

УДК 631.354:33

Стратегия совершенствования конструкции зерноуборочного комбайна Strategy for design improvement of a combine harvester

В. Н. ОЖЕРЕЛЬЕВ¹, д-р с.-х. наук
В. В. НИКИТИН², канд. техн. наук

¹ Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, vicoz@bk.ru

² Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская обл., Россия, viktor.nike@yandex.ru

V. N. OZHEREL'EV¹, DSc in Agriculture
V. V. NIKITIN², PhD in Engineering

¹ Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, vicoz@bk.ru

² Bryansk State Agrarian University, Kokino, Bryansk region, Russia, viktor.nike@yandex.ru

Представлены перспективные направления совершенствования конструкции зерноуборочного комбайна путем максимальной адаптации алгоритма его воздействия на растения с различными физико-механическими свойствами. Оптимизирован технологический алгоритм работы с очесанным зерновым ворохом. Предложено предварительно отделять легкие примеси непосредственно в очесывающем адаптере, задняя стенка корпуса которого должна быть снабжена инерционным пластинчатым сепаратором. Легкие примеси выводятся вместе с избыточным потоком воздуха за пределы адаптера, а более тяжелое свободное зерно и частично недомолоченные колосья остаются внутри его корпуса. Конструктивно такой технический эффект достигается за счет того, что сепаратор образован набором продольных пластин, смонтированных с перекрытием и внедрением большей части поперечного сечения каждой из них внутрь корпуса адаптера. Поперечное сечение пластины имеет криволинейную поверхность и сориентировано вогнутостью в сторону задней стенки корпуса. Оставшийся зерновой ворох (частично недомолоченные колосья и свободное зерно) подвергается вторичной сепарации на перфорированном днище наклонной камеры. В днище выполнены продолговатые отверстия, имеющие определенную форму поперечного сечения и отклоненные от направления перемещения скребков транспортера на острый угол. Благодаря этому ости колосьев не зацепляются за заднюю кромку отверстия, а поднимаются по наклонной поверхности до уровня днища наклонной камеры. Внедрение совокупности этих технических решений в конструкцию современного зерноуборочного комбайна позволит увеличить его производительность при очесывании растений на корню, надежно исключив возможность дробления свободного зерна рабочими органами молотильного устройства.

Ключевые слова: зерно; зерноуборочный комбайн; очесывающий адаптер; сепарация очесанного зернового вороха; наклонная камера.

Promising directions of design improvement of combine harvester by means of the maximal adaptation of algorithm of its impact on plants with different physical and mechanical properties are presented. The technological algorithm of work with grain heap is optimized. It is proposed to separate previously the light impurities directly in the stripper header, the rear wall of which should be equipped with inertial tilted-plate separator. The light impurities are removed along with excessive airflow from the stripper header, but heavier free grain and tailings remain inside. In the terms of design, such technical effect is achieved due to the fact that the separator is formed by a set of longitudinal plates mounted with overlapping and imbedding of greater part of the cross section of each of them into the body of stripper header. The cross section of the plate has a curved surface, and its concavity is oriented towards the rear wall of the body. Remaining grain heap (tailings and free grain) is subjected to the secondary separation on perforated bottom of grain conveyor. Elongated holes are made in bottom; they have a particular cross-sectional shape and are inclined from the motion direction of conveyor flights on acute angle. As a result, the awns of spikes do not catch hold of the rear edge of the hole, and climb up the angled surface to the level of bottom of grain conveyor. Implementation of set of these technical solutions in the design of modern combine harvester will increase its performance when stripping of standing plants with eliminating the possibility of free grain crushing by working organs of the threshing device.

Keywords: grain; combine harvester; stripper header; separation of grain heap; grain conveyor.

Введение

В условиях господства на рынке сельхозмашин транснациональных финансово-промышленных групп конкурентные позиции отечественных производителей за последнее десятилетие заметно ухудшились. Впервые в истории отечественного комбайностроения в 2013 г. на до-

лю машин ОАО "Ростсельмаш" пришлось менее половины отечественного рынка. Что касается Красноярского комбайнового завода, то вместе с новым владимирским филиалом он удерживает лишь чуть более 3 % рынка. На вторую позицию вышел "Брянксельмаш" (27,28 % рынка), осуществляющий сборку комбайнов

"Полесье" в кооперации с белорусской фирмой "Гомсельмаш".

