

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ / TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT

УДК 631.354.2

doi: 10.15507/2658-4123.032.202202.190-206

Научная статья



Результаты адаптации конструкции комбайна к работе с очесывающей жаткой

В. Н. Ожерельев ✉, **В. В. Никитин**
Брянский ГАУ (с. Кокино, Российская Федерация)
✉ vicoz@bk.ru

Аннотация

Введение. Снижение дробления свободного зерна рабочими органами молотилки при очесе растений на корню является актуальной научной проблемой. Цель исследования – разработать техническое решение и экспериментально подтвердить возможность осуществления предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха до поступления его в молотильную камеру зерноуборочного комбайна.

Материалы и методы. Наиболее перспективным техническим решением, позволяющим минимизировать дробление свободного зерна, является наклонная камера, содержащая решетчатое днище с продолговатыми отверстиями, под которыми смонтированы наклонные шнеки. Экспериментальные исследования были разделены на два этапа. В первой серии экспериментов в лабораторных условиях определяли оптимальные размеры отверстий решетчатого днища, обеспечивающих максимальный проход свободного зерна. Во второй серии экспериментов оценивали степень сепарации и дробления свободного зерна в реальных полевых условиях.

Результаты исследования. По результатам лабораторных исследований установлено, что максимальный проход свободного зерна сквозь отверстия решетчатого днища составляет 68,7 % при ширине его отверстий 8 мм и их длине 160 мм. По результатам полевых экспериментов установлено, что средний проход свободного зерна сквозь отверстия решетчатого днища составляет 90 %. При этом дробление зерна в наклонной камере не превышало 0,5 %, а в бункере 1,75 %. Дробление бункерного зерна находилось в пределах 5,25 % при работе комбайна без предварительной сепарации очесанного зернового вороха на решетчатом днище наклонной камеры.

Обсуждение и заключение. Предварительная сепарация свободного зерна из очесанного вороха позволяет уменьшить дробление зерна как минимум в три раза, а также снижает мощность, которая расходуется на привод молотильного аппарата, на 11–12 %.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, уборка зерна, очес, энергоемкость, степень дробления зерна

© Ожерельев В. Н., Никитин В. В., 2022



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

Благодарности: авторы благодарят анонимных рецензентов, а также выражают признательность В. Д. Игнатову (ПАО «Пензмаш») за сотрудничество и помощь в материальном обеспечении процесса исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: 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. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.190-206>

Original article

The Results of the Combine Design Adaptation to Work with a Stripper Header

V. N. Ozherelev , V. V. Nikitin

Bryansk State Agrarian University (Kokino, Russian Federation)

 vicoz@bk.ru

Abstract

Introduction. A decrease of damaging loose grains by threshing tools when combing standing plants is an urgent scientific problem. The aim of the research is to develop a technical solution and experimentally confirm the possibility of loose grains pre-separation from the stripped grain heap before it enters the threshing chamber of the combine harvester.

Materials and Methods. The most promising technical solution to minimize the damaging of loose grain is an inclined chamber containing an oblong-hole lattice bottom, under which inclined augers are mounted. The experimental studies had two stages. In the first series of experiments, in laboratory conditions there were determined the optimal sizes of the lattice bottom holes to ensure the maximum passage of loose grains. In the second series of experiments, the degrees of separating and damaging loose grains were evaluated in real field conditions.

Results. According to the results of laboratory studies, it was found that the maximum passage of loose grains through the holes of the lattice bottom is 68.7% with the width of holes 8 mm and their length 160 mm. According to the results of field experiments, it was found that the average passage of loose grains through the holes of the lattice bottom is 90%. At the same time, damaging grains in the inclined chamber did not exceed 0.5%, and in the hopper 1.75%. Damaging grains in the bunker was in the range of 5.25% when the combine operated without pre-separation of the combed grain heap on the lattice bottom of the inclined chamber.

Discussion and Conclusion. Pre-separation of loose grains from the combed heap makes it possible to reduce damaging grains at least three times, and also reduces the power consumed by the drive of the threshing machine by 11–12%.

Keywords: harvester, grain harvesting, combing grains, energy intensity, degree of grain damaging

Acknowledgements: The authors would like to thank the anonymous reviewers, as well as to express their gratitude to V. D. Ignatov (Penzmash Public Joint Stock Company) for cooperation and assistance in material support of the research process.

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

For citation: 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. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.190-206>

Введение

Производство зерна является одним из краеугольных камней сельского хозяйства. Вместе со всей экономикой страны отрасль пережила в конце прошлого века период институциональных преобразований. Они на первом этапе привели к значительному уменьшению как объемов производства, так и уровня его рентабельности [1]. К началу нового столетия процесс трансформации завершился и зерновое производство стало возрождаться на современных технологических и технических основах. В результате в 2020 году объем производства зерна увеличился в 1,26 раза (133,5 млн т), а его урожайность в 2 раза превысила уровень наиболее благополучной советской пятилетки (1976–1980 гг.) [2].

Очевидно, что за прошедшие десятилетия технический потенциал советского периода был полностью израсходован, и встал вопрос об обеспечении зернового производства уборочной техникой. Сначала проблема решалась за счет увеличения импорта зерноуборочных комбайнов из Европы и США при заметной деградации традиционных российских производителей. Так «Красноярский завод комбайнов» практически прекратил свою деятельность, а завод «Ростсельмаш» резко сократил объемы производства. При этом в стране появились новые предприятия, базирующиеся на поставках зарубежных комплектующих. В первую очередь это завод «Брянсксельмаш» и филиал немецкой фирмы CLAAS в Краснодарском крае. В результате в 2019 году «Ростсельмаш» произвел 3 958 комбайнов (78,8 % от общероссийского выпуска), «Брянсксельмаш» 526 (10,4 %) и «Клаас Восток» 450 (8,9 %).

