

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.354.2

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-4-10>

Роторный сепаратор очесанного зернового вороха в наклонной камере комбайна

В.Н. Ожерельев¹, В.В. Никитин^{2✉}, Д.В. Старостин³^{1,2,3} Брянский государственный аграрный университет; Брянская обл., Россия¹ vicoz@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>² viktor.nike@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>³ dmitry501@bk.ru

Аннотация. Минимизировать травмирование свободного зерна рабочими органами молотилки при очесе растений на корню позволяет его предварительная сепарация. Для этого используется наклонная камера комбайна. С целью оценки сепарирующей способности роторного сепаратора очесанного зернового вороха в зависимости от его конструктивных параметров и режима работы устройства проведен эксперимент на озимой пшенице сорта Московская 56 влажностью 12%. Разработанная экспериментальная установка включала в себя 6 поперечных сетчатых роторов диаметром 170 мм. В первой серии опытов интенсивность сепарации определяли при расстоянии между прутковыми кольцами ротора 6, 8, 10, 12 и 14 мм. На втором этапе интенсивность сепарации устанавливали с учетом изменения окружной скорости поверхности роторов с 1 до 3 м/с, с шагом 0,5. Во всех вариантах опыта угол наклона корпуса экспериментальной установки составлял 45°, подача очесанного зернового вороха принимала значения 1 кг/с. В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что интенсивность сепарации свободного зерна повышается с увеличением расстояния между прутковыми кольцами устройства и снижением окружной скорости роторов. В первом случае зависимость линейная, а во втором – полином второй степени. Максимальный проход свободного зерна (100%-ная сепарация) соответствует окружной скорости роторов 1 м/с и расстоянию между прутковыми кольцами 14 мм. Резервами роста производительности роторного сепаратора являются увеличение диаметра роторов до 300 мм и снижение их окружной скорости до 2...2,5 м/с. Изменение указанных параметров на 30...35% сохраняет на приемлемом уровне транспортирующую способность наклонной камеры комбайна.

Ключевые слова: роторный сепаратор, сепаратор очесанного зернового вороха, сепарация, интенсивность сепарации, наклонная камера комбайна, проход свободного зерна

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Старостин Д.В. Роторный сепаратор очесанного зернового вороха в наклонной камере комбайна // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 3. С. 4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-4-10>

ORIGINAL ARTICLE

Rotary separator of the stripped grain pile in the inclined chamber of the combine harvester

V.N. Ozherelev¹, V.V. Nikitin^{2✉}, D.V. Starostin³^{1,2,3} Bryansk State Agrarian University; Bryansk region, Russia¹ vicoz@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>² viktor.nike@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>³ dmitry501@bk.ru

Abstract. Preliminary separation minimizes damage of free grain by the working parts of the thresher when stripping standing crops. For this purpose, it is advisable to use the inclined chamber of a combine harvester. The purpose of this study is to evaluate the separating ability of a rotary separator depending on its design parameters and operating mode. The research included two stages. In the first series of experiments, the distance between the rod

rings was changed (6; 8; 10; 12, and 14 mm), in the second series: the peripheral speed of the rotor surface (1 to 3 m/s). Experimental studies were carried out on winter wheat of the “Moskovskaya 56” variety with a moisture content of 12%. The inclination angle of the experimental installation body in all variants of the experiment was 45°, and the supply of stripped grain heap was 1 kg/s. Based on the results of laboratory studies, it was established that the intensity of separation of free grain increases as the distance between the rod rings of the device increases and the peripheral speed of the rotors decreases. The maximum passage of loose grain (100%) corresponds to a peripheral speed of the rotors of 1 m/s and a distance between the rod rings of 14 mm. The reserves for increasing the productivity of a rotary separator are an increase in the diameter of the rotors and a decrease in their peripheral speed. When these parameters change by 30 to 35%, the transport capacity of the inclined chamber remains at an acceptable level.