Во-первых, заметное снижение объема продаж обусловлено тем, что существенно ухудшилось финансовое положение с.-х. товаропроизводителей [1], и это резко сузило рынок сбыта. Во-вторых, встраивание российского машиностроения в тех-

нологическую структуру зарубежных фирм приводит к тому, что почти половина стоимости зерноуборочного комбайна приходится на покупные изделия. Так, завод "Ростсельмаш" импортирует более 15 % комплектующих. Девальвация национальной валюты делает такое разделение труда экономически нецелесообразным, поскольку рост цен на импортные комплектующие значительно опережает уровень инфляции.

В условиях кризиса сбыта отечественные машиностроители привычно ориентируются на финансовую поддержку со стороны правительства, не в полной мере используя возможности конструктивного совершенствования техники. Это относится и к зерноуборочным комбайнам, потенциал совершенствования которых далеко не исчерпан.

Цель исследования

Непременным условием успеха в усиливающейся конкурентной борьбе становится ориентация на инновации, опирающиеся на нереализованные пока оптимальные алгоритмы воздействия на убираемую культуру и ее отдельные элементы. В этом отношении последняя разработка ОАО "Ростсельмаш" (роторный комбайн РСМ-181 Togum-740) не может быть отнесена к категории инновационного прорыва. Аналогичные роторные комбайны производят зарубежные конкуренты, а отсутствие у их машин вращающейся деки не сказывается отрицательно на потребительских свойствах продукции.

В связи с этим следует углубить изучение физико-механических свойств объекта воздействия и сформулировать оптимальный алгоритм взаимодействия с ним рабочих органов комбайна. Объектом воздействия будем считать зерновые колосовые культуры, которые составляют более 80 % объема убираемых зерноуборочным комбайном площадей.

Формирование гипотезы исследования

Выделим три базовых физико-механических свойства зерновых колосовых культур, перспективных для использования в качестве отправных точек совершенствования алгоритма воздействия рабочих органов на убираемые растения (рис. 1).

Во-первых, следует учитывать соотношение зерна и соломы в поступающем в молотилку ворохе. Уменьшить негативное влияние излишней соломистости на энергоемкость процесса обмолота позволяет переход на очесывание растений на корню [2]. При таком способе уборки в 1,5–2 раза уменьшается поступление технологической массы в комбайн, что приводит к экономии до 70 % энергии, которую комбайн, как правило, расходует на деформацию соломы в молотилке.

Второе важное обстоятельство — то, что усилие отрыва зерна от стержня колоса при воздействии на него в поперечном направлении существенно меньше, чем при воздействии вдоль зерновки. Максимально реализовать имеющееся различие позволяет знакопеременное воздействие на колос в перпендикулярном направлении [3].

Третье свойство заключается в том, что у большинства зерновых колосовых культур чешуи, охваты-

вающие каждую зерновку, дополнительно укрепляют ее положение и в процессе обмолота препятствуют эффективной реализации ударного воздействия бичей молотильного барабана, демпфируя ударный импульс. Значит, вне зависимости от способа отделения плодосодержащей части растения от земли (сревание традиционной жаткой или очес на корню) нужно предварительно разрушить или хотя бы ослабить чешуйчатое окружение каждой зерновки.

По мере реализации указанных алгоритмов первого порядка (см. рис. 1) актуальной задачей становится максимальная адаптация последующих фаз технологического процесса к физико-механическим свойствам полученного вороха. Так, в случае очеса зерна на корню при осуществлении последующих фаз технологического процесса уборки начинает доминировать проблема чрезмерного содержания в ворохе мелких легких примесей и наличия