Следует отметить, что комбайны нового поколения во много раз производительней своих советских предшественников. Комбайн RSM-161 может намолотить 40 т зерна за час, а за сезон убрать урожай с площади до 2 000 га. Для сравнения: комбайн предшествующего поколения Дон-1500Б мог достичь намолота только в 14 т/ч. То есть уменьшение числа комбайнов компенсируется значительным ростом их производительности.

Проблема, однако, заключается в том, что для эффективной работы высокопроизводительному комбайну требуется соответствующий агрофон. Фирма CLAAS рекомендует использовать свой самый мощный комбайн LEXION (производительностью до 60–70 т/ч) при урожайности, превышающей 70 ц/га. Понятно, что при средней урожайности российских полей 20–25 ц/га такая высокопроизводительная техника не окупается. Ряд отечественных ученых считают, что при высоком уровне дифференциации урожайности по территории страны проблема оптимизации ассортимента зерноуборочной техники может быть решена, в частности путем перехода на семь классов комбайнов с варьированием пропускной способности молотилки от 3 до 12 и выше кг/с¹ [3; 4]. Вторым вариантом адаптации комбайна к работе при минимальной урожайности можно считать ее раздельный вариант уборки с использованием валковых жаток порционного типа [5; 6].

Важнейшей проблемой при уборке зерна является энергоемкость обмолота. Существенно уменьшить ее уровень (в 1,4–2,0 раза) позволяет использование технологии очеса растений на корню [7–9]. Это обусловлено тем, что, как установил еще М. А. Пустыгин,

¹ Harvesting of Mixed Crops by Axial Rotary Combines / N. V. Aldoshin [et al.] // Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering (17–20 September 2019). Prague, 2019. P. 20–25. URL: <https://2019.tae-conference.cz/proceeding/TAE2019-004-Nikolay-Aldoshin.pdf> (дата обращения: 27.01.2022).

порядка 70 % потребляемой мощности молотильный барабан расходует на деформацию и перетирание массы в молотильном зоре².

Широкое внедрение технологии очеса сдерживается, во-первых, незавершенностью оптимизационных работ по конструкции очесывателей [10–12]. Во-вторых, конструкция молотилки зерноуборочных комбайнов не приспособлена к приему и обработке очесанного зернового вороха, поскольку в молотильный зор поступает 80 и более процентов свободного зерна, которое подвергается ударному воздействию, вследствие чего резко возрастает доля дробленой продукции [13–15]. Кроме того, на это негативное технологическое воздействие расходуется значительная часть мощности, потребляемой барабаном [16; 17]. В связи с этим актуальной теоретической и практической задачей становится адаптация конструкции комбайна к обработке очесанного зернового вороха.

Цель исследования – разработать техническое решение и экспериментально подтвердить возможность осуществления предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха до поступления его в молотильную камеру зерноуборочного комбайна.

Обзор литературы

В первую очередь целесообразно зафиксировать состав очесанного зернового вороха, с которым предстоит работать молотилке зерноуборочного комбайна. По данным разных авторов, содержание в нем свободного зерна (по массе) варьируется в пределах от 60 до 85 %, оборванных колосков 10–25 % и солоmistых компонентов от 7 до 25 % [15]. С ростом частоты вращения ротора можно увеличить долю свободного зерна в ворохе, но при этом возрастает и степень его дробления [14].

При этом даже у одного исследователя на разных полях доля свободного зерна в ворохе варьировалась от 69,4 до 82,7 % [7].

Широкие пределы варьирования параметров очесанного вороха обусловлены разнообразием конструкции жатки, параметров и режимов ее рабочих органов, а также состояния агрофона. При этом в инженерной среде все еще обсуждается вопрос о выборе однобарабанной или двухбарабанной конструктивной схемы очесывателя. Тем более нет пока и единства в понимании оптимальной конструкции очесывающих гребенок. В жатке CVS фирмы Shelbourne Reynolds профиль канала между зубьями имеет форму «замочной скважины», тогда как у жатки «ОЗОН» (ПАО «Пензмаш») он имеет постоянную ширину. При этом исследования М. А. Федина подтвердили преимущества гребенки с тангенциальными каналами [10; 18].

Определенный интерес с точки зрения увеличения эффективности работы очесывателя представляет гипотеза, сформулированная В. Ю. Савиным, что очесывающей гребенке целесообразно сообщить поперечные колебания [19]. Автор предложил несколько вариантов конструктивных решений, реализующих указанный принцип [20; 21]. При соответствующей доработке конструкции и оптимизации ее параметров и режимов работы идея вибрационного воздействия на очесываемые растения может быть применена на практике.

Неоднозначными являются и сведения о степени дробления зерна. При испытании украинской жатки Славянка УАС содержание в бункере дробленого зерна не вышло за пределы 2 %, тогда как на испытании жатки ЖОНТУ-6 оно превысило 2,63 %.

Очевидно, что фракционный состав очесанного вороха подразумевает

² Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств. М. : ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. 96 с.

обязательный домолот оборванных колосьев. При этом поступление в молотильный зазор свободного зерна и значительной части мелких соломистых примесей с технологической точки зрения не только лишено смысла, но и негативно отражается на сохранности зерновок. Следовательно, целесообразно внести коррективы в технологический процесс зерноуборочного комбайна, удалив из вороха, поступающего на домолот, большую часть свободных зерен.