Keywords: separation of the stripped grain pile, inclined chamber of the combine harvester, sieve plate of the inclined chamber of the combine harvester, rotary separator, loose grain passage

For citation: Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Starostin D.V. Rotary separator of the stripped grain pile in the inclined chamber of the combine harvester. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(3):4-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-4-10>

Введение

Обострение конкуренции на мировом рынке зерна стимулирует ученых к изысканию вариантов механизации уборки, альтернативных традиционным [1, 2]. Перспективным направлением совершенствования процесса механизированной уборки зерна является его очес на корню [3-6]. Его применение позволяет уменьшить энергозатраты и обеспечить снегозадержание остающимися на поле после очеса стеблями, что является особенно значимым в зоне сухих степей – например, в Северном Казахстане [7-9].

Уборка зерновых культур очесом растений на корню широко не распространена, поскольку излишнее механическое воздействие молотильного аппарата на свободное зерно, присутствующее в очесанном ворохе до 80%, приводит к повышению степени его дробления и иным повреждениям. Также велики непроизводительные затраты энергии, не обусловленные потребностями технологического процесса.

Предварительная сепарация вороха с выделением из него свободного зерна и направление его в систему очистки комбайна минуя молотильный аппарат позволяют решить проблему дробления зерна [10-12]. В результате многолетних исследований удалось добиться приемлемых результатов по выделению свободного зерна на решетчатом днище наклонной камеры комбайна [13]. Отметим, что при данном конструктивном исполнении наклонной камеры практически исчерпаны резервы для интенсификации процесса сепарации очесанного вороха, поскольку имеет место сжатие порции вороха, перемещаемой скребком, вследствие ее трения по поверхности перемычек между отверстиями решетчатого днища.

Авторами выдвинута гипотеза: ускорить сепарацию можно вертикальным воздействием на движущийся массив вороха, как бы разрывая его и рассредоточивая

на отдельные фрагменты посредством ряда поперечных вращающихся сетчатых роторов, перемещающих ворох своими верхними частями [14].

Цель исследований: экспериментальная оценка принципиальной работоспособности предложенного устройства, выявление зависимости интенсивности сепарации от его конструктивных параметров и режима работы.

Материалы и методы

Объектом исследований является роторный сепаратор (рис. 1), выполненный в виде ряда поперечных сетчатых роторов 3 (рис. 2), смонтированных в корпусе наклонной камеры комбайна вместо скребкового транспортера. Каждый ротор включает в себя боковые диски, соединенные по образующим цилиндра зубчатыми радиальными планками 2, в радиальных прорезях которых смонтированы прутковые кольца 4, образующие вместе с планками 2 цилиндрическую сетчатую поверхность (рис. 2). Расстояние b между кольцами 4 может быть изменено путем удаления некоторых из них.

Предметом исследований является сепарирующая способность роторного сепаратора, ее зависимость от его конструктивных параметров и режима работы.

Роторный сепаратор работает следующим образом. Очесанный ворох 7 поступает на верхнюю часть нижнего ротора 3, при вращении которого он перебрасывается на верхнюю поверхность следующего ротора, на котором процесс динамического взаимодействия повторяется вновь (рис. 1). При этом в результате периодического подбрасывания ворох рассредоточивается, вследствие чего содержащееся в нем свободное зерно 8 просыпается вниз сквозь сетчатые поверхности роторов 3 на шнек 4, который подает его на транспортную доску 9 системы очистки.

Более крупные компоненты *10* очесанного вороха (недомолоченные колосья и соломины) подхватываются наружными кромками радиальных планок *6* и, пройдя поверхности всех роторов *3*, поступают на домолот в зазор между барабаном *5* и подбарабаньем.

