



## Влияние угла наклона решетки на эффективность предварительной сепарации очесанного вороха

В. В. Никитин, В. Н. Ожерельев

Брянский государственный аграрный университет  
(с. Кокино, Российская Федерация)

[vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

### Аннотация

*Введение.* Актуальной научной и практической задачей является обоснование выбора наиболее перспективного варианта устройства для предварительной сепарации очесанного вороха, а также оптимизация его конструкции.

*Цель исследования.* Оценка влияния угла наклона решетки на эффективность предварительной сепарации очесанного вороха.

*Материалы и методы.* Минимизировать поступление свободного зерна в молотилку можно посредством либо решетчатого днища наклонной камеры, либо горизонтального устройства предбаранного типа. Для выбора оптимального варианта конструкции сепарирующего устройства был спланирован и проведен лабораторный эксперимент. Исследования проводились в два этапа. В первой серии экспериментов корпус элеватора устанавливали горизонтально, а во второй – под углом  $45^\circ$  к горизонту. Ширина отверстий решетчатого днища имела четыре уровня варьирования (6, 8, 10 и 12 мм), а скорость скребкового транспортера составляла 3 м/с. В качестве объекта исследования был выбран очесанный ворох озимой пшеницы сорта «московская 56». Влажность зерна составляла 12 %.

*Результаты исследования.* Установлено, что с увеличением ширины отверстий решетчатой поверхности интенсивность сепарации свободного зерна повышается. Максимальная пропускная способность (90 %) устройства соответствует горизонтальному положению решетчатого днища экспериментальной установки и ширине отверстий  $b = 12$  мм. Экстраполяция графика убывания свободного зерна свидетельствует о том, что для обеспечения полного выделения свободного зерна длина сепарирующей решетки должна быть не менее  $L = 0,9$  м.

*Обсуждение и заключение.* Использование горизонтальной решетки позволяет повысить сепарирующую способность устройства, а также снизить его металлоемкость на 14–16 %.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, очес растений на корню, свободное зерно, очесанный ворох, сепарирующая решетка

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** авторы выражают признательность анонимным рецензентам, объективные замечания которых способствовали повышению качества статьи.

© Никитин В. В., Ожерельев В. Н., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.


*Для цитирования:* Никитин В. В., Ожерельев В. Н. Влияние угла наклона решетки на эффективность предварительной сепарации очесанного вороха // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 1. С. 26–43. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.026-043>

Original article

## Influence of the Grid Inclination Angle on the Efficiency of Preliminary Separation of the Combed Heap

V. V. Nikitin, V. N. Ozherelev 

Bryansk State Agrarian University  
(Kokino, Russian Federation)

 [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

### Abstract

*Introduction.* A highly topical scientific and practical task is to justify the choice of the most advanced variant of the device for pre-separating the combed heap and to optimize its design.

*Aim of the Study.* The study is aimed at testing the effect of the grid inclination angle on the effectiveness of pre-separating the combed heap.

*Materials and Methods.* It is possible to minimize the separated grain flow into the threshing machine either by means of a feeder house grid bottom or by means of a horizontal separating device, located directly in front of the threshing drum. To select the optimal design of the separation device, there was planned and conducted a laboratory experiment. The study was carried out in two stages. In the first series of experiments, the elevator body was installed horizontally, and in the second series – at an angle of 45° to the horizon. The width of the grid bottom openings had four variations (6, 8, 10 and 12 mm), and the speed of the scraper conveyor was 3 m/s. A combed heap of the winter wheat variety Moskovskaya 56 was selected as the study object. The grain moisture was 12%.

*Results.* According to the results of laboratory studies, it was found that with an increase in the width of the grid surface openings, the intensity of separating grain increases. The maximum device throughput (90%) corresponds to the horizontal position of the grid bottom of the experimental installation and the width of the openings  $b = 12$  mm. Extrapolation of the separated grain decreasing graph indicates that to ensure complete separation of grain, the length of the separating grid should be at least  $L = 0.9$  m.

*Discussion and Conclusion.* The use of a horizontal separating grid allows increasing the device separation efficiency and reducing its metal content by 14–16%.

**Keywords:** combine harvester, combing of standing crops, separated grain, preliminary separation, separating grid

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements:** The authors express their gratitude to anonymous reviewers, whose objective comments contributed to improving the quality of the article.

**For citation:** Nikitin V.V., Ozherelev V.N. Influence of the Grid Inclination Angle on the Efficiency of Preliminary Separation of the Combed Heap. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(1):26–43. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.026-043>

## Введение

Одним из важнейших показателей стратегической устойчивости государства является объем производимого зерна<sup>1</sup>. Российская зерновая отрасль вместе со всем сельским хозяйством прошла за последние десятилетия большой путь через радикальные институциональные преобразования к полноценному рынку. Далеко не все на этом пути было однозначно позитивным, однако, уже в 2020 г. объем производства зерна превысил в 1,26 раза соответствующий показатель наиболее успешной советской пятилетки (1976–1980 гг.)<sup>2</sup>. Средняя урожайность зерна увеличилась в два раза, что свидетельствует о качественных изменениях в научно-техническом обеспечении отрасли и о значительном повышении ее технологического уровня. В 2022 г. валовой сбор зерна превысил 150 млн т, вследствие чего Россия вышла на его среднедушевое производство на уровне 1 т на человека, что казалось недостижимым еще 30 лет назад.

Одним из главных условий интенсификации зернового производства является его обеспеченность высокоэффективной уборочной техникой. За постсоветский период мы прошли этапы ориентации на имевшийся технический задел, а затем на массовый импорт зерноуборочных комбайнов. При этом удалось в значительной степени сохранить и адаптировать к современным условиям отечественное комбайностроение, которое теперь делит российский рынок с иностранными брендами. Так, в 2019 г. завод «Ростсельмаш» выпустил 78,8 %, а «Брянксельмаш» – 10,42 % от общероссийского производства комбайнов. В 2022 г. третий по объему выпуска зерноуборочных комбайнов в России завод «Клаас-Восток» в Краснодаре попал под санкции Европейского союза, его дальнейшая перспектива пока не определена<sup>3</sup>. Значительные проблемы имеют место и с импортозамещением иностранных комплектующих на отечественных предприятиях, которые до 2022 г. были крепко встроены в технологические цепочки с зарубежными партнерами.

Кроме организационно-экономических проблем в комбайностроении есть нерешенные научно-технические аспекты. Стремление максимально увеличить производительность обмолота привело к ее росту у комбайна RSM-161 до 40 т/ч, тогда как у советского предшественника («Дон-1500Б») она составляла только 14 т/ч. Вследствие этого существенно уменьшается необходимое число комбайнов. Вторым следствием является потребность в более высокой урожайности зерновых культур. Так, комбайн LEXION фирмы CLAAS требует для своей оптимальной загрузки урожайность не ниже 70 ц/га. Очевидно, что при средней урожайности российских полей порядка 25–30 ц/га такая высокопроизводительная техника не окупится.

