Тип статьи: научная
УДК 631.354.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-77-84

К ОБОСНОВАНИЮ СПОСОБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ СВОБОДНОГО ЗЕРНА ПРИ ОЧЕСЕ РАСТЕНИЙ НА КОРНЮ

Виктор Николаевич Ожерельев[1], Виктор Васильевич Никитин[2], Владимир Филиппович Комогорцев[3], Синяя Наталия Викторовна[4]
[1, 2, 3, 4] Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]viktor.nike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1393-2731
[3]komvf@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-4134-366X
[4]sinzea@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1794-1347

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Viktor Ozherelev, vicoz@bk.ru

Реферат. *Представлены результаты теоретических исследований, подтверждающие возможность осуществления предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха до поступления его в молотильную камеру зерноуборочного комбайна. Установлена перспективность сепарирующего устройства, смонтированного непосредственно перед молотильным барабаном, состоящего из продольных прутьев, над которыми смонтирован дополнительный скребковый транспортер. Для увеличения интенсивности сепарации устройства и исключения вероятности забивания отверстий проходящими частицами вороха, поперечное сечение каждой полосы решетки заужено книзу. Определяли оптимальную длину отверстий сепарирующего устройства предбарабанного типа, его пространственную ориентацию и оценивали качественные показатели работы. Выполнили теоретические исследования процесса сепарации на озимой пшенице сорта «Московская 56» с размерами зерен 3,9х6,5 мм. Скорость скребкового транспортера составляла 3 м/с, а угол наклона сепарирующего устройства варьировал в пределах 0-45 градусов. По результатам исследований установлено, что с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности длина отверстий решет увеличивается, а скорость сепарации уменьшается. Поскольку горизонтальная решетка обеспечивает большую скорость сепарации свободного зерна, в сравнении с наклонной поверхностью, то применение сепарирующего устройство предбарабанного типа является наиболее предпочтительным, по отношения к решетчатому днищу наклонной камеры зерноуборочного комбайна с точки зрения его производительности. Установлено, что длина сепарирующих отверстий должна быть не менее 0,08 м. Такое техническое решение позволяет минимизировать не только дробление свободного зерна рабочими органами молотилки, но и снизить металлоемкость сепарирующего устройства.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн; наклонная камера; решетчатое днище; сепарирующая решетка; очес; предварительная сепарация, зерновой ворох.*

TO THE SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF PRELIMINARY SEPARATION OF FREE GRAIN IN THE ROOT OF PLANTS

Viktor Ozherelev[1], Viktor Nikitin[2], Vladimir Komogortsev[3], Natalia Sinyaya[4]
[1, 2, 3, 4] Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]viktor.nike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1393-2731
[3]komvf@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-4134-366X
[4]sinzea@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1794-1347

Abstract. *The results of theoretical studies confirming the possibility of carrying out preliminary separation of free grain from the stripped grain pile before it enters the threshing chamber of a combine harvester are presented. The prospect of a separating device mounted directly in front of the threshing drum, consisting of longitudinal rods, over which an additional scraper conveyor is mounted, has been established. The cross section of each strip of the grating is narrowed downwards to increase the intensity of separation of the device and eliminate the possibility of clogging the holes with passing particles of the heap. The optimal length of the openings of the pre-drum type separating device, its spatial orientation were determined, and the quality indicators of the work were evaluated. Theoretical studies of the separation process on winter wheat of the "Moskovskaya 56" variety with a grain size of 3.9x6.5 mm were performed. The speed of the scraper conveyor was 3 m/s, and the angle of inclination of the separating device varied within 0-45 degrees. It has been established from the results of research that with an increase in the angle of inclination of the separating surface, the length of the sieve openings increases, and the separation speed decreases. Since the horizontal grate provides a higher separation rate of free grain, compared to an inclined surface, the use of a pre-drum type separating device is most preferable in relation to the grate bottom of the feeder house of a combine harvester in terms of its performance. It has been established that the length of the separating holes should be at least 0.08 m. Such a technical solution allows minimizing not only the crushing of free grain by the working bodies of the threshing machine, but also to reduce the metal consumption of the separating device.*

Keywords: *combine harvester; inclined camera; lattice bottom; separating grid; tow; pre-separation, grain heap.*

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф., Синяя Н.В. К обоснованию способа предварительной сепарации свободного зерна при очесе растений на корню // Наука в Центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 77-84. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84.