Для реализации цели исследований была разработана экспериментальная установка, включающая в себя шесть поперечных сетчатых роторов *6* (рис. 3). Диаметр ротора по прутковым кольцам *8* составлял 170 мм, а расстояние *b* между кольцами могло принимать значения 6, 8, 10, 12 и 14 мм. Такая дифференциация расстояния между кольцами обеспечивалась путем использования сменных радиальных планок *7* с соответствующим шагом зубьев и прорезей на их наружных кромках (рис. 3).

Частота вращения роторов регулировалась за счет использования в системе электропривода частотного преобразователя Веспер Е2-8300. Окружная скорость поверхности роторов принимала значения 1; 1,5; 2; 2,5; 3 м/с. Секундная подача вороха на верхнюю часть нижнего ротора соответствовала пропускной

способности молотилки серийного комбайна КЗС-1218 с ее пересчетом на ширину экспериментальной установки и составляла 1 кг/с.

В нижней части корпуса элеватора был смонтирован пластиковый поддон, в котором концентрировался проход вороха. Его сход с верхнего ротора накапливался в соответствующей емкости.

Во всех вариантах опыта использовался очесанный ворох пшеницы сорта Московская 56 влажностью порядка 12%. Угол наклона корпуса экспериментальной установки оставался неизменным и составлял 45°. Каждый вариант опыта выполнялся в пятикратной повторности.

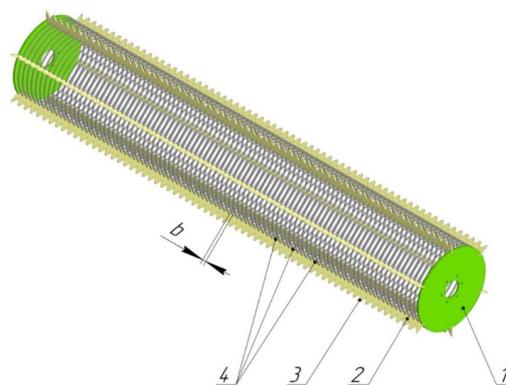


Рис. 2. Общий вид сетчатого ротора:

- 1 – боковой диск; 2 – радиальная планка;
- 3 – наружная кромка планки; 4 – кольца прутковые

Fig. 2. General view of the mesh rotor:

- 1 – side disc; 2 – radial bar;
- 3 – outer edge of the bar; 4 – bar rings

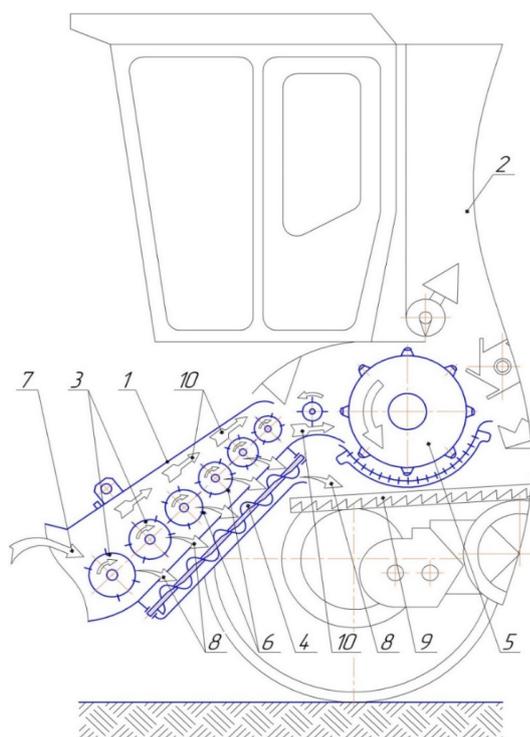


Рис. 1. Принципиальная схема сепаратора очесанного вороха ротационного типа [13]:

- 1 – наклонная камера; 2 – молотилка комбайна;
- 3 – сетчатые роторы; 4 – шнек; 5 – барабан;
- 6 – радиальная планка; 7 – очесанный ворох;
- 8 – свободное зерно; 9 – транспортная доска;
- 10 – недомолоченные колосья