В связи с этим ряд ученых предлагают решать вопрос оптимизации парка зерноуборочной техники путем ее зональной дифференциации и адаптации к местным условиям за счет перехода на семь классов комбайнов с варьированием пропускной способности молотилки в пределах от 3 до 12 кг/с [1–3]. При наиболее низкой урожайности может быть оправданным переход на раздельную уборку с использованием жаток с порционным сбросом хлебной массы [4; 5].

<sup>1</sup> Алтухов И. А., Васютин А. С. Зерно России. М. : ЭКОНДС-К, 2002. 432 с.

<sup>2</sup> Сельское хозяйство в России. М. : Росстат, 2021. 100 с.

<sup>3</sup> Растениеводство [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobook.ru/blog/user/olga-shupta/nemeckaya-pressa-zapodozrila-claas-v-narushenii-sankciy-protiv-rossii> (дата обращения: 23.06.2023).

Значительные резервы совершенствования процесса уборки зерна содержит его очес на корню. Поскольку до 70 % энергозатрат в молотилке расходуется на перетирание и разрыв соломы, исключение указанного технологического компонента из процесса в результате использования очеса позволит уменьшить энергоемкость обмолота в 1,4–2 раза<sup>4</sup> [6; 7]. При стабильном росте цен на энергоносители это существенный способ повышения экономической эффективности производства и уменьшения себестоимости зерна [8–10].

Несмотря на очевидную перспективность очеса на корню его практическое использование по ряду причин сдерживается. Во-первых, нельзя считать завершенным процесс оптимизации конструкции очесывателей и их отдельных элементов, о чем свидетельствуют многочисленные научные публикации последних лет [11–13]. В частности, для уменьшения энергоемкости очеса предлагается использовать поперечные колебания гребенок [14–16]. Во-вторых, очесанный ворох содержит до 80 % свободного зерна, которое поступает в молотильный зазор, где подвергается технологически немотивированному воздействию бичей барабана. В результате резко возрастает степень дробления зерна и потребляется излишне до 10 кВт мощности двигателя<sup>5</sup>.

Радикально решить проблему могла бы предварительная сепарация очесанного вороха до его поступления в молотилку с целью выделения из него свободного зерна и направления последнего непосредственно на очистку, минуя молотильный аппарат. Следует отметить, что синтезировано и испытано несколько вариантов сепарирующих устройств, которые справляются с поставленной задачей [17; 18]. В связи с этим актуальной научной и практической задачей является обоснование выбора наиболее перспективного варианта устройства для предварительной сепарации очесанного вороха, оптимизация его конструкции.

### Обзор литературы

Чтобы сделать осознанный выбор оптимального варианта конструкции сепарирующего устройства целесообразно, во-первых, четко установить пределы варьирования основных параметров очесанного вороха. У разных авторов они варьируются в широких пределах. Так, содержание свободного зерна в ворохе может меняться в пределах от 60 до 85 %, оборванных колосьев – от 10 до 25 %, а солоmistых компонентов – от 7 до 25 %<sup>6</sup>. При этом следует помнить, что широкие пределы варьирования параметров вороха могут быть обусловлены как конструктивными особенностями очесывателей, так и разными параметрами их настройки. Увеличение частоты вращения очесывающего барабана способствует росту доли свободного зерна, но наряду с этим возрастает и вероятность дробления продукции<sup>7</sup>. Зависят качественные показатели очеса и от формы гребенок [19]. Положительное влияние на процесс очеса может оказать дополнительное сообщение им поперечных колебаний [14]. Нельзя игнорировать и влияние на результат состояния агрофона.

<sup>4</sup> Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств. М. : ОГИЗСЕЛХОЗГИЗ, 1948. 96 с.

<sup>5</sup> Никитин В. В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов : дис. ... д-ра техн. наук. Брянск, 2021. 350 с.

<sup>6</sup> Там же.

<sup>7</sup> Савин В. Ю. Обоснование рациональных параметров и режимов работы прицепного очесывающего устройства для уборки зерновых культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2011. 22 с.

Так, например, в рамках одного исследования при работе на разных полях содержание в ворохе свободного зерна варьировалось от 69,4 до 82,7 %<sup>8</sup>.

Касательно степени дробления зерна отметим, что при испытании жатки «Славянка УАС» его содержание в бункере комбайна не превысило 2 %, тогда как при использовании жатки ЖОНТУ-6 этот показатель увеличился до 2,63 %<sup>9</sup>. В наших исследованиях доля дробленного зерна в бункере временами приближалась к 5 % [20].

Авторами настоящей статьи было выявлено, что испытания очесывателя с предварительной сепарацией свободного зерна свидетельствуют о доминирующей роли в указанном негативном явлении молотильного барабана [18]. В связи с этим задача дальнейшего исследования сводится к выбору наиболее приемлемого конструктивного решения сепарирующего устройства.

Наиболее многочисленные конструктивные решения предполагают снабжение наклонной камеры решетчатым днищем. При этом различия сводятся к способу подачи выделенного из вороха свободного зерна на очистку. Есть вариант, в котором для этой цели используется дополнительный скребковый транспортер [21; 22]. В качестве альтернативы указанному транспортеру могут служить наклонные шнеки [23–25].

Вторая группа технических решений предполагает размещение вслед за очесывающим барабаном домолачивающего, сквозь решетку подбарабannya которого свободное зерно должно просыпаться вниз и отводиться [26]. Существует несколько аналогичных технических решений, обладающих общими недостатками. Во-первых, домолачивающее устройство, размещенное в наклонной камере, дополнительно воздействует на поток зерна, вызывая его излишнее дробление и способствуя этим нерациональному расходу энергии. Во-вторых, дополнительный вес перегружает передний мост комбайна и ухудшает его управляемость. Кроме того, должна быть существенно усилена конструкция остова молотилки. Негативные побочные явления при такой модернизации комбайна могут превысить по значимости получаемый от нее положительный эффект.

Третья группа технических решений предполагает размещение сепарирующего устройства непосредственно перед молотильным барабаном или вместо него [27; 28]. С точки зрения оптимизации технологического процесса и сложившегося традиционно распределения веса между мостами комбайна такое компоновочное решение предпочтительно. Однако при этом необходимо сдвигать назад молотильный барабан и укорачивать соломотряс из-за радикального уменьшения поступления на него солоистой массы. Таким образом, комбайн должен быть подвергнут радикальной перекомпоновке.

