие потока воздуха в зоне наибольшей удельной плотности зернового вороха. Отличительной особенностью данной конструкции является ввод дополнительного наклонного жалюзийного решета, установленного в каркас стрясной доски с обратным наклоном к горизонту относительно

ступенчатых секций верхнего решетного стана, предназначенных для транспортировки сепарированной зерновой массы, ссыпанной с дополнительного жалюзийного решета, установленного в каркас стрясной доски. Дополнительно к указанному изменению расширены зоны перепада между каскадами, что интенсифицирует процесс очистки воздушным потоком, минимизируя попадание сорных примесей и частиц соломы на рабочую область решетного стана.

Актуальность проведения исследования. Учитывая существенную конкуренцию на рынке зерноуборочных комбайнов различных компаний Ростсельмаш, Гомсельмаш, Claas, John Deere, CNH и Zoomlion и других, каждая функциональная система должна обеспечивать существенные преимущества. В процессе развития зерноуборочной техники многие производители перешли на гибридные типы молотильно-сепарирующих устройств (МСУ) в относительно больших классах комбайнов, вплоть до 10-го. Указанный комбайн, имеет широкое распространение, поэтому новая конструкция системы очистки с наклонным решето должна иметь лучшие показатели для обеспечения конкурентоспособности.

Сравнение конструкций. Новая исследуемая конструкция, включающая дополнительное наклонное решето включает в себя следующие конструктивные элементы (Рисунок 1, а): 1 - доска стрясная, состоящая из каркаса и ступенчатых секций и предварительным решето б; 2 - верхний решетный стан, состоящий из каркаса, доски ступенчатой и установленного в него жалюзийного решета, основного решета и удлинителя; 3 - нижний решетный стан с жалюзийным решето и нежалюзийной частью (пальцевой решетки); 4 - вентилятор, состоящий из кожуха, верхнего и нижнего патрубков; 5 - дополнительное наклонное решето, состоящее из жалюзийной части;



Рисунок 1 - Схемы очисток гибридных зерноуборочных комбайнов: а) по патенту RU 2 852 263 с наклонным решетом; б) Аналогичная без наклонного решета

В конструкции аналогичной системы наклонное решето отсутствует, зерновой ворох на сходе со стрясной доски через перепад поступает на предварительное решето, отдельный обратный патрубок от вентилятора направляет воздушный поток в зону активного воздействия на ворох.

Зерновая масса, поступающая со стрясной доски, попадает в зону дополнительного наклонного решета, где продувается сжатым воздушным потоком. Применение обратного наклона жалюзей дополнительного наклонного решета позволяет снизить его аэродинамическое сопротивление и увеличить объем проходящего сквозь него воздушного потока. Частично распределяя движущуюся по нему зерновой ворох и вынося лёгкие примеси. За счет этого вероятность выделения зерна из зерновой массы повышается, и оно просыпается на ступенчатую доску стана верхних решет и транспортируется на переднюю часть верхнего жалюзийного решета. Следовательно, на переднюю часть верхнего решета поступает сегрегированный зерновой ворох (зерно находится в нижних слоях) и зерно, которое выделилось при сепарации сквозь дополнительное решето. Установленная в выходной части дополнительного решета пальцевая решетка, предотвращает попадание в переднюю часть верхнего решета крупных фракций соломы, присутствующих в зерновом ворохе, что повышает скорость прохождения зерна в этой зоне, при этом зерновая масса быстрее поступает на нижнее жалюзийное решето.

Условия проведения агротехнической оценки. В соответствии с ГОСТ 28301-2015 [3], номинальная производительность и оценка пропускной способности зерноуборочного комбайна определяется по уровню потерь зерна за молотилкой 1,5 %, при этом дробление зерна и его засоренность не должны превышать 2,0 % и 3,0 соответственно (условия, при которых отношение зерна к соломе составляет 1:1,5) [4]. При этом состав зернового вороха, поступающего со стрясной доски в зависимости от условий уборки будет иметь помимо зерна большое количество мелких легкоотделимых воздушным потоком компонентов [5].