Fig. 1. Schematic diagram of a rotary-type stripped heap separator:

- 1 – inclined chamber; 2 – combine thresher; 3 – mesh rotors;
- 4 – auger; 5 – drum; 6 – radial bar; 7 – stripped pile;
- 8 – loose grain; 9 – transport board; 10 – half-threshed ears

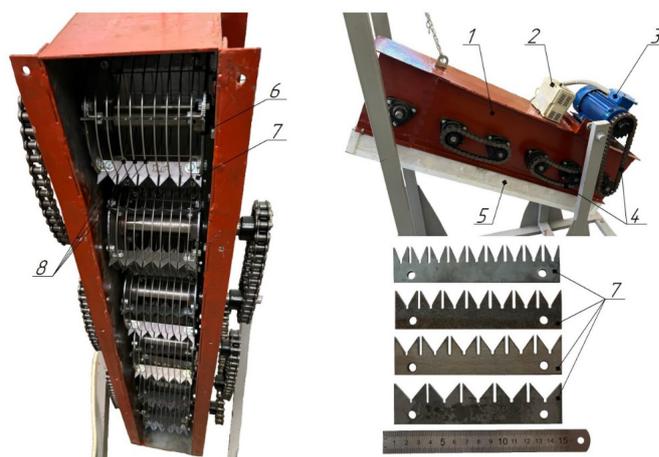


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки:

- 1 – корпус; 2 – преобразователь частоты Веспер Е2-8300;
- 3 – электродвигатель; 4 – цепная передача;
- 5 – улавливающий поддон для сбора проходовой фракции;
- 6 – ротор; 7 – радиальная планка; 8 – кольцо прутковое

Fig. 3. General view of the experimental installation:

- 1 – housing; 2 – Vesper frequency converter E2-8300;
- 3 – electric motor; 4 – chain transmission;
- 5 – trapping tray for collecting the feed fraction;
- 6 – rotor; 7 – radial bar; 8 – bar ring

Результаты и их обсуждение

В целом результаты эксперимента подтвердили работоспособность роторного сепаратора. Если сопоставить их с результатами, полученными при сепарации очесанного вороха на решетчатом днище наклонной камеры, то разница является несущественной (табл.). Это обусловлено оптимальным размером отверстий решетчатого днища наклонной камеры комбайна, обеспечивающим максимальный проход свободного зерна. У роторного сепаратора размеры барабана (шаг между прутками и диаметр) были взяты произвольно. Их дальнейшее уточнение должно обеспечить большую сепарирующую способность в сравнении с решетчатым днищем, однако для этого необходимо провести дополнительные лабораторные эксперименты.

Результаты, обработанные в программе *Excel*, свидетельствует о наличии тесной связи расстояния между кольцами ротора и прохода зерна, коэффициент детерминации $R^2 = 0,989$ (рис. 4а). При этом связь между параметрами адекватно аппроксимируется линейным уравнением регрессии $\Pi_{\text{зер}} = 1,12 \cdot b + 62$, где b – расстояние между кольцами ротора, мм.

Характер зависимости прохода зерна от ширины отверстий в днище наклонной камеры (рис. 4б) адекватно описывается полиномом второй степени¹: $\Pi_{\text{зер}} = -0,764 \cdot b_{\text{отв}}^2 + 17,489 \cdot b_{\text{отв}} - 22,413$, где $b_{\text{отв}}$ – ширина отверстий решетчатого днища, мм, тогда как рассмотренное выше уравнение регрессии для роторного сепаратора является линейным (рис. 4а). Здесь формальные математические отличия отражают качественную разницу, характерную

Величина прохода зерна сквозь сетчатые роторы и решетчатое днище наклонной камеры, %

Таблица

Table

Amount of grain flowing through the mesh rotors and the sieve plate of the inclined chamber, %