С точки зрения принципа работы укрупненно можно сформировать две альтернативные группы технических решений. В первой сепарация осуществляется на наклонной решетчатой поверхности, а во второй – на горизонтальной или близкой к горизонтальной [29]. Наряду с сопоставлением весовых и компоновочных аспектов

<sup>8</sup> Червяков И. В. Совершенствование процесса уборки зерновых культур комбайновым очесом : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 2020. 22 с.

<sup>9</sup> Жатка трансформируемая очесывающая навесная ЖОНТУ-6 [Электронный ресурс]. URL: [https://skmis.ru/test/test\\_result/2013/test\\_prijom2013/zernouborochnaya\\_tehnika/gatka\\_gontu\\_6.html](https://skmis.ru/test/test_result/2013/test_prijom2013/zernouborochnaya_tehnika/gatka_gontu_6.html) (дата обращения: 23.06.2023).

конкурирующих конструктивных решений целесообразной является оценка влияния на скорость сепарации пространственной ориентации сепарирующей решетки.

Если за ближайший аналог по принципу работы принять бункерные устройства, используемые для накопления и кратковременного хранения зерна, то скорость его истечения из отверстий при разной пространственной ориентации последних существенным образом изменяется. Так, при боковой разгрузке бункера скорость истечения зерна выражается следующей зависимостью:

$$V_{\alpha} = V \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – положение выпускающего лотка по отношению к горизонтальной плоскости, град;  $V$  – вертикальная составляющая скорости истечения зерна, м/с.

С точки зрения законов гидравлики, скорость истечения сыпучего материала может быть определена следующим образом:

$$V \approx \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (2)$$

где  $h$  – координата высоты столба сыпучего материала, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент истечения, варьирующий в пределах 0,2–0,65<sup>10</sup>.

Широкие пределы варьирования величины коэффициента  $\lambda$  обусловлены тем, что разные сыпучие материалы не могут быть сопоставимы по своим параметрам, определяющим скорость истечения, главным из которых является угол внутреннего трения  $\varphi$ <sup>11</sup>. С этой точки зрения истечение из отверстий чистого зерна не вполне соответствует по характеру и параметрам аналогичному процессу для очесанного зернового вороха, в котором кроме зерна присутствуют легкие примеси и соломистые компоненты. Более того, как было установлено ранее, при истечении мелких компонентов очесанного вороха, перемещаемого скребком транспортера по поверхности решетки, имеют место движение наклонных слоев и качение зерен внутри каждого соскальзывающего слоя [19]. Если же рассматривать скорость истечения мелких компонентов очесанного вороха как среднестатистический показатель, формула (1) свидетельствует о принципиальном преимуществе горизонтальной ориентации решетки, тогда как величину указанного преимущества можно определить только экспериментальным путем, чему и посвящено настоящее исследование.

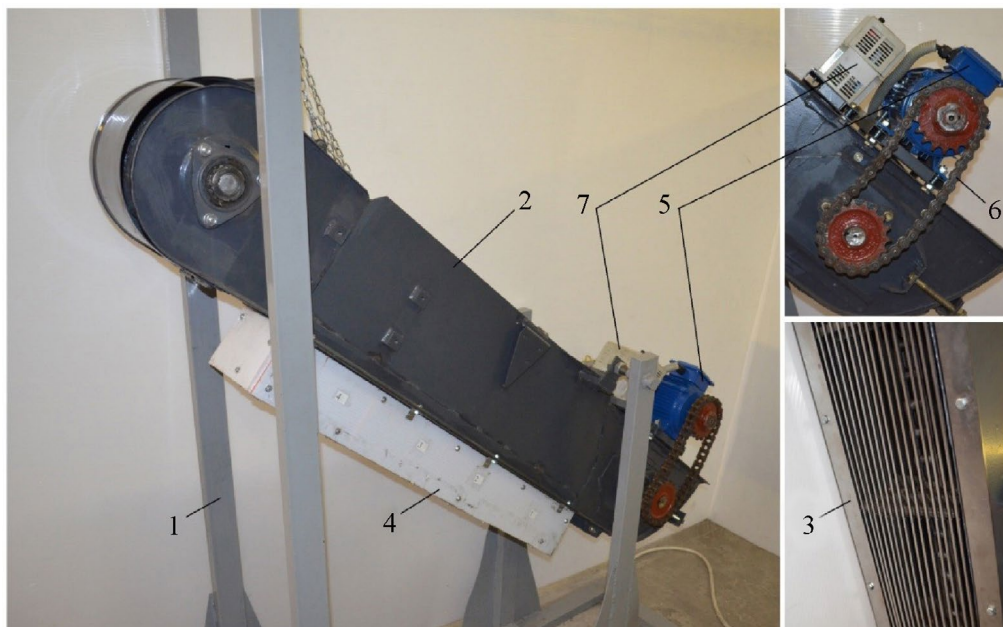
### Материалы и методы

Лабораторная установка представляла собой колосовой элеватор зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12» (рис. 1), смонтированный с возможностью регулировки его положения в горизонтальной плоскости. Для проведения исследований нижняя стенка корпуса элеватора была демонтирована, а вместо нее установлено сменное экспериментальное решето с продолговатыми отверстиями, длина которых составляла 900 мм. Под решетчатым днищем установки была смонтирована емкость для сбора и накопления вороха, прошедшего сквозь отверстия. Скорость скребкового транспортера устанавливалась посредством частотного преобразователя «Веспер» E2-8300 [17].

<sup>10</sup>Зенков Р. Л., Гриневич Г. П., Исаев В. С. Бункерные устройства. М.: Машиностроение, 1977. 225 с.

<sup>11</sup>Волошин В. Е. Элеваторы и склады: методические указания. Оренбург: ОГУ, 2019. 53 с.

Методика проведения лабораторных экспериментов была следующей. После включения установки внутрь корпуса элеватора подавался очесанный ворох, содержащий 80 % свободного зерна, 10 % оборванных колосков и 10 % соломы [18]. Его подача в пересчете на ширину элеватора соответствовала пропускной способности молотилки серийного комбайна КЗС-1218 и составляла 1 кг/с. После этого учитывалась суммарная масса вороха, прошедшего сквозь отверстия решетки, путем взвешивания и суммирования прохода из четырех секций съемной емкости. При этом фиксировали и массу схода с поверхности решетки. В качестве объекта исследования был выбран очесанный ворох озимой пшеницы сорта «московская 56» [30], отобранный на учебно-опытном поле Брянского государственного аграрного университета. Влажность зерна составляла 12 %.