Решение указанной проблемы имеет несколько альтернативных направлений, в каждом из которых присутствуют варианты конструктивного исполнения перспективной технологической идеи. К первому и самому многочисленному направлению могут быть отнесены конструктивные решения, в которых свободное зерно выделяется из вороха непосредственно в наклонной камере и выводится за ее пределы. Что касается способа сепарации, то он в большинстве случаев предполагает оборудование наклонной камеры решетчатым днищем. Подачу прохода на транспортную доску предполагается осуществлять специальным скребковым транспортером. Для этого в наклонной камере монтируется дополнительное днище [22]. В качестве варианта исполнения вместо скребкового транспортера могут быть использованы наклонные шнеки [23; 24].

Вторая группа сепарирующих устройств так же предполагает их размещение в наклонной камере. При этом вслед за очесывающим барабаном должен быть смонтирован домолочивающий барабан, сквозь решетку подбарабанья которого зерна будут просыпаться вниз и отводиться [25]. Существует несколько аналогичных конструкций, но для всех характерен общий недостаток, заключающийся в том, что слишком большая масса перегружает передний мост комбайна.

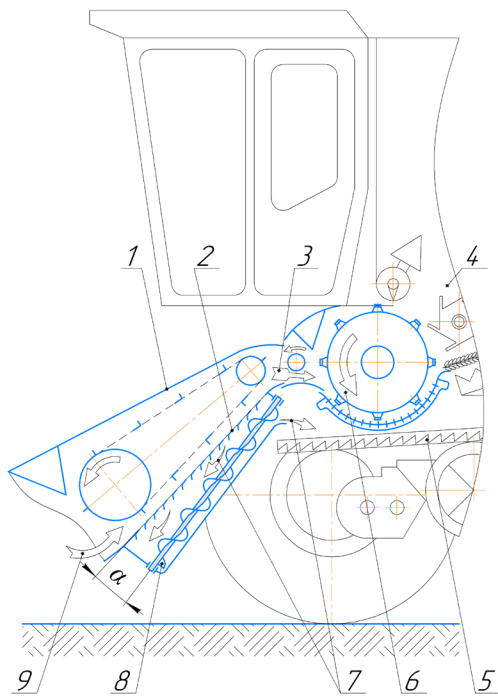
Кроме того, необходимо подать отсепарированное зерно в систему очистки, что существенно усложняет конструкцию по сравнению с решетчатым днищем. При этом не исключается негативное воздействие домолочивающего барабана на свободное зерно, то есть основная технологическая цель модернизации конструкции при этом не может быть достигнута в принципе.

Третья группа технических решений предполагает размещение сепарирующего устройства, предназначенного для выделения из очесанного вороха свободного зерна, непосредственно перед молотильным барабаном или вместо него [26; 27]. С точки зрения совершенства технологического процесса размещение сепарирующего устройства перед барабаном предпочтительнее. Для этого необходимо радикально перекомпоновать комбайн, существенно отодвинув назад барабан, укоротив при этом соломотряс. Что касается замены барабана на аналогичный по технологическому назначению рабочий орган: характер его воздействия на свободное зерно изменится несущественно, поэтому такой вариант представляется менее перспективным.

Материалы и методы

Выявленное при анализе литературы разнообразие подходов к решению проблемы предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха предопределило структуру дальнейших исследований. По совокупности конструктивных и экономических факторов выбор был остановлен на выделении из вороха 9 свободного зерна 7 на решетчатом днище 2 наклонной камеры 1 и подаче его на транспортную доску 5 комбайна 4 наклонными шнеками 8 (рис. 1). В результате на первом этапе проблема была ограничена оптимизацией параметров решетчатого днища и оценкой качественных показателей процесса сепарации.

В первую очередь необходимо было определить оптимальные размеры сепарирующих отверстий, для чего следовало сформулировать теоретическую модель процесса. Экспертная оценка его характера дала два альтернативных варианта: продолговатые отверстия могут быть сориентированы либо вдоль направления движения скребков транспортера, либо поперек. Исходя из теории решетчатых зерноочистительных машин, выбор был остановлен на продольной ориентации отверстий [28–31].



Р и с. 1. Принципиальная схема модернизации наклонной камеры: 1 – наклонная камера; 2 – решетчатое днище; 3 – колоски; 4 – комбайн; 5 – транспортная доска; 6 – молотильный барабан; 7 – свободное зерно; 8 – шнек; 9 – очесанный зерновой ворох

Fig. 1. Schematic diagram of the inclined chamber modernization: 1 – inclined chamber; 2 – lattice bottom; 3 – spikelets; 4 – combine harvester; 5 – transport board; 6 – threshing drum; 7 – loose grains; 8 – auger; 9 – combed grain heap

Следуя аналогии с теорией прохождения зерна сквозь продолговатое отверстие решета зерноочистительной машины, была принята гипотеза о том, что движение свободного зерна представляет собой полет тела, брошенного под углом к горизонту, что позволило вычислить минимальную длину отверстия, необходимого для гарантированного прохода сквозь него отдельного зерна. Однако в результате установочных экспериментов принятая гипотеза не нашла своего подтверждения, в связи с чем модель процесса была модернизирована с учетом того, что свободные зерна перемещаются внутри слоя вороха. В связи с этим они не имеют возможности для свободного полета.

Модернизированная гипотеза заключалась в том, что перемещаемые скребками поперечные (локальные) объемы вороха треугольного поперечного сечения при достижении нижней кромки отверстия начинают соскальзывать в него слоями толщиной в одну зерновку под углом внутреннего трения к горизонту. При достижении верхней кромки продолговатого отверстия соскальзывание прекращается и возобновляется вновь после прохода перемычки между отверстиями. Полученное на основе этой гипотезы дифференциальное уравнение движения слоя очесанного вороха позволило спрогнозировать приемлемую длину продолговатого отверстия, которая и была принята за основу при планировании эксперимента по оптимизации параметров решетчатого днища.