Роторы / Rotors		Решетчатое днище / Sieve plate	
Расстояние между кольцами, мм <i>Distance between rings, mm</i>	Проход зерна, % <i>Grain passage, %</i>	Ширина отверстий, мм <i>Hole width, mm</i>	Проход зерна % <i>Grain passage, %</i>
6	68,75	6	55,04
8	71,08	8	68,59
10	73,26	10	76,14
12	74,84	12	77,47
14	78,07	-	-
Среднее, % / Average value	71,98	Среднее, % / Average value	69,31

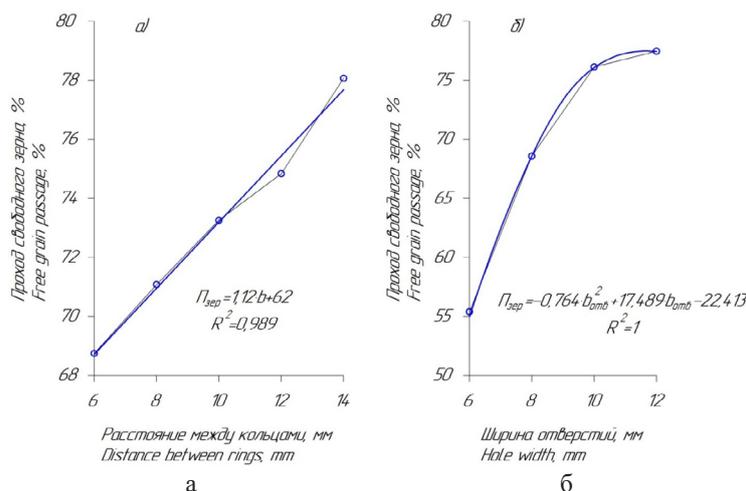


Рис. 4. Зависимость прохода зерна от расстояния между кольцами ротора (а) и ширины отверстий решетчатого днища наклонной камеры (б)

Fig. 4. Relationship between grain passage and the distance between the rotor rings (a) and the width of the holes in the sieve plate of the inclined chamber (b)

¹ Никитин В.В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов: Дис. ... д-ра техн. наук. Брянск, 2021. 350 с.

для протекания указанных процессов. На решетчатом днище наклонной камеры истечение зерна происходит из сжимаемого силами трения объема, тогда как роторы рассредоточивают поступающий на них ворох.

Существенное влияние на процесс сепарации оказывает и скорость движения вороха. Графическая интерпретация двух вариантов зависимости при одинаковых уровнях варьирования скорости 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 м/с, за исключением варианта $v = 0,5$ м/с, имевшего место только при работе с решетчатым днищем наклонной камеры, представлена на рисунке 5. В первом случае (рис. 5а) зависимость прохода зерна сквозь отверстия решетчатого днища наклонной камеры размером 160×8 мм от скорости подачи вороха имеет вид²:

$$\Pi_{\text{зер}} = -5,148 \cdot v_{\text{тр}}^2 + 4,426 \cdot v_{\text{тр}} + 99,847, \quad (1)$$

где $v_{\text{тр}}$ – скорость движения скребков наклонного транспортера, м/с.

Во втором случае (рис. 5б) зависимость прохода свободного зерна через роторный сепаратор от скорости подачи вороха (окружной скорости поверхности роторов) аппроксимирована полиномом:

$$\Pi_{\text{зер}} = -7,018 \cdot v_p^2 + 17,363 \cdot v_p + 89,5, \quad (2)$$

где v_p – окружная скорость поверхности роторов, м/с.