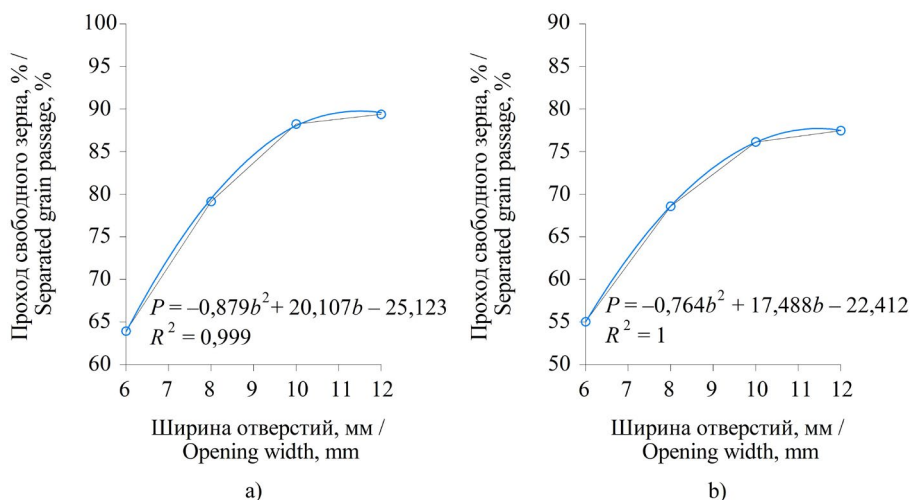
Р и с. 1. Экспериментальная установка: 1 – рама; 2 – корпус элеватора; 3 – сменная решетка; 4 – емкость для сбора и накопления свободного зерна; 5 – электродвигатель; 6 – цепная передача; 7 – преобразователь частотный «Веспер» E2-8300

F i g. 1. Experimental setup: 1 – frame; 2 – elevator body; 3 – replaceable grid; 4 – container for collecting and accumulating separated grain; 5 – electric motor; 6 – chain transmission; 7 – frequency converter Vesper E2-8300

Исследования проводились в два этапа. В первой серии экспериментов корпус элеватора был установлен горизонтально, а во второй – под углом  $45^\circ$  к горизонту. Ширина отверстий решетчатого днища имела четыре уровня варьирования (6, 8, 10 и 12 мм), а скорость скребкового транспортера составляла 3 м/с. При этом выбор интервалов варьирования ширины отверстий решетчатого днища обусловлен необходимостью исключения прохода колосовой части урожая при гарантированной сепарации свободного зерна. Каждый вариант опыта проводился в пятикратной повторности.

## Результаты исследования

По результатам лабораторных исследований получена зависимость прохода свободного зерна от ширины отверстий сепарирующей решетки (рис. 2).



Р и с. 2. Влияние ширины отверстий сепарирующей решетки на проход свободного зерна: а) корпус элеватора установлен горизонтально; б) корпус элеватора установлен под углом 45° к горизонту

F i g. 2. The effect of the width of the separating grid openings on the passage of separated grain: а) the elevator body is installed horizontally; б) the elevator body is installed at an angle of 45° to the horizon

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением ширины отверстий решетчатой поверхности интенсивность сепарации свободного зерна повышается. Вначале функция резко возрастает, а затем, достигнув некоторой критической величины (ширины отверстий  $b = 10$  мм), интенсивность сепарации увеличивается незначительно. Это может быть обусловлено тем, что необмолоченные колосья частично перекрывали отверстия сепарирующей решетки, вследствие чего уменьшалась площадь их «живого сечения». При этом поступление колосовой фракции очесанного вороха во всех вариантах опытов в емкость для сбора и накопления свободного зерна не наблюдалось.

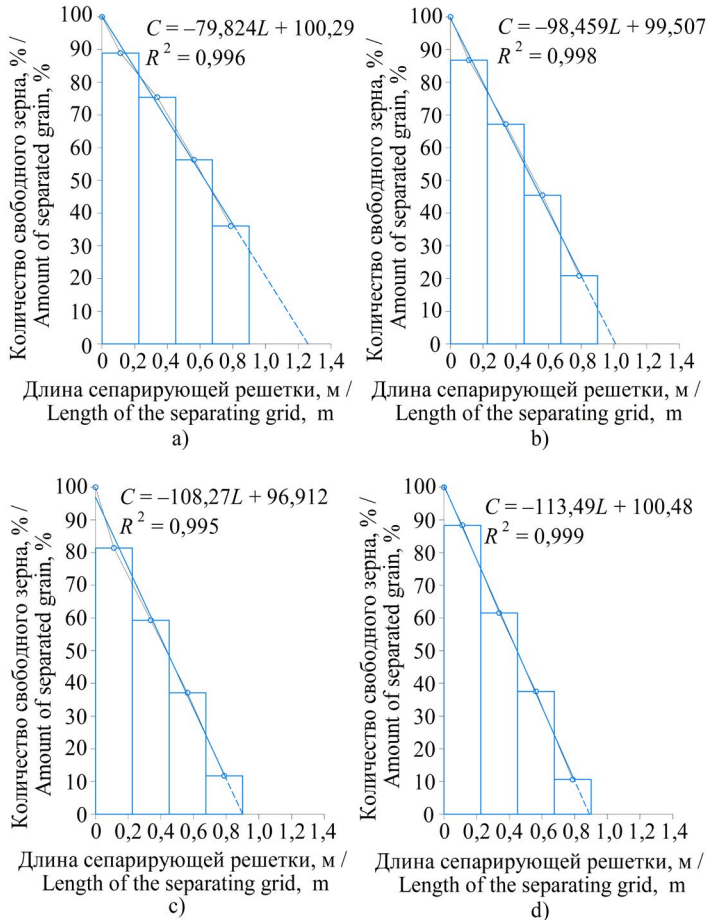
Кроме того, установлено, что в горизонтальном положении сепарирующая решетка обеспечивает проход свободного зерна в интервале 64–90 %, а в наклонном (под углом 45° к горизонту) – 55–78 %. Следовательно, разница между сепарирующей способностью у сравниваемых вариантов пространственной ориентации решетчатого днища составляет порядка 15–16 %. Таким образом, максимальная пропускная способность (90 %) соответствует горизонтальному положению решетчатого днища экспериментальной установки и ширине отверстий  $b = 12$  мм.