Оптимизационный эксперимент был осуществлен в лаборатории кафедры «Технические системы в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве» Брянского ГАУ. Лабораторная установка была изготовлена на основе колосового элеватора зерноуборочного комбайна КЗС-10К. Нижняя

стенка кожуха элеватора была удалена, а на ее место установили соответствующее экспериментальное сменное решето длиной 920 мм с продолговатыми отверстиями. Под решетом устанавливали четыре емкости, равномерно распределив их по его длине. Емкости улавливали весь ворох, прошедший сквозь отверстия. Элеватор был снабжен электроприводом с бесступенчатым регулированием скорости движения скребков (посредством частотного преобразователя Веспер E2-8300) и угла его наклона. Таким образом, лабораторная установка осуществляла полную имитацию работы наклонной камеры зерноуборочного комбайна.

Процесс осуществлялся следующим образом. После запуска скребкового транспортера в приемную часть установки засыпали очесанный зерновой ворох с содержанием свободного зерна порядка 80 %. При этом время засыпки вороха соответствовало (в пересчете на ширину наклонной камеры) характерной для комбайна КЗС-10К «Полесье GS-10» подаче (10 кг/с). После завершения каждой повторности опыта взвешивали содержимое четырех емкостей с проходом вороха и емкости с его сходом. В качестве исследуемого материала использовался очесанный ворох озимой пшеницы сорта Московская 56, характерного для Брянской

области и ряда других регионов средней полосы России.

Лабораторный эксперимент планировался как полнофакторный и состоял из двух серий, поскольку в результате первой серии выйти на зону оптимума не удалось. Условия планирования лабораторного эксперимента приведены в таблице 1.

Поскольку эксперимент был спланирован с трехкратной повторностью каждого варианта опыта (тип плана 3^2), то в каждой из серий было реализовано по 27 замеров (таблица 2).

После лабораторных экспериментов была проведена модернизация конструкции наклонной камеры очесывающей жатки «ОЗОН» производства ПАО «Пензмаш». На основе модернизированного оборудования был проведен полевой эксперимент, целью которого была оценка степени сепарации свободного зерна в реальных полевых условиях. Кроме того, необходимо было установить разницу в степени дробления зерна в бункере, прошедшего через все рабочие органы молотилки, и зерна, изъятые непосредственно из наклонной камеры.

Для этого с наклонной камеры были демонтированы наклонные шнеки вместе с их кожухами, а вместо них был смонтирован мягкий контейнер большой емкости.

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Условия планирования эксперимента
Experimental planning conditions

Факторы / Factors	Уровни варьирования / Variation grades		
	-1	0	+1
Серия 1 / Series 1			
Длина отверстия l , мм / Hole length l , mm	80	120	160
Ширина отверстия b , мм / Hole width b , mm	8	10	12
Серия 2 / Series 2			
Длина отверстия l , мм / Hole length l , mm	120	160	200
Ширина отверстия b , мм / Hole width b , mm	6	8	10

Матрица планирования второй серии эксперимента
 Planning matrix of the experiment second series

Номер опыта / Experience Number	Серия 1 / Series 1		Серия 2 / Series 2	
	<i>l</i> , мм / <i>l</i> , mm	<i>b</i> , мм / <i>b</i> , mm	<i>l</i> , мм / <i>l</i> , mm	<i>b</i> , мм / <i>b</i> , mm
1	80	8	120	6
2	80	10	120	8
3	80	12	120	10
4	120	8	160	6
5	120	10	160	8
6	120	12	160	10
7	160	8	200	6
8	160	10	200	8
9	160	12	200	10

При движении комбайна большая часть зерна и наиболее мелкие соломистые фракции накапливались в мягком контейнере, а оборванные очесывателем колоски и часть соломин поступали в молотильный зазор. Жатка была навешена на зерноуборочный комбайн «Нива-Эффект».

Испытания проводили в 2021 году на опытном поле учебно-опытного хозяйства Брянского ГАУ (с. Кокино, Брянская обл.) на озимой пшенице сорта Московская 56. Комбайн перемещался по учетной делянке с постоянной скоростью 8 км/ч при частоте вращения очесывающего барабана 485 мин⁻¹. После очеса зерноуборочным комбайном учетной делянки длиной 50 м осуществлялась его полная остановка. После этого определяли массу зерна, поступившего в бункер, и вороха, накопленного в мягком контейнере, с последующим разбором его по фракционному составу. В частности, устанавливали долю дробленого зерна в бункере, травмированного рабочими

органами молотилки, и в ворохе, прошедшем сквозь отверстия решетчатого днища и накопленном в мягком контейнере. Каждый вариант опыта был проведен в трехкратной повторности. Таким образом, всего были учтены и обработаны результаты шести экспериментов. Для их обработки использованы стандартные программы Excel, STATISTICA 10 и Matcad.

Полеглость растений, а также суммарные потери урожая за комбайном определяли по ГОСТу³.

Результаты исследования

В качестве критерия оптимизации и отклика для регрессионной модели был принят проход свободного зерна сквозь отверстия сепарирующей решетки. Характер взаимодействия факторов второй серии лабораторных экспериментов представлен на рисунке 2 и формулой (1) ($R^2 = 0,934$):

$$\begin{aligned}
 P_{\text{зеп}} = & -110,73 + 0,199 \cdot l + 37,197 \cdot b - \\
 & -1,926 \cdot b^2 - 0,0229 \cdot l \cdot b, \quad (1)
 \end{aligned}$$

³ ГОСТ 28301-2015. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2020. 46 с.

где $P_{з\text{ер}}$ – проход свободного зерна сквозь отверстия сепарирующей решетки, %; l – длина отверстия, мм; b – ширина отверстия, мм.