Структура выражений (1) и (2) в значительной степени является подобной. Это свидетельствует о том, что несмотря на принципиальные конструктивные отличия, реализуется технологический процесс, основанный на подобных физических принципах. Если предельно «огрубить» ситуацию, оставив

пока без внимания предложенную ранее гипотезу о послыном соскальзывании зерен в отверстия решетчатого днища, то за основу можно было бы принять свободное (гравитационное) падение тела в вязкой среде, то есть некий объем, сформированный в виде вертикального столба с поперечным сечением, меньшим ширины отверстий в решетчатом днище, падает вниз, притормаживаемый со всех сторон трением среды. В этом случае за период времени t он совершает вертикальное перемещение h , описываемое выражением:

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2 \cdot \mu}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент «вязкости» среды.

Поскольку время t перемещения по решетчатому днищу скребка обратно пропорционально его скорости v , то увеличение последнего параметра процесса приводит к соответствующему уменьшению времени сепарации, пропорционально квадрату которого уменьшается величина вертикального перемещения сепарируемого объема сквозь соответствующее отверстие. Следует понимать, что такой принцип движения характерен для части сепарируемого объема, тогда как остальная его масса соскальзывает затем в «полуворонку», сформированную гравитационным выпадением основного «столба» зерна [14].

Поскольку структуры выражений (1) и (2) в значительной степени подобны, то представляется адекватным распространить (хотя бы частично) описанный выше принцип сепарирования и на роторный сепаратор, то есть основу процесса и в этом случае должно составлять гравитационное выпадение

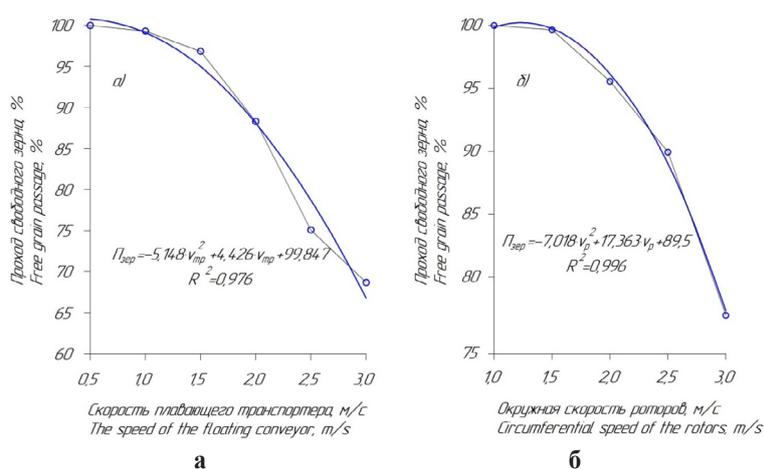


Рис. 5. Зависимость прохода зерна от скорости подачи вороха:
а) решетчатое днище наклонной камеры; б) роторный сепаратор

Fig. 5. Relationship between grain passage and the feed speed of the heap:
a) sieve plate of the inclined chamber; b) rotary separator

² Никитин В.В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов: Дис. ... д-ра техн. наук. Брянск, 2021. 350 с.

вертикальных слоев зерна между прутковыми кольцами роторов (рис. 1, 2). Кроме того, при работе роторного сепаратора определенную роль играет центробежная сила, сообщаемая компонентам вороха вращающимися поверхностями роторов. Так, при диаметре ротора 170 мм и окружной скорости 3 м/с центробежная сила, возникающая на внешней кромке ρ радиальной планки δ (рис. 2), почти в 10 раз превышает силу тяжести, что вызывает значительный вертикальный отброс компонентов сепарируемого вороха. С одной стороны, это явление можно считать положительным, поскольку оно способствует вертикальному рассредоточению вороха, а с другой стороны, оно препятствует гравитационному проскальзыванию значительной части зерен между прутковыми кольцами роторов. С этой точки зрения было бы целесообразно увеличить диаметр роторов с одновременным уменьшением окружной скорости их поверхностей. Так, при уменьшении окружной скорости до 2 м/с и увеличении диаметра роторов до 0,3 м величина центробежной силы только в 2,7 раза превысит силу тяжести. Такой разницы будет достаточно для эффективного рассредоточения сепарируемого слоя вороха, но это сведет к минимуму излишний разброс компонентов.