По результатам лабораторных исследований построены графики убывания свободного зерна по длине сепарирующей решетки (рис. 3, 4). Что касается наличия свободного зерна, сходящего с сепарирующей решетки, то, во-первых, сепарация



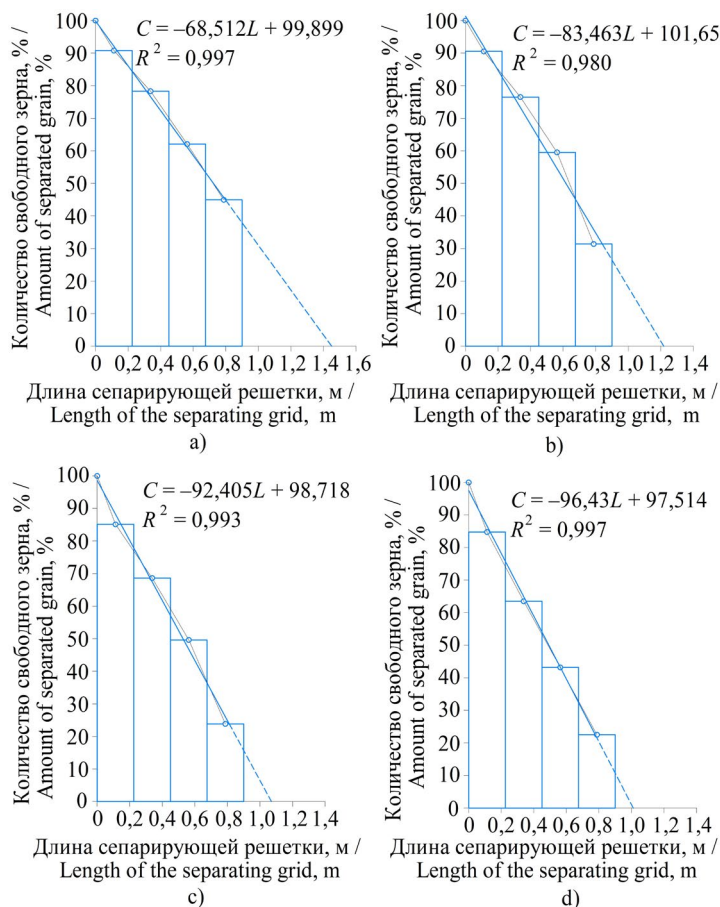
с гарантированным результатом невозможна [31; 32]. Во-вторых, имеется резерв для увеличения степени сепарации. Об этом свидетельствует характер линии тренда, построенного по остатку зерна в ворохе по мере прохождения каждой из четырех емкостей, размещенных под сепарирующей решеткой. Следовательно, для достижения результата, приближающегося к 100 %, следует увеличить длину сепарирующей решетки [33; 34].

Экстраполяция линии тренда (рис. 5) позволила спрогнозировать минимально допустимую длину перфорированной решетки, необходимую для полного выделения свободного зерна в экспериментальной установке.



Р и с. 3. График убывания свободного зерна по длине сепарирующей решетки при горизонтальном расположении элеватора: а) ширина отверстий  $b = 6$  мм; б) ширина отверстий  $b = 8$  мм; в) ширина отверстий  $b = 10$  мм; д) ширина отверстий  $b = 12$  мм

F i g. 3. The graph of the decrease of grain along the length of the separating grid with the horizontal location of the elevator body: а) the width of the openings  $b = 6$  mm; б) the width of the openings  $b = 8$  mm; в) the width of the openings  $b = 10$  mm; д) the width of the openings  $b = 12$  mm



Р и с. 4. График убывания свободного зерна по длине сепарирующей решетки при расположении корпуса элеватора под углом  $45^\circ$  к горизонту: а) ширина отверстия  $b = 6$  мм; б) ширина отверстия  $b = 8$  мм; в) ширина отверстия  $b = 10$  мм; д) ширина отверстия  $b = 12$  мм

Fig. 4. A graph of the decrease in free grain along the length of the separating grid when the elevator body is located at an angle of  $45^\circ$  to the horizon: а) the width of the openings  $b = 6$  mm; б) the width of the openings  $b = 8$  mm; в) the width of the openings  $b = 10$  mm; д) the width of the openings  $b = 12$  mm

По результатам экстраполяции (рис. 5) получена зависимость длины сепарирующей решетки от ширины ее отверстий (рис. 6). Она свидетельствует о том, что с увеличением ширины отверстий длина решетчатой поверхности снижается. При этом длина решетчатого днища в горизонтальном положении должна быть не менее 0,9 м, а в наклонном – 1,01 м.

Следовательно, использование горизонтальной сепарирующей решетки позволяет, в сравнении с ее наклонным положением, снизить металлоемкость устройства на 14–16 %.

Горизонтальное расположение решетки/  
Horizontal grid arrangement

$C_1 := -79.824 \cdot L + 100.29 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.256$

$C_2 := -98.459 \cdot L + 99.507 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.011$

$C_3 := -108.27 \cdot L + 96.912 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 0.895$

$C_4 := -113.49 \cdot L + 100.48 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 0.885$

Наклонное расположение решетки/  
Inclined grid arrangement

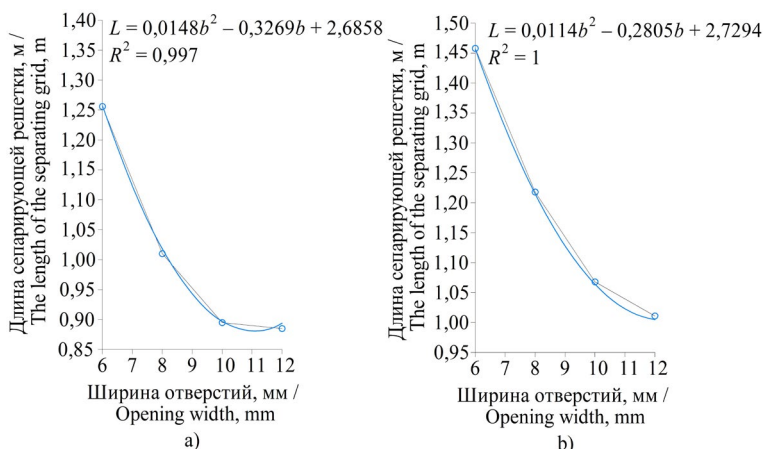
$C_5 := -68.512 \cdot L + 99.899 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.458$

$C_6 := -83.463 \cdot L + 101.65 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.218$

$C_7 := -92.405 \cdot L + 98.718 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.068$

$C_8 := -96.43 \cdot L + 97.514 = 0 \text{ solve } ,L \rightarrow 1.011$

Р и с. 5. Определение минимально допустимой длины перфорированной решетки в программе Mathcad  
F i g. 5. Determination of the minimum allowable length of a perforated grid in the Mathcad program



Р и с. 6. Зависимость длины сепарирующей решетки, необходимой для полной сепарации свободного зерна от ширины ее отверстий: а) корпус элеватора установлен горизонтально; б) корпус элеватора установлен под углом 45° к горизонту

F i g. 6. Dependence of the length of the separating grid for complete separation of grain on the width of its openings: a) the elevator body is installed horizontally; b) the elevator body is installed at an angle of 45° to the horizon

Таким образом, для минимизации металлоемкости конструкции устройства, обеспечивающего предварительное выделение свободного зерна, целесообразно использовать горизонтальную сепарирующую решетку с шириной отверстий  $b = 12$  мм.