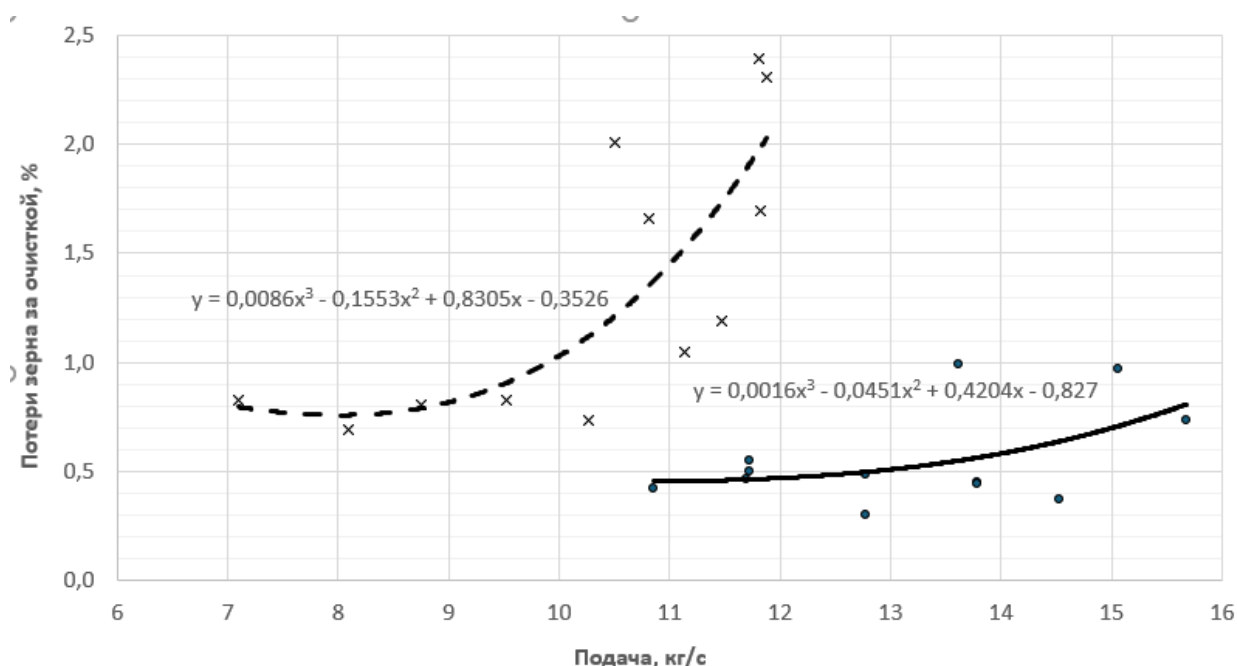
Агротехническая оценка проводилась в ФГБУ «Кубанская МИС» на полях СПХ им. Мичурина, Новокубанского района, Краснодарского края. Испытания проходили в период 29.06.2024 - 30.06.2024 с обработкой технологического материала на лабораторных молотилках с коэффициентом тарировки 1,1. Метод оценки включал в себя определение пропускной способности опытного комбайна (фактической подачи, кг/с), фиксирование потерь свободным зерном и недомолотом за очисткой, соломосепараторами при укладке не зерновой части урожая в валок и расчет зависимости подач вороха от полученных потерь. Испытания проводились в сравнении с аналогичным комбайном в условиях, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Условия проведения испытаний

№	Агротехнический параметр	Значение
1	Убираемая культура, тип	Пшеница
2	Урожайность, ц/га	65-85
3	Высота хлебостоя, м	0,6-0,9
4	Влажность зерна, %	8-14
5	Влажность соломы, %	8-16
6	Засоренность, %	0-1
7	Полеглость, %	5-7
8	Масса 1000 шт. зерен, гр	40-45
9	Соотношение массы зерна к массе соломы	1:0,50-1:0,93
10	Плотность бункерного зерна, кг/куб. м	770-800

Настройки решет и частоты вращения вентилятора были выбраны исходя из обеспечения наименьших потерь в исследуемом диапазоне пропускной способности и на протяжении периода проведения испытаний оставались неизменными.

Результаты испытаний. В результате испытаний систем очистки зерноуборочных комбайнов были получены данные потерь за очисткой в зависимости от производительности зерноуборочного комбайна (рисунок 2).



• - Опытный комбайн с наклонным решетом; x – аналогичный комбайн без наклонного решета.

Рисунок 2 - Потери зерна за очисткой в зависимости от производительности зерноуборочного комбайна

Анализ полученных зависимости показал стабильность протекания технологического процесса очистки опытного зерноуборочного комбайна с наклонным решетом в диапазоне фактической подачи от 11,0 до 15,7 кг/с. В интервале фактической подачи от 10,8 кг/с до 13 кг/с потери зерна и составляли 0,46 %, дальнейшее повышение производительности на режиме максимальной подачи до 15,8 кг/с увеличивало нагрузку на систему очистки, что приводило к постепенному увеличению потерь зерна до 0,80 %.

Анализ полученных результатов сравнительных полевых испытаний аналогичного комбайна с системой очистки без наклонного решета представленных на рисунке 2, показал, что в интервале подач от 7,1 кг/с до 9,1 кг/с изменение потерь зерна составляло 0,79 %, дальнейшее повышение производительности загрузки системы очистки вплоть до 11,8 кг/с приводит к постепенному увеличению потерь зерна и достигает величины 2,80 % на режиме максимальной подачи.