В зоне оптимума, локализовавшейся вблизи параметров $l = 160$ мм и $b = 8$ мм, проход свободного зерна достиг 68,7 %. При этом с высокой степенью адекватности ($R^2 = 0,982$) была установлена линейная зависимость между величиной прохода и длиной поверхности решетки:

$$C_{з\text{ер}} = -80,424 \cdot L + 95,045, \quad (2)$$

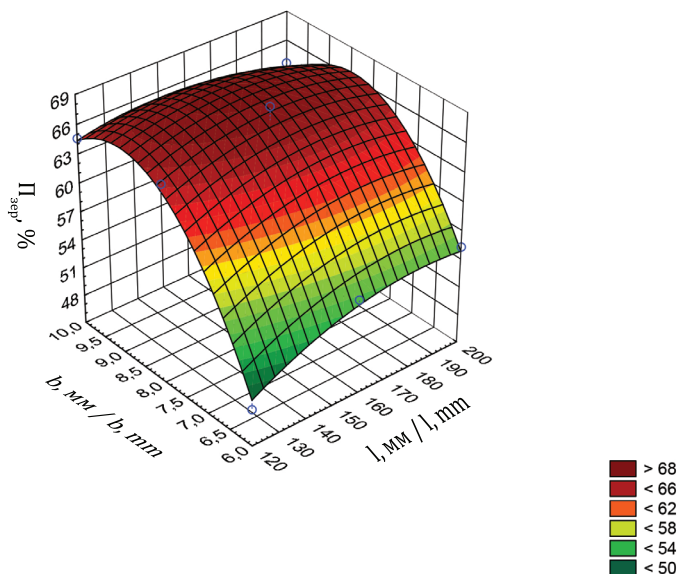
где $C_{з\text{ер}}$ – сход свободного зерна сквозь отверстия сепарирующей решетки, %; L – длина сепарирующей решетки, м.

Экстраполяция полученного тренда (2) позволила сделать вывод о том, что практически полное выделение из очесанного вороха свободного зерна возможно при длине сепарирующей поверхности $L = 1,18$ м. У серийного

комбайна КЗС-10К «Полесье GS-10» днище наклонной камеры имеет длину порядка 1,3 м. Следовательно, осуществление практически стопроцентной сепарации свободного зерна в наклонной камере зерноуборочного комбайна технически возможно.

Практическая реализация полученных результатов была осуществлена на базе очесывающей жатки «ОЗОН» в агрегате с комбайном «Нива-Эффект» (рис. 3).

По результатам серии экспериментов установлено, что средний проход свободного зерна сквозь отверстия решетчатого днища составляет 90 %. Отсутствие стопроцентного результата обусловлено непроницаемостью стенок контейнера для потока воздуха, генерируемого ротором очесывателя, что нарушает отвод пыли, которая блокирует значительную часть живого сечения отверстий решетчатого днища. При этом доля дробленого зерна



Р и с. 2. Поверхность отклика для второй серии опытов при взаимодействии факторов: длина и ширина отверстий решетчатой поверхности

Fig. 2. The response surface for the second series of experiments with the interaction of factors: the length and the width of the holes of the lattice surface

в ворохе, накопленном в мягком контейнере и прошедшем сквозь отверстия в решетчатом днище, не превышала 0,5 %, тогда как в бункере она увеличилась до 1,75 %. Состав очесанного зернового вороха, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища и накопленного в мягком контейнере, был следующим: свободное зерно 76 %, солома 23,3 %, необмолоченные колосья 0,2 % и солома 0,5 %.

При работе комбайна без предварительной сепарации очесанного зернового вороха на решетчатом днище наклонной камеры дробление бункерного зерна превышало агротехнические требования, поскольку достигало 5,25 %. Суммарные потери за комбайном во всех вариантах опытов не превышали 2 % при средней полеглости растений 11,21 %.

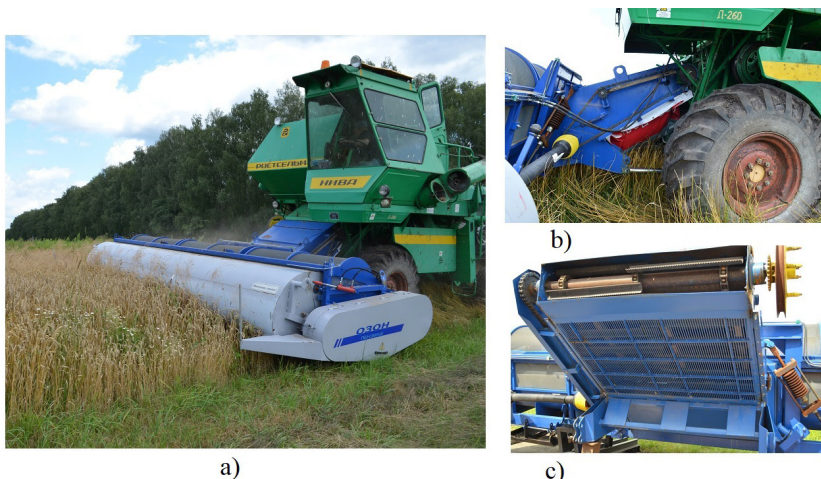
Обсуждение и заключение

Главный вывод, который следует из анализа приведенных выше результатов, заключается в том, что предварительное выделение из очесанного зернового вороха свободного зерна до его поступления в молотильный зазор технически

осуществимо. Более того, оно возможно в наклонной камере очесывающей жатки без внесения существенных корректив в конструкцию самого комбайна. Последнее обстоятельство важно в тех зонах страны, где зерноуборочный комбайн предполагается использовать и для уборки подсолнечника, кукурузы, а также других культур, уборка которых очесом затруднена или невозможна.