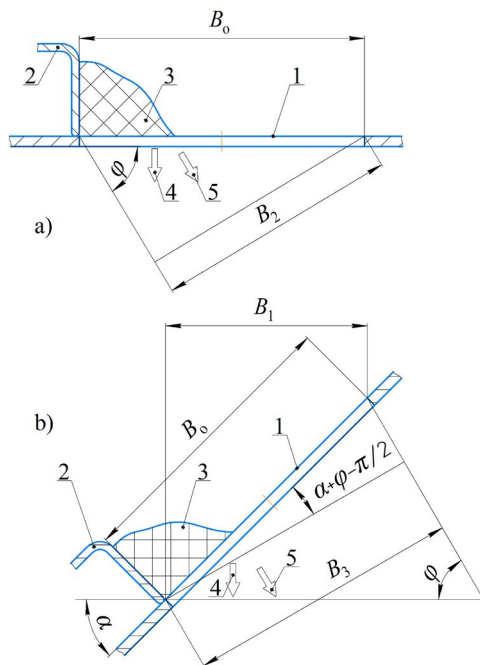
### Обсуждение и заключение

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что принятое за аналог боковое истечение зерна из бункера (формула 1) не отражает ситуацию в полной мере в случае сепарации очесанного вороха [35]. При угле наклона выходного отверстия бункера в 45° его пропускная способность должна была бы

уменьшиться на 41 %. В реальности степень уменьшения пропускной способности оказалась на уровне только 15–16 %.

Для объяснения такой значительной разницы в ожидаемом и фактическом результатах была синтезирована новая модель процесса, суммирующая гипотезу об истечении зерна из бункера с полученной ранее гипотезой соскальзывания его наклонных слоев (рис. 7). Объединенная гипотеза предполагает, что часть компонентов просыпаются сквозь отверстия вертикально (по стрелкам 4), из-за чего пропускная способность в этом компоненте зависит от горизонтальной проекции размера выпускного отверстия  $B_0$ . При наклоне решета на угол  $\alpha$  ширина пропускного сечения уменьшается до размера  $B_1 = B_0 \cdot \cos \alpha$  (рис. 7b).

Вторая часть компонентов очесанного вороха соскальзывает в отверстие под углом естественного откоса  $\varphi$  (по стрелкам 5). Следовательно, правомерно предположить, что пропускная способность отверстия для второй группы компонентов истечения пропорциональна поперечному сечению наклонного зернового потока. При горизонтальном размещении решета поперечный размер отверстия равен  $B_2$  (рис. 7a), а при наклонном решете –  $B_3$  (рис. 7b).



Р и с. 7. Схема истечения очесанного вороха из отверстия решета:

- а) горизонтального; б) наклонного; 1 – отверстие; 2 – скребок транспортера;  
3 – очесанный ворох; 4, 5 – доминирующие направления движения вороха

F i g. 7. The diagram of the combed heap outflow from the grid opening: a) horizontal;  
b) inclined; 1 – opening; 2 – conveyor scraper; 3 – combed heap;  
4, 5 – dominant directions of heap movement

Предложенная гипотеза адекватно описывается следующим эмпирическим уравнением:

$$\mu = a \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + b \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos(\alpha + \varphi - \pi/2)}, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – долевое участие компонентов с вертикальным и наклонным проходом сквозь отверстие решета;  $\mu$  – отношение пропускной способности горизонтального и наклонного решета.

Если принять, что вертикальное и наклонное прохождение компонентов через отверстия равновероятны, то уравнение примет следующий вид:

$$\mu = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\sin \varphi}{\cos(\alpha + \varphi - \pi/2)} \right). \quad (4)$$

Для оценки численного значения соотношения  $\mu$  примем, что угол  $\varphi$  естественного откоса для очесанного вороха равен  $60^\circ$ . Тогда при угле  $\alpha = 45^\circ$   $\mu = 1,152$ . Результат, полученный экспериментально, близок к значению исследуемого параметра, вычисленного по эмпирической формуле. При увеличении угла наклона решета до  $60^\circ$   $\mu$  увеличивается до 1,5. При уменьшении угла наклона величина  $\mu$  уменьшается. При  $\alpha = 0^\circ$   $\mu = 1$ . Так, принятая гипотеза и эмпирическая формула адекватно отражают характер процесса.

На основании приведенного выше анализа можно сделать следующие выводы. Во-первых, максимальный проход свободного зерна через отверстия сепарирующей решетки составляет 90 % при ее горизонтальном положении и ширине отверстий  $b = 12$  мм. Во-вторых, экстраполяция линии тренда свидетельствует о том, что для обеспечения полного выделения свободного зерна, содержащегося в очесанном ворохе, длина сепарирующей решетки должна быть не менее  $L = 0,9$  м. Для этого необходимо укоротить на соответствующую величину длину соломотряса и сместить назад молотильный барабан, освободив место для монтажа сепарирующего устройства. В-третьих, использование горизонтальной сепарирующей решетки позволяет снизить металлоемкость устройства на 14–16 % (в сравнении с ее наклонным положением). Подводя итоги, также хочется отметить, что дальнейшие исследования целесообразно провести на других зерновых культурах при варьировании влажности очесанного зернового вороха.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянов В. С. Организация работы автотранспорта в условиях крупнотоварного производства зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 7. С. 50–51. EDN: OWWLYL
2. Strategy of Technical Support of Grain Harvesting Operations in Republic of Kazakhstan / V. L. As-tafyev [et al.] // AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2020. Vol. 51, Issue 3. P. 46–51. URL: [https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL\\_ID=202002246521566465](https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002246521566465) (дата обращения: 23.06.2023).