В обоих случаях зерноуборочные комбайны показали потери зерна в пределах агротребований на режимах номинальной производительности, т.е. условиях, когда система полностью справляется с очисткой зерна, а величина потерь при этом характеризует конструктивные особенности систем. Важно отметить, что последующая загрузка очистки до величины максимально возможной производительности приводит к увеличению потерь за очисткой относительно режима постоянных потерь в случае опытного гибридного зерноуборочного комбайна в 0,74 раза, а аналогичного в 2,45 раза. Немаловажно отметить, что градиент изменения потерь на большую величину негативным образом сказывается на экономической эффективности зерноуборочного комбайна, так как в ряде условий, например уборка с надвигающимися осадками, зерноуборочный комбайн может работать на режиме, превышающего номинальную производительность, в этой связи конструкции, обеспечивающие незначительное превышение потерь на указанных режимах, являются более предпочтительными.

Анализ проб бункерного зерна показал величину сорности для опытного зерноуборочного комбайна 0,07%, что в абсолютном выражении на 0,23% меньше аналогичного.

Таким образом, результаты проведенных испытаний системы очистки с дополнительным наклонным решетом подтверждают результаты

численных расчетов, эффективность и конкурентоспособность по сравнению с современными вариантами аналогов.

Выводы

Проведённый анализ влияния установки дополнительного наклонного решета на работу опытного гибридного зерноуборочного комбайна и аналогичного с определенными отдельными потерями при лабораторно-полевых испытаниях показал прирост производительности за счёт перераспределения примесей в системе очистки и снижения нагрузки на решета.

На опытном зерноуборочном комбайне с наклонным решетом в интервале подач от 10,8 до 13 кг/с изменение потерь в зависимости от производительности зерна не наблюдалось и составляло 0,46%. Дальнейшее повышение производительности до 15,8 кг/с повышающее загрузку системы очистки приводит к постепенному увеличению потерь зерна и достигает величины 0,80 % на режиме максимальной подачи.

На аналогичном зерноуборочном комбайне без наклонного решета в интервале подач от 7,1 до 9,1 кг/с изменение потерь зерна не наблюдалось и составляло 0,79 %, дальнейшее повышение производительности до 11,8 кг/с повышающее загрузку системы очистки приводит к постепенному увеличению потерь зерна и достигает величины 2,80 % на режиме максимальной подачи.

Агротехническая оценка и анализ полученных результатов подтвердили результаты ранее проведённых численных исследований, эффективность и конкурентоспособность системы очистки с наклонным решетом опытного гибридного зерноуборочного комбайна.

Список литературы

1. Предпосылки и пути совершенствования ветро-решетной системы очистки зерноуборочных комбайнов / Д. В. Рудой, Ю. Ф. Алексаков, Б. Ю. Голев, Т. А. Мальцева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 194. – С. 192-202. – DOI 10.21515/1990-4665-194-017

2. Звездин, М. С. Анализ типовых конструкций молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна / М. С. Звездин, Б. Ю. Голев // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция "ИТНО 2023") : сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 04–10 сентября 2023 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2023. – С. 162-167. – DOI 10.23947/itse.2023.162-167. – EDN NSOKDV.

3. Патент № 2852263 С1 Российская Федерация, МПК А01F 12/44, А01D 41/12. система очистки зерноуборочного комбайна : заявл. 19.07.2024 : опубл. 05.12.2025 / Ю. Ф. Алексаков, М. Г. Гранкин, Б. Ю. Голев [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Комбайновый завод "Ростсельмаш". – EDN BOHGKD.

4. Функциональные особенности системы очистки зерноуборочных комбайнов / Б. Ю. Голев, Ю. Ф. Алексаков, Д. В. Рудой, В. А. Пигенко // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция "ИТНО 2023") : сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 04–10 сентября 2023 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2023. – С. 98-101. – DOI 10.23947/itse.2023.98-101. – EDN SUIKBS.

5. Шаповал, Б. Г. обоснование состава и свойств вороха, поступающего со стрясной доски на пальцевую решётку, при моделировании процесса сепарации в лабораторных условиях / Б. Г. Шаповал, Е. Е. Петров, А. В. Бутовченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш - 2018", Ростов-на-Дону, 28 февраля – 02 2018 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2018. – С. 20-22. – EDN YTWVOV.

6. Патент на полезную модель № 178042 U1 Российская Федерация, МПК А01F 12/44, А01D 41/12. Пальцевая решетка стрясной доски : № 2017143933 : заявл. 15.12.2017 : опубл. 21.03.2018 / Е. Е. Петров, А. В. Бутовченко, Б. Г. Шаповал ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ). – EDN RGZGWI.