Одним из последствий расширения функции наклонной камеры за счет сепарации свободного зерна является некоторое увеличение ее массы. Выполненные предварительно расчеты свидетельствуют о том, что перегрузка переднего моста и недогрузка моста управляемых колес на данном этапе присутствуют, но не несут катастрофического характера [32]. Тем не менее при дальнейшей модернизации машин целесообразно учесть это обстоятельство и целенаправленно осуществить соответствующее перераспределение веса между мостами комбайна.

В тех зонах, где предполагается использовать комбайн исключительно

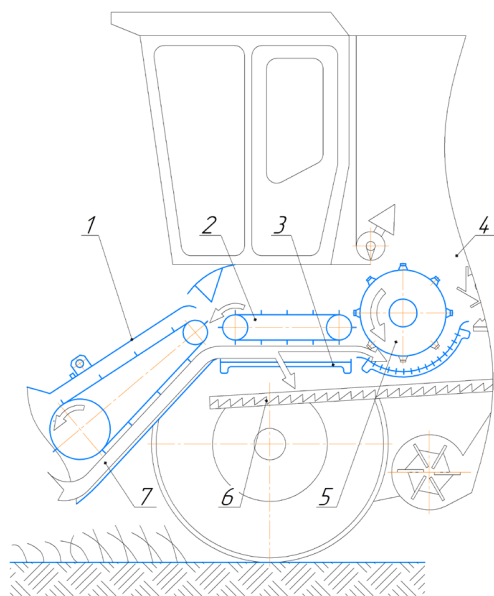


Р и с. 3. Экспериментальное оборудование при проведении полевых исследований:
а) общий вид зерноуборочного комбайна; б) мягкий контейнер;
с) решетчатое днище наклонной камеры

F i g. 3. Experimental equipment for field research: a) general view of the combine harvester;
b) soft container; c) lattice bottom of the inclined chamber

в агрегате с очесывателем, ориентация на размещение сепарирующего устройства непосредственно перед барабаном может быть оправданной. При этом барабан необходимо переместить назад, а соломотряс укоротить за ненадобностью. Наряду с рассмотренными в литературном обзоре техническими решениями, реализующими этот принцип, перспективными могут быть и альтернативные варианты конструкции [33].

Перспективным можно считать и размещение перед барабаном 5 состоящей из продольных пластин сепарирующей решетки 3 с расположенным над ней дополнительным скребковым транспортером 2 (рис. 4).



Р и с. 4. Размещение сепарирующей решетки непосредственно перед барабаном:

- 1 – наклонная камера; 2 – транспортер скребковый; 3 – сепарирующая решетка;
- 4 – комбайн; 5 – барабан молотильный;
- 6 – транспортная доска; 7 – очесанный зерновой ворох

Fig. 4. Placement of the separating grate directly in front of the drum: 1 – inclined chamber; 2 – scraper conveyor; 3 – separating grate; 4 – combine harvester; 5 – threshing drum; 6 – transport board; 7 – combed grain heap

Ее перевод из наклонного положения (в наклонной камере) в горизонтальное (перед барабаном) должен существенно увеличить сепарирующую способность живого сечения отверстий. Этому может способствовать и ликвидация характерных для решетчатого днища наклонной камеры перегородок между отверстиями, поскольку процесс скольжения слоев вороха становится непрерывным на всей длине решетки 3 [34]. Перевод сепарирующей решетки 3 в горизонтальное положение сокращает необходимую длину поверхности сепарации, примерно, до одного метра, что уменьшает проблемы, связанные с необходимостью перекомпоновки комбайна.

Принято считать, что при уборке зерновых культур очесом на корню энергоёмкость процесса заметно уменьшается. В частности, расход топлива снижается на 45 % [7]. Модернизация формы очесывающих гребенок позволяет увеличить эффект еще на 28 % [10]. При этом отсутствуют сведения об экономии энергозатрат вследствие осуществления предварительной сепарации очесанного вороха в наклонной камере комбайна. На данном этапе исследований мы ограничились аналитической оценкой этого эффекта.

Источником экономии энергозатрат являются затраты на деформацию (перетирацию) массы и на сообщение ей дополнительной кинетической энергии. В результате установлено, что, с учетом КПД привода, потребность в мощности на привод молотильного барабана должна уменьшиться на 10,2 кВт (для комбайна типа КЗС-10К). При этом дополнительные затраты мощности на привод наклонных шнеков не превышают 1 кВт.

Таким образом, предварительная сепарация свободного зерна из очесанного вороха в три раза уменьшает дробление зерна, а также снижает

мощность, расходуемую на привод модернизации зерноуборочного ком-
молотильного аппарата, на 11–12 %. байна до его массового внедрения
Следовательно, дальнейшие работы в производство имеют хорошую пер-
по доведению указанного направления спективу окупаемости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шибалкин А. Е. Динамика производства зерна в России: объемные и структурные изменения // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 7. С. 44–48. doi: <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2019-0-7-44-48>
2. 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.
3. Жалнин Э. В., Ценч Ю. С., Пьянов В. С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 2. С. 4–8. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8>
4. Strategy of Technical Support of Grain Harvesting Operations in Republic of Kazakhstan / V. L. Astafyev [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 (дата обращения: 27.01.2022).
5. On the Substantiation of the Technological Scheme of the Combine Harvester with the Stationary Process of Threshing Bread Mass [Электронный ресурс] / A. S. Ovchinnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Russian Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness, TSIA 2019 (21–22 October 2019). Vol. 488. Stavropol, 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012057>
6. 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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47467816> (дата обращения: 27.01.2022).
7. Adaptation of Threshing Devices to Physical and Mechanical Characteristics of Harvested Crops / Yu. F. Lachuga // Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 46, Issue 2. P. 198–201. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367420020111>
8. Lovchikov A. P., Ognev I. I. Theoretical Background for the Development of Stationary Process of Grain Mass Threshing with a Combine Harvester [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). Vol. 193. Sevastopol, 2020. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>
9. Increase in Soil Moisture Reserves Due to the Formation of High Stubble Residues for the Accumulation of Snow Precipitation [Электронный ресурс] / M. Konstantinov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference “Earth Science” (8–10 December 2020). Vol. 666. Vladivostok, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>
10. Результаты лабораторных исследований по определению оптимальных конструктивных и режимных параметров ротора / М. А. Федин [и др.] // Нива Поволжья. 2018. № 4. С. 169–174. URL: <https://clck.ru/enmf1> (дата обращения: 27.01.2022).
11. Buryanov A. I., Chervyakov I. V., Kolinko A. A. Strength Testing of Stripping Cylinder’s Tooth // INMATEH – Agricultural Engineering. 2021. Vol. 65, Issue 3. P. 67–72.
12. Development of a Method to Control Threshing Process Based on Properties of Harvested Crop Variety and External Factors [Электронный ресурс] / A. V. Alabushev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (17–18 October 2019). Voronezh, 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012005>