3. New Working Element of Stripper Header “OZON” / N. V. Aldoshin [et al.] // INMATEH – Agricultural Engineering. 2018. Vol. 55, Issue 2. P. 71–76. URL: <https://clck.ru/38ULes> (дата обращения: 23.06.2023).
4. On the Substantiation of the Technological Scheme of the Combine Harvester with the Stationary Process of Threshing Bread Mass / A. S. Ovchinnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 488, Issue 1. Article no. 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012057>
5. Загрузка комбайнов, требования к хлебным валкам и воздействие уборочной техники на агроландшафты как предпосылки разработки и применения порционной технологии уборки / И. Н. Глушков [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2021. № 57. С. 36–41. EDN: DHHJUQ
6. Lovchikov A. P., Ognev I. I. Theoretical Background for the Development of Stationary Process of Grain Mass Threshing with a Combine Harvester // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. 2020. Vol. 193. Article no. 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>
7. Increase in Soil Moisture Reserves Due to the Formation of High Stubble Residues for the Accumulation of Snow Precipitation / M. Konstantinov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666, Issue 5. Article no. 052049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>
8. Buryanov A. I., Chervyakov I. V. Using Combines for Cleaning Grain Crops by Non-Traditional Technologies // INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. Vol. 59, Issue 3. P. 27–32. URL: <https://clck.ru/38UPX4> (дата обращения: 23.06.2023).
9. 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>
10. Development of a Method to Control Threshing Process Based on Properties of Harvested Crop Variety and External Factors / A. V. Alabushev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 422, Issue 3. Article no. 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012005>
11. Adaptation of Threshing Devices to Physical and Mechanical Characteristics of Harvested Crops / Yu. F. Lachuga [et al.] // Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 46, Issue 2. P. 198–201. <https://doi.org/10.3103/S1068367420020111>
12. Chaplygin M. E., Tronev S. V., Davydova S. A. Soybean Harvesting Using Current Dedicated Headers and Adapters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 659, Issue 1. Article no. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012014>
13. 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. Vol. 51, Issue 3. P. 74–76. EDN: AHZGML
14. 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>
15. Очесывающий аппарат : патент 2726110 Российская Федерация / Савин В. Ю. № 2019117319 ; заявл. 04.06.2019 ; опубл. 09.07.2020, Бюл. № 19. 4 с.
16. Очесывающий аппарат : патент 2751846 Российская Федерация / Савин В. Ю. № 2020128369 ; заявл. 25.08.2020 ; опубл. 19.07.2021, Бюл. № 20. 4 с.
17. 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. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.190-206>
18. Исследование параметров очесанного зернового вороха / В. Н. Ожерельев [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 1. С. 7–9. EDN: TZNNGD
19. Съемная гребенка очесывающего оборудования : патент 2646054 Российская Федерация / Кухарев О. Н., Семов И. Н., Федин М. А. № 2017111437 ; заявл. 04.04.2017 ; опубл. 01.03.2018. 11 с.
20. Очес растений на корню с предварительной сепарацией свободного зерна / В. Н. Ожерельев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т 89, № 1. С. 73–79. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-100849>

21. Наклонная камера зерноуборочного комбайна : патент 1687078 СССР / Дементьев А. В., Скорик В. И., Пастухов Б. К. [и др.]. № 4689013/15 ; заявл. 12.05.1989 ; опубл. 30.10.1991, Бюл. № 40. 5 с.
22. Наклонная камера зерноуборочного комбайна : патент 2577892 Российская Федерация / Ожерельев В. Н., Никитин В. В. № 2014145875/13 ; заявл. 14.11.2014 ; опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8. 4 с.
23. Perspectives of Grain Pile Separation Before it Enters the Thresh-ER / V. N. Ozherelyev [et al.] // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. P. 114–116. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>
24. Ozherelyev V. N., Nikitin V. V., Komogortsev V. F. Comparison of Different Methods for Preliminary Separation of Free Grain When Hatcheling Standing Plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. Vol. 1079, Issue 6. Article no. 062088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>
25. Наклонная камера зерноуборочного комбайна : патент 2725729 Российская Федерация / Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Синяя Н. В. № 2019128610 ; заявл. 11.09.2019 ; опубл. 03.07.2020, Бюл. № 198. 7 с.
26. Зерноуборочный комбайн : патент 2680666 Российская Федерация / Шабанов Н. П., Хабрат Н. И., Умеров Э. Д. № 2016149302 ; заявл. 14.12.2016 ; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 8. 4 с.
27. Комбайн для уборки зерновых культур на корню : патент 1766310 СССР / Данченко Н. Н., Шкин-дер В. Н., Аблогин Н. Н. [и др.]. № 4670394/15 ; заявл. 06.02.1989 ; опубл. 07.10.1992, Бюл. № 37. 5 с.
28. Зерноуборочный комбайн с очесывающей жаткой : патент 2744619 Российская Федерация / Ряднов А. И., Федорова О. А. № 2020120743 ; заявл. 16.06.2020 ; опубл. 12.03.2021. Бюл. № 8. 4 с.
29. К обоснованию способа предварительной сепарации свободного зерна при очесе растений на корню / В. Н. Ожерельев [и др.] // Наука в центральной России. 2023. № 1 (61). С. 77–84. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84>
30. Single- and Multispecies Farming Ecosystems in Field Forage Production / N. M. Belous [et al.] // Natural Volatiles and Essential Oils. 2021. Vol. 8, Issue 4. P. 7745–7764. EDN: HCGNUO
31. Тишанинов К. Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы решетчатого стана // Наука в центральной России. 2021. № 4. С. 13–17. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-13-17>
32. Obtaining High-Quality Grain through the Use of Fractional Technology for Its Cleaning / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 640, Issue 2. Article no. 022046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022046>
33. Orobinsky V. I., Gulevsky V. A., Gievsky A. M. The Technological Process of the Grain Harvester as a Complex Functional System // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. 2021. Vol. 723, Issue 3. Article no. 032005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032005>
34. Ways to Reduce Injury to Seeds by the Harvester's Final Threshing Device / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. 2021. Vol. 723, Issue 3. Article no. 032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032014>
35. 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>

*Поступила в редакцию 29.06.2023; поступила после рецензирования 01.10.2023; принята к публикации 15.10.2023*

*Об авторах:*

**Никитин Виктор Васильевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, Брянская область, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>, Researcher ID: AAD-7368-2022, [viktor.nike@yandex.ru](mailto:viktor.nike@yandex.ru)

**Ожерельев Виктор Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, Брянская область, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: AAD-8298-2022, [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

*Заявленный вклад авторов:*

В. В. Никитин – анализ литературных данных, подготовка первоначального варианта текста и его доработка, проведение экспериментов и обработка их результатов.