For citation: Ozherelev V, Nikitin V., Komogortsev V., Sinyaya N. To the substantiation of the method of preliminary separation of free grain in the root of plants. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 77-84. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84.

Введение. Стабильный рост цен на энергоносители актуализирует проблему уменьшения энергоемкости технологических процессов в АПК. В полной мере это касается и уборки зерна. В этой связи перспективной является замена традиционной жатки на очесывающий адаптер, что позволяет не только уменьшить энергоемкость уборочного процесса, но и увеличить производительность техники [1-3].

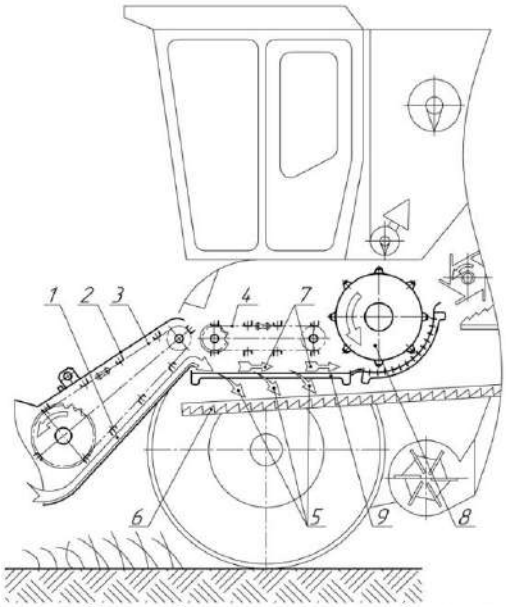
Практическое использование технологии очеса растений на корню сдерживается тем, что молотилка зерноуборочного комбайна не обеспечивает оптимальное воздействие на ворох, поступающий от очесывающего адаптера. Это обусловлено наличием в нем до 80% свободного зерна и отсутствием у необмолоченных колосьев соломин достаточной длины. В результате свободное зерно подвергается дополнительному ударному воздействию, не обусловленному технологической потребностью. Вследствие этого нерационально расходуется порядка 10 кВт мощности и существенно возрастает степень дробления зерна [4-6].

Очевидно, что радикально решить проблему позволяет предварительное выделение из очесанного вороха свободного зерна и направление его непосредственно на очистку, минуя молотильный аппарат комбайна. На протяжение ряда лет в Брянском ГАУ ведутся изыскания конструктивных решений, позволяющих решить указанную проблему. На данном этапе прошли успешные испытания экспериментальной наклонной камеры с решетчатым днищем, которые позволили реализовать принцип предварительной сепарации свободного зерна [7-9]. Практическая реализация такого технического решения позволила в пять раз уменьшить степень дробления свободного зерна рабочими органами молотилки [10, 11].

Указанный конструктивный вариант не является единственно возможным. Перспективным с точки зрения совершенства технологического процесса является размещение сепарирующего устройства непосредственно перед молотильным барабаном 8 (рисунок 1). В частности, это может быть достигнуто посредством сепарирующей решетки 9, состоящей из продольных прутьев, над

которой смонтирован дополнительный скребковый транспортер 4 [12]. Поскольку, сепарирующая решетка 9 сориентирована в пространстве горизонтально, то ее длина может быть несколько меньше в сравнении с размерами решетчатого днища наклонной камерой зерноуборочного комбайна. Для увеличения интенсивности сепарации устройства, поперечное сечение каждой полосы решетки сужается книзу, вследствие чего сверху вниз увеличивается ширина свободного межполосового пространства, что исключает заклинивание проходящих частиц вороха по мере их перемещения вниз и забивание сепарирующей поверхности. Кроме того, полосы сепарирующей решетки соединены между собой только по их концам, вследствие чего процесс сепарации не нарушается промежуточными поперечными перемычками.

Несмотря на то, что значительная часть параметров указанного технического решения предварительно установлена [13], остается ряд не решенных пока конструктивных задач и проблем. В частности, это касается определения оптимальной длины отверстий сепарирующего устройства предбарабанного типа, его пространственной ориентации и оценки качественных показателей работы.