13. 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.
14. Савин В. Ю. Зависимость степени дробления зерна пшеницы от частоты вращения очесывающего устройства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 98–102. doi: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.98>
15. Perspectives of Grain Pile Separation Before It Enters the Thresh-ER / V. Ozherelyev [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. 2018. Vol. 7, Issue 2.13. P. 114–116. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>
16. Chaplygin M. E., Tronev S. V., Davydova S. A. Soybean Harvesting Using Current Dedicated Headers and Adapters [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production (27–28 August 2020). Vol. 659. Rostov Region, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012014>
17. 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.
18. Съёмная 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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37365086> (дата обращения: 30.01.2022).
19. 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. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>
20. Очесывающий аппарат : патент 2726110 Российская Федерация / Савин В. Ю. № 2019117319 ; заявл. 04.06.2019 ; опубл. 09.07.2020. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43905335> (дата обращения: 30.01.2022).
21. Очесывающий аппарат : патент 2751846 Российская Федерация / Савин В. Ю. № 2020128369 ; заявл. 25.08.2020 ; опубл. 19.07.2021. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46476751> (дата обращения: 30.01.2022).
22. Наклонная камера зерноуборочного комбайна : патент 1687078 СССР / Дементьев А. В. [и др.]. № 4689013/15 ; заявл. 12.05.1989 ; опубл. 30.10.1991. 5 с. URL: <https://patents.su/4-1687078-naklonnaya-kamera-zernouborochnogo-kombajna.html> (дата обращения: 30.01.2022).
23. Наклонная камера зерноуборочного комбайна : патент 2577892 Российская Федерация / Ожерельев В. Н., Никитин В. В. № 2014145875/13 ; заявл. 14.11.2014 ; опубл. 20.03.2016. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37388291> (дата обращения: 30.01.2022).
24. Ozherelyev V. N., Nikitin V. V., Komogortsev V. F. Comparison of Different Methods for Preliminary Separation of Free Grain When Hatching Standing Plants [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1079. 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>
25. Зерноуборочный комбайн : патент 2680666 Российская Федерация / Шабанов Н. П., Хабрат Н. И., Умеров Э. Д. № 2016149302 ; заявл. 14.12.2016 ; опубл. 25.02.2019. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41019193> (дата обращения: 30.01.2022).
26. Комбайн для уборки зерновых культур на корню : патент 1766310 СССР / Данченко Н. Н. [и др.]. № 4670394/15 ; заявл. 06.02.1989 ; опубл. 07.10.1992. 5 с. URL: <https://patenton.ru/patent/SU1766310A1> (дата обращения: 30.01.2022).
27. Зерноуборочный комбайн с очесывающей жаткой : патент 2744619 Российская Федерация / Ряднов А. И., Федорова О. А. № 2020120743 ; заявл. 16.06.2020 ; опубл. 12.03.2021. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45806659> (дата обращения: 30.01.2022).
28. Тишанинов К. Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы решетного стана // Наука в центральной России. 2021. № 4. С. 13–17. doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-13-17>
29. Obtaining High-Quality Grain through the Use of Fractional Technology for Its Cleaning [Электронный ресурс] / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (26–29 February 2020). Vol. 640. Voronezh, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022046>

30. Orobinsky V. I., Gulevsky V. A., Gievsky A. M. The Technological Process of the Grain Harvester as a Complex Functional System [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. Vol. 723. Smolensk, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032005>

31. Ways to Reduce Injury to Seeds by the Harvester's Final Threshing Device [Электронный ресурс] / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. Vol. 723. Smolensk, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032014>

32. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Федин М. А. Влияние предварительной сепарации свободного зерна на устойчивость комбайна с очесывающей жаткой // Сельский механизатор. 2020. № 1. С. 4–6. URL: http://libryansk.ru/files/projectimage/agro/text/ozherelev_sm_2020_01.pdf (дата обращения: 30.01.2022).

33. Зерноуборочный комбайн : патент 2685735 Российская Федерация / Ожерельев В. Н. [и др.]. № 2018126059 ; заявл. 13.07.2018 ; опубл. 23.04.2019. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38145296> (дата обращения: 30.01.2022).

34. Зерноуборочный комбайн : патент 2756602 Российская Федерация / Ожерельев В. Н. [и др.]. № 2020137033 ; заявл. 10.11.2020 ; опубл. 04.10.2021. 5 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47120989> (дата обращения: 30.01.2022).