7. Петров, Е. Е. Экономическая оценка применения пальцевой решётки в системе очистки зерноуборочного комбайна / Е. Е. Петров, А. В. Бутовченко // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш», Ростов-на-Дону, 27 февраля – 01 2019 года / Донской государственный технический университет, Аграрный научный центр «Донской». – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2019. – С. 759-763. – DOI 10.23947/interagro.2019.10.759-763. – EDN AAPGIU.

8. Butovchenko, A. V. Theoretical Study of Sifting Heap on Finger Chaffer Sieve / A. V. Butovchenko, E. E. Petrov, A. A. Doroshenko // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings. Series: Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME), Sochi, 25–29 марта 2019 года. Vol. 1. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – P. 277-286. – DOI 10.1007/978-3-030-22041-9_32. – EDN GEUKUX.

References

1. Predposylki i puti sovershenstvovaniya vetro-reshetnoj sistemy ochistki zernouborochnyh kombajnov / D. V. Rudoj, Ju. F. Aleksakov, B. Ju. Golev, T. A. Mal'ceva // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 194. – S. 192-202. – DOI 10.21515/1990-4665-194-017
2. Zvezdin, M. S. Analiz tipovyh konstrukcij molotil'no-separirujushhego ustrojstva zernouborochnogo kombajna / M. S. Zvezdin, B. Ju. Golev // Innovacionnye tehnologii v nauke i obrazovanii (Konferencija "ITNO 2023") : sbornik nauchnyh trudov HI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, s. Divnomorskoe, 04–10 sentjabrja 2023 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2023. – S. 162-167. – DOI 10.23947/itse.2023.162-167. – EDN NCOKDV.
3. Patent № 2852263 C1 Rossijskaja Federacija, MPK A01F 12/44, A01D 41/12. sistema ochistki zernouborochnogo kombajna : zajavl. 19.07.2024 : opubl. 05.12.2025 / Ju. F. Aleksakov, M. G. Grankin, B. Ju. Golev [i dr.] ; zajavitel' Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Kombajnovyj zavod "Rostsel'mash". – EDN BOHGKD.
4. Funkcional'nye osobennosti sistemy ochistki zernouborochnyh kombajnov / B. Ju. Golev, Ju. F. Aleksakov, D. V. Rudoj, V. A. Pigenko // Innovacionnye tehnologii v nauke i obrazovanii (Konferencija "ITNO 2023") : sbornik nauchnyh trudov HI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, s. Divnomorskoe, 04–10 sentjabrja 2023 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2023. – S. 98-101. – DOI 10.23947/itse.2023.98-101. – EDN SUIKBS.
5. Shapoval, B. G. obosnovanie sostava i svojstv voroha, postupajushhego so strjasnoj doski na pal'cevuju reshjotku, pri modelirovanii processa separacii v laboratornyh uslovijah / B. G. Shapoval, E. E. Petrov, A. V. Butovchenko // Sostojanie i perspektivy razvitija sel'skohozjajstvennogo mashinostroeniya : Sbornik statej 11-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah 21-j mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki "Interagromash - 2018", Rostov-na-Donu, 28 fevralja – 02 2018 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2018. – S. 20-22. – EDN YTWVOB.
6. Patent na poleznuju model' № 178042 U1 Rossijskaja Federacija, MPK A01F 12/44, A01D 41/12. Pal'cevaja reshetka strjasnoj doski : № 2017143933 : zajavl. 15.12.2017 : opubl. 21.03.2018 / E. E. Petrov, A. V. Butovchenko, B. G. Shapoval ; zajavitel' federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet" (DGTU). – EDN RGZGWI.
7. Petrov, E. E. Jekonomicheskaja ocenka primenenija pal'cevoj reshjotki v sisteme ochistki zernouborochnogo kombajna / E. E. Petrov, A. V. Butovchenko // Sostojanie i perspektivy razvitija agropromyshlennogo kompleksa : sbornik nauchnyh trudov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah XXII Agropromyshlennogo foruma juga Rossii i vystavki «Interagromash», Rostov-na-Donu, 27 fevralja – 01 2019 goda / Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Agrarnyj nauchnyj centr «Donskoj». – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2019. – S. 759-763. – DOI 10.23947/interagro.2019.10.759-763. – EDN AAPGIU.
8. Butovchenko, A. V. Theoretical Study of Sifting Heap on Finger Chaffer Sieve / A. V. Butovchenko, E. E. Petrov, A. A. Doroshenko // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings. Series: Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME), Sochi, 25–29 marta 2019 goda. Vol. 1. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – P. 277-286. – DOI 10.1007/978-3-030-22041-9_32. – EDN GEUKUX.