1 – очесанный зерновой ворох; 2 – наклонная камера; 3 – плавающий транспортер;
4 – дополнительный скребковый транспортер; 5 – свободное зерно; 6 – транспортная доска;
7 – оставшаяся часть первичного вороха; 8 – молотильный барабан;
9 – сепарирующая решетка

Рисунок 1 – Принципиальная схема зерноуборочного комбайна с предбарабанным устройством для предварительной сепарации свободного зерна:

В связи с этим целью исследования является оптимизация длины отверстий предбарабанного сепарирующего устройства, выявление степени влияния на эффективность ее работы пространственной ориентации сепарирующей поверхности и сопоставление качественных параметров процесса с аналогичными показателями, характерными для решетчатого днища наклонной камеры зерноуборочного комбайна.

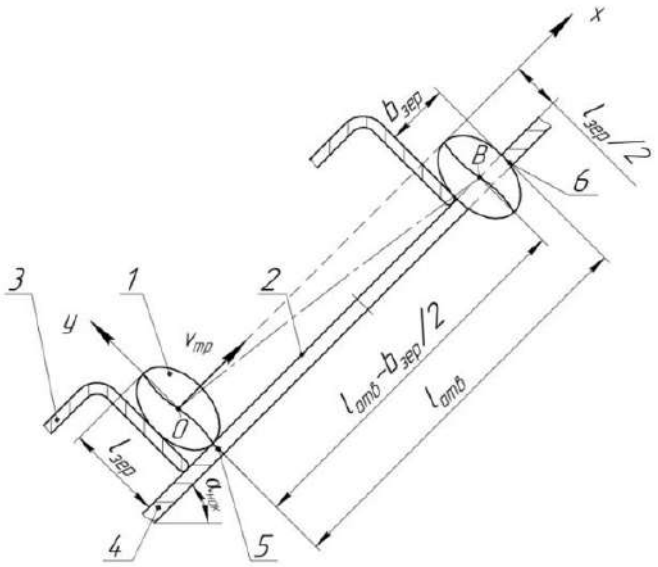
Материалы и методы. Для оценки возможности осуществления данного технологического процесса рассмотрим перемещение зерна 1 сквозь сепарирующее отверстие 2, как свободное падение тела, брошенного под углом $\alpha_{нак}$ к горизонту (рисунок 2). Для этого в исходном положении поместим зерно 1 над передней кромкой отверстия 2, сориентировав его длину $l_{зер}$ вдоль скребка 3 транспортера, а ширину $b_{зер}$ перпендикулярно поверхности днища 4. Начало координат O совместим с центром тяжести зерна 1, а оси OX и OY направим по направлению движения скребка 3 транспортера и перпендикулярно днищу 4, соответственно.

Специфика процесса заключается в том, что при перемещении зерна над отверстием оно не теряет контакта со скребком, поэтому скорость его перемещения вверх по днищу наклонной камеры остается неизменной и равной скорости скребкового транспортера $v_{тр}$. Когда зерно сползает с переднего края 5 и располагается над отверстием, оно получает возможность под действием своей тяжести падать со скоростью gt, а, следовательно, должно описывать параболическую траекторию. При этом зерно не должно встречать помехи для этого движения со стороны поверхности решета [14, 15].

Для того чтобы зерно прошло через отверстие длиной $l_{отв}$, центр его тяжести должен пройти по направлению оси OX путь:

$$l_{отв} - \frac{b_{зер}}{2} = v_{тр} \cdot t, \tag{1}$$

где $l_{отв}$ – длина отверстия, *м*;
$b_{зер}$ – ширина зерна, *м*;
$v_{тр}$ – скорость скребкового транспортера, *м/с*;
t – время сепарации, *с*.



1 – зерно; 2 – отверстие; 3 – скребок; 4 – днище сепарирующей поверхности; 5 – передняя кромка отверстия; 6 – дальняя кромка отверстия

Рисунок 2 – Расчетная схема к определению длины отверстий сепарирующей поверхности

Считаем, что зерно успешно пройдет через сепарирующее отверстие, если центр его тяжести при перемещении вверх по днищу наклонной камеры (по оси OX) опустится вниз по оси OY на половину длины, то есть на $l_{зер}/2$. Тогда оно может вступить в контакт с верхней кромкой 6 отверстия 2 и в результате торможения потерять скорость $v_{тр}$ вдоль днища 1.