Уменьшение окружной скорости роторов не должно отрицательно отразиться на транспортирующей способности наклонной камеры. Дело в том, что

в результате сепарации на выходе остается 15...20% исходной массы вороха, что соответствует 40...60% исходного объема. В связи с этим уменьшение окружной скорости роторов до 65...70% от максимальной сохраняет большую долю транспортирующей способности наклонной камеры по сравнению с долей остатка исходного вороха по объему на выходе из нее.

Выводы

1. При принятых конструктивно-кинематических параметрах (диаметр роторов – 170 мм, расстояние между прутковыми кольцами – 14 мм, окружная скорость – 3 м/с) ротационный сепаратор обеспечивает эффективность сепарации, сопоставимую с ее осуществлением на решетчатом днище наклонной камеры.

2. Проход зерна в роторном сепараторе зависит как от расстояния между прутковыми кольцами, так и от окружной скорости роторов. В первом случае зависимость является линейной, а во втором случае она представляет собой полином второй степени.

3. Резервами роста производительности роторного сепаратора являются увеличение диаметра роторов до 300 мм и снижение их окружной скорости до 2...2,5 м/с. При изменении указанных параметров на 30...35% транспортирующая способность наклонной камеры сохраняется на приемлемом уровне.

Список источников

1. Lachuga Yu.F., Bur'yanov A.I., Pakhomov V.I., Chervyakov I.V. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46(2):198-201. <https://doi.org/10.3103/S1068367420020111>
2. Федин М.А., Кухарев О.Н., Кухмазов К.З., Семов И.Н., Федина Т.О. Результаты лабораторных исследований по определению оптимальных конструктивных и режимных параметров ротора // *Нива Поволжья*. 2018. № 4 (49). С. 169-174. EDN: VQCIJZ
3. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Червяков И.В., Горячев Ю.О. Разработка и совершенствование методов обесчуживания технологии комбайновой уборки зерновых колосовых культур очесом // *Вестник аграрной науки Дона*. 2017. № 2. С. 59-72. EDN: ZVKDAZ
4. Buryanov A.I., Chervyakov I.V. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019;59(3):27-32. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-03>
5. Савин В.Ю. Зависимость степени дробления зерна пшеницы от частоты вращения очесывающего устройства // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018. № 3. С. 98-102. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.98>
6. Савин В.Ю. Исследование очесывающего аппарата устройства для уборки зерновых культур как колебательной системы // *Инженерные технологии и системы*. 2021. Т. 31, № 3. С. 403-413. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>

References

1. Lachuga Yu.F., Buryanov A.I., Pakhomov V.I., Chervyakov I.V. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46 (2):198-201. <https://doi.org/10.3103/S1068367420020111>
2. Fedin M.A., Kuharev O.N., Kuhmazov K.Z., Semov I.N., Fedina T.O. The results of laboratory tests on the determination of the optimal constructive and operating parameters of rotor. *Niva Povolzhya*. 2018;4(49):169-174. (In Russ.)
3. Buryanov A.I., Chervyakov I.V., Goryachev Yu.O. Developing and improving the technology of combine harvesting of cereals by combing. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2017;38:59-72. (In Russ.)
4. Buryanov A.I., Chervyakov I.V. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019;59(3):27-32. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-03>
5. Savin V.Yu. The dependence of the degree of damaging of wheat grain on the rotational velocity of rotary-comb dresser. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;3:98-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.98>
6. Savin V.Yu. Study of a stripper header for grain harvesting as a vibrating system. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(3):403-413. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>
7. Chaplygin M.E., Pekhalskiy I.A., Tronev S.V. The choice of combine harvesters and their adapters for the conditions of Northern Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020;51(3):74-76.

7. Chaplygin M.E., Pekhalskiy I.A., Tronev S.V. The choice of combine harvesters and their adaptors for the conditions of Northern Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020;51(3):74-76.