В. Н. Ожерельев – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, общее руководство экспериментальными исследованиями, проведение критического анализа результатов и формулирование выводов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Pyanov V.S. Organization of Motor Transport Operation in Conditions of Large-Commodity Grain Production. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2010;(7):50–51. EDN: [OWWLYL](#)
2. 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. Available at: [https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL\\_ID=202002246521566465](https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002246521566465) (accessed 23.06.2023).
3. Aldoshin N.V., Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Kalashnikova L.V. New Working Element of Stripper Header “OZON”. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018;55(2):71–76. Available at: <https://clck.ru/38ULes> (accessed: 23.06.2023).
4. Ovchinnikov A.S., Lovchikov A.P., Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Konstantinov M.M., Fomin S.D. On the Substantiation of the Technological Scheme of the Combine Harvester with the Stationary Process of Threshing Bread Mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;488(1):012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012057>
5. Glushkov I.N., Konstantinov M.M., Gerasimenko I.V., Ognev I.I., Gretsov A.S., Sarsymbayev S.A. Loading of Harvesters, Requirements for the Stems Grouped after Mowing and Impact Harvesting Equipment for Agricultural Landscapes as Prerequisites Development and Application of Batch Technology for Harvesting Grain Crops. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*. 2021;(57):36–41. EDN: [DHHJUQ](#)
6. Lovchikov A.P., Ognev I.I. Theoretical Background for the Development of Stationary Process of Grain Mass Threshing with a Combine Harvester. *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. 2020;193:01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>
7. Konstantinov M., Glushkov I., Mukhamedov V., Lovchikov A. Increase in Soil Moisture Reserves Due to the Formation of High Stubble Residues for the Accumulation of Snow Precipitation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;666(5):052049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>
8. Buryanov A.I., Chervyakov I.V. Using Combines for Cleaning Grain Crops by Non-Traditional Technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019;59(3):27–32. Available at: <https://clck.ru/38UPX4> (accessed: 23.06.2023). (In Eng.)
9. Savin V.Yu. Dependence of the Degree of Wheat Grain Crushing on the Speed of the Comber. *Voronezh State Agrarian University Bulletin*. 2018;(3):98–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.98>
10. Alabushev A.V., Buryanov A.I., Pakhomov V.I., Kolinko A.A., Chervyakov I.V. Development of a Method to Control Threshing Process Based on Properties of Harvested Crop Variety and External



Factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422(3):012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012005>

11. 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>

12. Chaplygin M.E., Tronev S.V., Davydova S.A. Soybean Harvesting Using Current Dedicated Headers and Adapters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;659(1):012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012014>

13. 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. EDN: AHZGML

14. Savin V.Yu. Study of a Stripper Header for Grain Harvesting as a Vibrating System. *Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(3):403–413. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>

15. Savin V.Yu. [Stripping Device]. Patent 2,726,110 Russian Federation. 2020 July 9. (In Russ.)

16. Savin V.Yu. [Stripping Device]. Patent 2,751,846 Russian Federation. 2021 July 19. 4 p. (In Russ.)

17. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. The Results of the Combine Design Adaptation to Work with a Stripper Header. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):190–206. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.190-206>

18. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Alakin V.M., Stanovov S.N. Study of the Parameters of a Combed Grain Heap. *Technology in agriculture*. 2013;(1):7–9. (In Russ.) EDN: TZNNGD

19. Kukharev O.N., Semov I.N., Fedin M.A. [Removable Comb of Combing Equipment]. Patent 2,646,054 Russian Federation. 2018 March 1. 11 p. (In Russ.)

20. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Sinyaya N.V., Chaplygin M.E., Fedina T.O. Combing the Standing Crops with Preliminary Separation of Loose Grains. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(1):73–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-100849>

21. Dyemyentyev A.V., Skorik V.I., Pastukhov B.K. [Inclined Chamber of a Combine Harvester]. Patent 1,687,078 USSR. 1991 October 30. 5 p. (In Russ.)

22. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. [Inclined Chamber of a Combine Harvester]. Patent 2,577,892 Russian Federation. 2016 March 20. 4 p. (In Russ.)

23. 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;7:114–116. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>

24. Ozherelyev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Comparison of Different Methods for Preliminary Separation of Free Grain When Hatcheling Standing Plants. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference*. 2021;1079(6):062088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>

25. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Sinyaya N.V. [Inclined Chamber of a Combine Harvester]. Patent 2,725,729 Russian Federation. 2019 September 11. 7 p. (In Russ.)

26. Shabanov N.P., Khabrat N.I., Umerov E.D. [Combine Harvester]. Patent 2,680,666 Russian Federation. 2019 February 25. 4 p. (In Russ., abstract in Eng.)

27. Danchenko N.N., Shkinder V.N., Ablogin N.N., et al. [Combine Harvester for Standing Grain Crops]. Patent 1,766,310 USSR. 1992 October 7. 5 p. (In Russ.)

28. Ryadnov A.I., Fedorova O.A. [Grain Harvester with Stripper Header]. Patent 2,744,619 Russian Federation. 2021 March 12. 4 p. (In Russ., abstract in Eng.)

29. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F., Sinyaya N.V. To the Substantiation of the Method of Preliminary Separation of Free Grain in the Root of Plants. *Science in the Central Russia*. 2023;(1):77–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84>

30. Belous N.M., Belchenko S.A., Dronov A.V., Torikov V.E. Single- and Multispecies Farming Ecosystems in Field Forage Production. *Natural Volatiles and Essential Oils*. 2021;8(4):7745–7764. EDN: HCGNUO

31. Tishaninov K.N. Justification of the Design and Technological Scheme Grating Mill. *Science in the Central Russia*. 2021;4:13–17. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-13-17>
32. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Gulevsky V.A., Baskakov I.V., Chernyshov A.V. Obtaining High-Quality Grain through the Use of Fractional Technology for Its Cleaning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(2):022046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022046>
33. Orobinsky V.I., Gulevsky V.A., Gievsky A.M. The Technological Process of the Grain Harvester as a Complex Functional System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture*. 2021;723(3):032005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032005>
34. Orobinsky V.I., Gulevsky V.A., Baskakov I.V., Podorvanov D.A. Ways to Reduce Injury to Seeds by the Harvester's Final Threshing Device. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture*. 2021;723(3):032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032014>
35. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Grain Heap Separation at the Grates of a Combine Feederhouse. *Agricultural Engineering*. 2023;25(3):35–40. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-35-40>

*Submitted 29.06.2023; revised 01.10.2023; accepted 15.10.2023*

*About the authors:*

**Viktor V. Nikitin**, Dr.Sci. (Engr.), Head of the Technical Service Chair, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Bryansk Oblast, Kokino 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>, Researcher ID: [AAD-7368-2022](https://orcid.org/0000-0003-1393-2731), [viktor.nike@yandex.ru](mailto:viktor.nike@yandex.ru)

**Viktor N. Ozherelev**, Dr.Sci. (Agric.), Professor of the Chair of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Bryansk Oblast, Kokino 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: [AAD-8298-2022](https://orcid.org/0000-0002-2121-3481), [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

*Authors contribution:*

V. V. Nikitin – analyzing literary data, preparing the original version of the text and finalizing the text, conducting experiments and processing their results.

V. N. Ozherelev – scientific guidance, formulating the basic concept of research, general management of experimental research, conducting a critical analysis of the results and formulating conclusions.

*All authors have read and approved the final manuscript.*