Перемещение зерна в вертикальном направлении ($l_{зер}/2$) определим следующим образом

$$\frac{l_{зер}}{2 \cdot \cos\alpha_{нак}} = \frac{g \cdot t^2}{2}; \Rightarrow \frac{l_{зер}}{\cos\alpha_{нак}} = g \cdot t^2, \tag{2}$$

где $l_{зер}$ – длина зерна, *м*;
$\alpha_{нак}$ – угол наклона сепарирующей поверхности к горизонту, *град*;
g=9,81 *м/с*^{2} – ускорение свободного падения.

Следовательно, для опускания зерна относительно поверхности днища на половину его длины ($l_{зер}/2$) необходимо время

$$t = \sqrt{\frac{l_{зер}}{g \cdot \cos\alpha_{нак}}} \ . \qquad (3)$$

Подставив полученное выражение в (1) и преобразовав, находим минимальную длину сепарирующего отверстия, необходимую для прохождения через него зерна

$$l_{отв} = \frac{b_{зер}}{2} + v_{тр} \cdot \sqrt{\frac{l_{зер}}{g \cdot \cos\alpha_{нак}}} \ . \qquad (4)$$

Очевидно, что скорость сепарации свободного зерна сквозь отверстия сепарирующего устройства, может быть определена следующим образом

$$v_{сеп} = \frac{l_{зер}}{2 \cdot t}. \qquad (5)$$

Все исследования проводили на озимой пшенице сорта «Московская 56» с размерами зерен $b_{зер}$=3,9 *мм*, $l_{зер}$=6,5 *мм*. Скорость скребкового транспортера принимали равной скорости плавающего транспортера наклонной камеры зерноуборочного комбайна $v_{тр}$=3 *м/с*, как в работах [16, 17]. Значимость этого параметра связана с тем, что с его уменьшением повышается вероятность не только сгруживания очесанной хлебной массы между наклонной камерой и сепарирующим устройством, но и снижения пропускной способности комбайна в целом, а повышение ухудшает сепарацию свободного зерна. При этом угол наклона сепарирующего устройства предбарабанного типа варьировал в пределах 0-45 градусов, что позволило сопоставить полученные данные с аналогичными параметрами, характерными для наклонной камеры.

Результаты и их обсуждение.

Результаты расчетов формул (3-5) представлены на рисунке 3.

Полученные данные (рисунок 3, а) свидетельствую о том, что с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности длина отверстий, сквозь которые проходит свободной зерно увеличивается. При этом минимальное значение длины отверстия соответствует горизонтальному расположению решетки сепарирующего устройства предбарабанного типа, а максимальное – решетчатому днищу наклонной камеры комбайна.

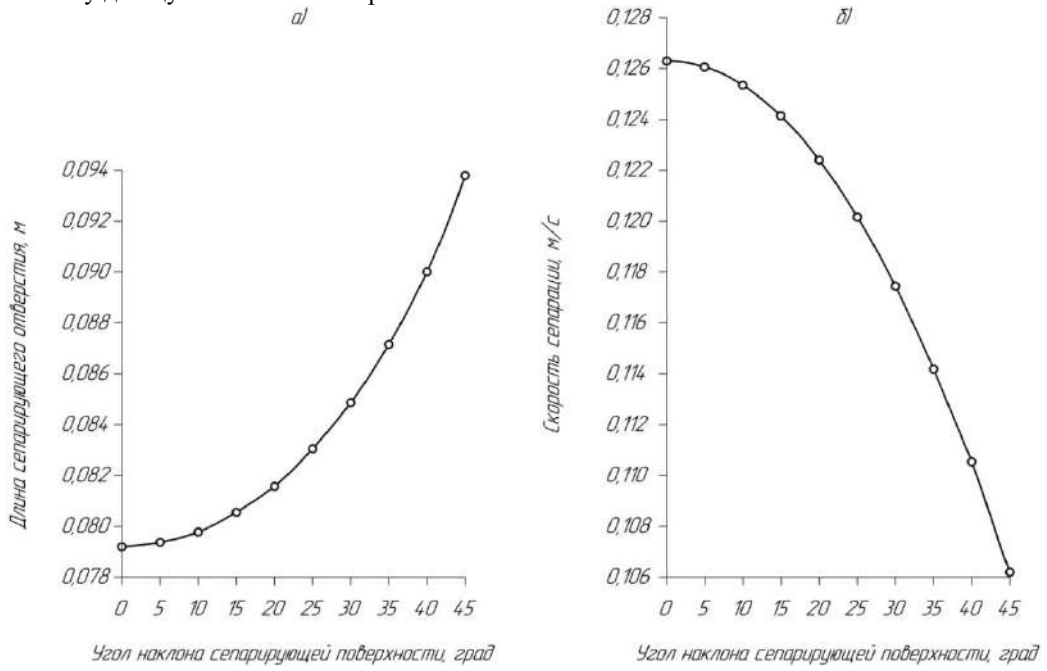


Рисунок 3 – Влияние угла наклона поверхности сепарирующего устройства на: а) длину его отверстий; б) скорость сепарации свободного зерна