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

9. Astafyev V.L., Golikov V.A., Zhalnin E.V., Pavlov S.A., Pekhalskiy I.A. Strategy of technical support of grain harvesting operations in Republic of Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020;51(3):46-51. https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002246521566465

10. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: SU1687078 A1 / А.В. Дементьев, В.И. Скорик, Б.К. Пастухов, Ж.С. Садыков, Б.И. Андрусенко. Заяв. № 4689013 от 12.05.1989; опубл. 30.10.1991. EDN: APWJMQ

11. Ozherelyev V.N., Nikitin V.V., Belous N.M., Torikov V.V. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresh-ER. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018;7(2.13):114-116. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>

12. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Сепарация очесанного зернового вороха на решетчатом днище наклонной камеры комбайна // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 35-40. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-35-40>

13. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: Патент RU2809100 C1, A01D61/00; A01D41/12 / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. Заяв. № 2023105834 от 13.03.2023; опубл. 16.12.2023. EDN: CCEVZM

14. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Теория и практика сепарации очесанного зернового вороха на наклонной решетчатой поверхности // *Вестник НГИЭИ*. 2018. № 7 (86). С. 58-67. EDN: XRZDZJ

8. Zhalnin E.V. Cleaning with feathering on the vine: pros and cons. *Selskiy Mekhanizator*. 2013;8:10-12. (In Russ.).

9. Astafyev V.L., Golikov V.A., Zhalnin E.V., Pavlov S.A., Pekhalskiy I.A. Strategy of Technical Support of Grain Harvesting Operations in Republic of Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020;51(3):4651. https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002246521566465

10. Dementiev A.V., Skorik V.I., Pastukhov B.K., Sadykov Zh.S., Andrusenko B.I. Inclined chamber of grain combine: SU1687078 SSSR. No. 4689013/15, 1991. (In Russ.).

11. Ozherelyev V.N., Nikitin V.V., Belous N.M., Torikov V.V. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresh-ER. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018;7(2.13):114-116. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>

12. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Grain heap separation at the grates of a combine feederhouse. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(3):35-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-35-40>

13. Inclined chamber of a grain combine: Pat. RU2809100 C1, A01D61/00; A01D41/12. Application No. 2023105834, 2023. (In Russ.)

14. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Theory and practice of separation of grain heap in an inclined slatted surface. *Bulletin NGIEI*, 2018;6(85):58-67. (In Russ.).

Информация об авторах

Виктор Николаевич Ожерельев¹, д-р с.-х. наук, профессор; vicoz@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

Виктор Васильевич Никитин^{2,3}, д-р техн. наук, доцент; viktor.nike@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>

Дмитрий Владимирович Старостин³, аспирант; dmitry501@bk.ru

^{1,2,3}Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 26

Вклад авторов

В.Н. Ожерельев – выполнил теоретические исследования и подготовил рукопись;

В.В. Никитин – подготовил и выполнил экспериментальные исследования и участвовал в формулировании теоретической гипотезы;

Д.В. Старостин – литературный анализ, обработка результатов исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 08.01.2024, после рецензирования и доработки 28.03.2024; принята к публикации 15.04.2024

Author Information

Viktor N. Ozherelev¹, DSc (Ag), Professor vicoz@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

Viktor V. Nikitin^{2,3}, DSc (Eng), Associate Professor viktor.nike@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>

Dmitriy V. Starostin³, postgraduate student dmitry501@bk.ru

^{1,2,3}Bryansk State Agrarian University; 2b Sovetskaya Str., Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation

Author Contribution

V.N. Ozherelev – theoretical investigation, writing – original draft preparation;

V.V. Nikitin – experimental research, formulation of the theoretical hypothesis;

D.V. Starostin – literature review, processing the research results.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 08.01.2024, Revised 28.03.2024, Accepted 15.04.2024