Поступила 02.02.2022; одобрена после рецензирования 21.03.2022; принята к публикации 11.04.2022

Об авторах:

Ожерельев Виктор Николаевич, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве Брянского ГАУ (243365, Российская Федерация, Брянская обл., с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: AAD-8298-2022, Scopus ID: 57195608281, vicoz@bk.ru

Никитин Виктор Васильевич, заведующий кафедрой технического сервиса Брянского ГАУ (243365, Российская Федерация, Брянская обл., с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>, Researcher ID: AAD-7368-2022, victor.nike@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

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

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Shibalkin A.E. Dynamics of Grain Production in Russia: Volume and Structural Changes. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2019;(7):44–48. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2019-0-7-44-48>

2. 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.

3. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., Pyanov V.S. Analysis Method of Combine Harvesters Technical Level by Functional and Structural Parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(2):4–8. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8>

4. Astafyev V.L., Golikov V.A., Zhalnin E.V., et al. 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 (accessed 27.01.2022).

5. Ovchinnikov A.S., Lovchikov A.P., Ryadnov A.I., et al. On the Substantiation of the Technological Scheme of the Combine Harvester with the Stationary Process of Threshing Bread Mass. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Russian Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness, TSIA 2019 (21–22 October 2019). Vol. 488. Stavropol; 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012057>

6. Glushkov I.N., Konstantinov M.M., Gerasimenko I.V., et al. 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. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47467816> (accessed 27.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

7. 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. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367420020111>

8. Lovchikov A.P., Ognev I.I. Theoretical Background for the Development of Stationary Process of Grain Mass Threshing with a Combine Harvester. In: E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). Vol. 193. Sevastopol; 2020. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>

9. 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. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference “Earth Science” (8–10 December 2020). Vol. 666. Vladivostok; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>

10. Fedin M.A., Kukharev O.N., Kukhmazov K.Z., et al. The Results of Laboratory Tests on the Determination of the Optimal Constructive and Operating Parameters of Rotor. *Cornfield of Volga Region*. 2018;(4):169–174. Available at: <https://clek.ru/enmfi> (accessed 27.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

11. Buryanov A.I., Chervyakov I.V., Kolinko A.A. Strength Testing of Stripping Cylinder’s Tooth. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021;65(3):67–72.

12. Alabushev A.V., Buryanov A.I., Pakhomov V.I., et al. Development of a Method to Control Threshing Process Based on Properties of Harvested Crop Variety and External Factors. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (17–18 October 2019). Voronezh; 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012005>

13. Buryanov A.I., Chervyakov I.V. Using Combines for Cleaning Grain Crops by Non-Traditional Technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019;59(3):27–32.

14. 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.) doi: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.98>

15. Ozherelyev V., Nikitin V., Belous N., Torikov V. Perspectives of Grain Pile Separation Before It Enters the Thresh-ER. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018;7(2.13):114–116. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11622>

16. Chaplygin M.E., Tronev S.V., Davydova S.A. Soybean Harvesting Using Current Dedicated Headers and Adapters. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference

on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production (27–28 August 2020). Vol. 659. Rostov Region; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012014>

17. 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.

18. 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. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37365086> (accessed 30.01.2022). (In Russ.)

19. 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.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>

20. Savin V.Yu. Combing Device. Patent 2,726,110 Russian Federation. 2020 July 9. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43905335> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

21. Savin V.Yu. Combing Device. Patent 2,751,846 Russian Federation. 2021 July 19. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46476751> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

22. 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. Available at: <https://patentsu.su/4-1687078-naklonnaya-kamera-zernouborochnogo-kombajjna.html> (accessed 30.01.2022). (In Russ.)

23. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. [Inclined Chamber of a Combine Harvester]. Patent 2,577,892 Russian Federation. 2016 March 20. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37388291> (accessed 30.01.2022). (In Russ.)

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. Vol. 1079. 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>

25. Shabanov N.P., Khabrat N.I., Umerov E.D. Combine Harvester. Patent 2,680,666 Russian Federation. 2019 February 25. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41019193> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

26. 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. Available at: <https://patenton.ru/patent/SU1766310A1> (accessed 30.01.2022). (In Russ.)

27. Ryadnov A.I., Fedorova O.A. Grain Harvester with Stripper Header. Patent 2,744,619 Russian Federation. 2021 March 12. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45806659> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

28. 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.) doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-13-17>

29. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Gulevsky V.A., et al. Obtaining High-Quality Grain through the Use of Fractional Technology for Its Cleaning. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (26–29 February 2020). Vol. 640. Voronezh; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022046>

30. Orobinsky V.I., Gulevsky V.A., Gievsky A.M. The Technological Process of the Grain Harvester as a Complex Functional System. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. Vol. 723. Smolensk; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032005>

31. 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. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture. Vol. 723. Smolensk; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032014>

32. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Fedin M.A. [Influence of Free Grain Pre-Separation on the Stability of a Combine Harvester with a Combing Header]. *Rural Mechanic*. 2020;(1):4–6. Available at: http://libryansk.ru/files/projectimage/agro/text/ozherelev_sm_2020_01.pdf (accessed 30.01.2022). (In Russ.)

33. Ozherelev V.N., Zhalnin E.V., Ignatov V.D., et al. Combine Harvester. 2019 April 23. 4 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38145296> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

34. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Ozhereleva M.V., Ozherelev P.V. Combine Harvester. 2021 October 4. 5 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47120989> (accessed 30.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 02.02.2022; approved after reviewing 21.03.2022; accepted for publication 11.04.2022

About the authors:

Viktor N. Ozherelev, 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), Dr.Sci. (Agric.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: AAD-8298-2022, Scopus ID: 57195608281, vicoz@bk.ru

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

Contribution of the authors:

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

V. V. Nikitin – analysis of literary data, preparation of the initial version of the text and finalization of the text, conducting experiments and processing the results.

All authors have read and approved the final manuscript.