Что касается скорости сепарации, то здесь прослеживается обратная тенденция. То есть, с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности, скорость сепарации свободного зерна сквозь отверстия сепарирующей решетки уменьшается. При этом максимальное значение скорости сепарации свободного зерна соответствует горизонтальному расположению решетки сепарирующего устройства предбарабанного типа, а минимальное – решетчатому днищу наклонной камеры комбайна. Разница между максимальным (0,126 *м/с*) и минимальным (0,106 *м/с*) значением скорости составляет порядка 19%.

В результате того, что горизонтальная решетка обеспечивает большую скорость сепарации свободного зерна в сравнении с наклонной поверхностью, то применение сепарирующего устройство предбарабанного типа является наиболее предпочтительным по отношения к решетчатому днищу наклонной камеры зерноуборочного комбайна с точки зрения его производительности. Кроме того, такое техническое решение позволяет минимизировать не только дробление свободного зерна рабочими органами молотилки, но и металлоемкость сепарирующего устройства.

Выводы.

1. Приведенные расчеты свидетельствуют о возможности эффективной сепарации очесанного зернового вороха на сепарирующем устройстве предбарабанного типа при длине сепарирующих отверстий не менее 0,08 м.

2. Применение сепарирующего устройства предбарабанного типа в сравнение с решетчатым днищем наклонной камеры зерноуборочного комбайна является наиболее предпочтительным с точки зрения его производительности. Однако комбайн в этом случае придется радикально перекомпоновывать. В частности, необходимо существенно укоротить соломотряс (за ненадобностью) и сдвинуть назад молотильный барабан.

3. Предварительные (установочные) опыты подтвердили наличие выявленной теоретически тенденции, для более полного изучения которой целесообразно провести более широкую серию натурных лабораторных экспериментов.

Список источников

1. Технология уборки зерновых культур методом очесывания на корню: состояние и перспективы / А.М. Леженкин, В.И. Кравчук, А.С. Кушнарев. Дослидницкое, 2010. 400 с.

2. Червяков И.В. Совершенствование процесса уборки зерновых культур комбайновым очесом: автореф. дис. … канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2020. 22 с.

3. Жалнин Э.В. Уборка с очесом на корню: за и против // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 10-12.

4. Шабанов Н.П. Разработка и обоснование устройства для сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере зерноуборочного комбайна: автореф. дисс. … канд. техн. наук. Симферополь, 1997. 26 с.

5. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops / Yu.F. Lachuga, A.I. Buryanov, V.I. Pakhomov, I.V. Chervyakov // Russian Agricultural Sciences. 2020. No 46 (2). P. 198-201.

6. Жатка трансформируемая очесывающая навесная ЖОНТУ-6: протокол приемочных испытаний № 11-26-13 (1060032). Зерноград: ФГУ «Северо-Кавказская МИС», 2013. 6 с.

7. Патент на изобретение № 2566015 РФ, МПК A01D41/12. Наклонная камера зерноуборочного комбайна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. № 2014135980/13; заявл. 03.09.2014; опубл. 20.10.2015. Бюл. № 29. 8 с.

8. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф. Наклонная камера зерноуборочного комбайна // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 65-70.

9. Ожерельев В.Н. Предварительная сепарация очесанного зернового вороха в наклонной камере / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию

агроинженерного факультета. Ч. 1. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ имени императора Петра I», 2015. С. 165-170.

10. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Результаты адаптации конструкции комбайна к работе с очесывающей жаткой // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 2. С. 190-206.

11. Очес растений на корню с предварительной сепарацией свободного зерна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, Н.В. Синяя, М.Е. Чаплыгин, Т.О. Федина // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89. № 1. С. 73-79.

12. Патент на изобретение № 2756602 РФ, МПК A01D 41/00, A01D 41/02. Зерноуборочный комбайн / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, М.В. Ожерельева, П.В. Ожерельев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Брянский ГАУ. № 2020137033; заявл. 10.11.2020; опубл. 04.10.2021. Бюл. № 28. 7 с.

13. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresher / V.N. Ozherelyev, V.V. Nikitin, N.M. Belous, V.E. Torikov // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. T. 7. No 2.13 Special Issue 13. P. 114-116.

14. Тишанинов К.Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы решетного стана // Наука в центральной России. 2021. № 4 (52). С. 13-17.

15. Горячкин В.П. Собрание сочинений в трех томах. М.: Колос, 1968. Т. 1. 720 с.

16. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К «ПАЛЕССЕ GS10». Инструкция по эксплуатации. 2013. 231 с.

17. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2003. 624 с.

References

1. Technology of harvesting grain crops by combing on the root: state and prospects / A.M. Lezhenkin, V.I. Kravchuk, A.S. Kushnarev. Doslidnitskoe, 2010. 400 p.

2. Chervyakov I.V. Improvement of the process of harvesting grain crops by combine harvester: abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don, 2020. 22 p.

3. Zhalnin E.V. Cleaning with a comb on the root: pros and cons. *Sel'skij mekhanizator = Rural mechanizer*. 2013; (8): 10-12. (In Russ.).

4. Shabanov N.P. Development and justification of a device for separation of a combed grain heap in an inclined chamber of a combine harvester: abstract. diss. ... candidate of Technical Sciences. Simferopol, 1997. 26 p.

5. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops / Yu.F. Lachuga, A.I. Buryanov, V.I. Pakhomov, I.V. Chervyakov. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 45 (2): 198-201.

6. The header is a transformable combing mounted ZHONTU-6: acceptance test protocol No. 11-26-13 (1060032). Zernograd: Federal State University "North Caucasian MIS", 2013. 6 p.

7. Patent for invention No. 2566015 RF, IPC A01D41/12. Inclined chamber of a grain harvester / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin. No. 2014135980/13; dec. 09/03/2014; publ. 10/20/2015. Bull. No. 29. 8 p.

8. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Inclined chamber of a combine harvester. *Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii = Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2016; 3: 65-70. (In Russ.).

9. Ozherelev V.N. Preliminary separation of combed grain heap in an inclined chamber / V.N. Ozhereliev, V.V. Nikitin // Agro-industrial complex at the turn of the century: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 85th anniversary of the agro-engineering faculty. Part 1. Voronezh: FGBOU VPO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", 2015. P. 165-170.

10. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Results of adaptation of the combine design to work with a combing header. *Inzhenernye tehnologii i sistemy = Engineering technologies and systems*. 2022; 32 (2): 190-206. (In Russ.).

11. Oches of plants on the root with preliminary separation of free grain / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin, N.V. Sinaya, M.E. Chaplygin, T.O. Fedina. *Traktory i sel'hozmashiny = Tractors and agricultural machines*. 2022; 89 (1): 73-79. (In Russ.).

12. Patent for invention No. 2756602 RF, IPC A01D 41/00, A01D 41/02. Combine harvester / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin, M.V. Ozhereleva, P.V. Ozherelev; applicant and patent holder FGBOU VO

Bryansk State Agrarian University. No. 2020137033; dec. 11/10/2020; publ. 04.10.2021. Bull. No. 28. 7 p.

13. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresher / V.N. Ozherelyev, V.V. Nikitin, N.M. Belous, V.E. Torikov. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018; 7 (2.13): 114-116.

14. Tishaninov K.N. Substantiation of the structural and technological scheme of the sieve mill. *Nauka v central'noj Rossii = Science in Central Russia*. 2021; 4 (52): 13-17. (In Russ.).

15. Goryachkin V.P. Collected works in three volumes. M.: Kolos, 1968. T. 1. 720 p.

16. Combine harvester self-propelled KZS-10K "PALESSE GS10". User manual. 2013. 231 p.

17. Khalansky V.M., Gorbachev I.V. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. Moscow: Kolos, 2003. 624 p.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; В.В. Никитин – доктор технических наук, доцент; В.Ф. Комогорцев – кандидат физико-математических наук, доцент; Н.В. Синяя – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

V. Ozherelev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; V. Nikitin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; V. Komogortsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; N. Sinyaya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 27.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023