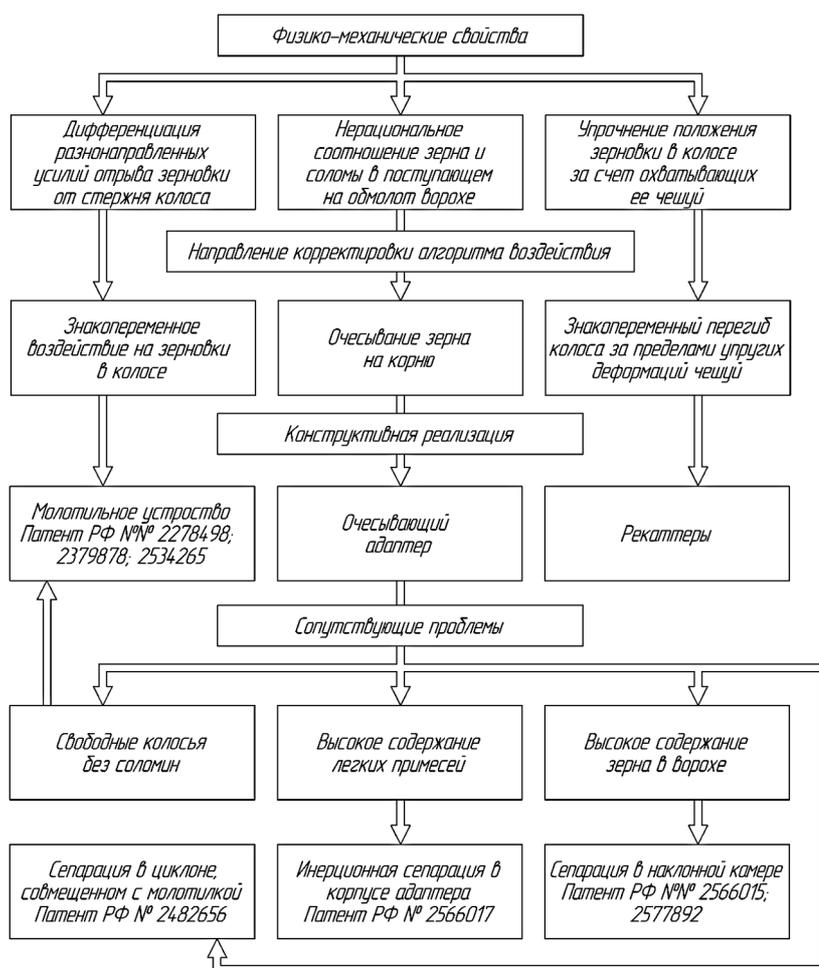


Рис. 1. Стратегия совершенствования зерноуборочного комбайна

свободных колосьев разной длины, содержащих различное количество остаточных зерен [4]. При этом в связи с практически полным отсутствием соломы резко уменьшается эффективность работы молотильного барабана, соломотряс оказывается недогруженным, а очистка, наоборот, перегруженной. Кроме того, велик риск дробления свободного зерна, поступающего в молотильную камеру без технологической цели. Следовательно, нужно осуществить предварительную сепарацию очесанного вороха до поступления в молотильное устройство.

Что касается наличия в ворохе недомолоченных колосьев практически без соломы, то подход к выбору способа дальнейшего технологического воздействия на них должен быть аналогичен подходу к выбору типа автономного домолачивающего устройства.

Результаты и их обсуждение

Наиболее сложная задача — синтез молотильного устройства, способного эффективно реализовать знакопеременное воздействие на колос. Конструкционное решение было найдено (рис. 2), и устройство успешно испытано [3]. Знакопеременное воздействие на колос возникает в результате его взаимодействия с коническими поверхностями неподвижной деки 1 и совершающей угловые колебания вокруг вертикальной оси подвижной перфорированной деки 2 молотильного устройства. Обмолачиваемые колосья 4 под действием силы тяжести и колебаний перемещаются в молотильном зоре вниз, а выделенные зерна просыпаются сквозь отверстия внутрь деки 2 и вместе с мелкими примесями поступают на очистку.

Для подтверждения исходной гипотезы исследования проведены лабораторные измерения удельной работы, необходимой для выделения из колоса одной зерновки. В результате достоверно установлено, что использование поперечного знакопеременного нагружения связей зерновки со стержнем колоса обеспечивает по сравнению с традиционным барабаном бильного типа снижение энергоемкости обмолота в 4—5 раз [5]. Кроме того, экспериментально установлены оптимальные параметры рифов, выполненных на рабочих

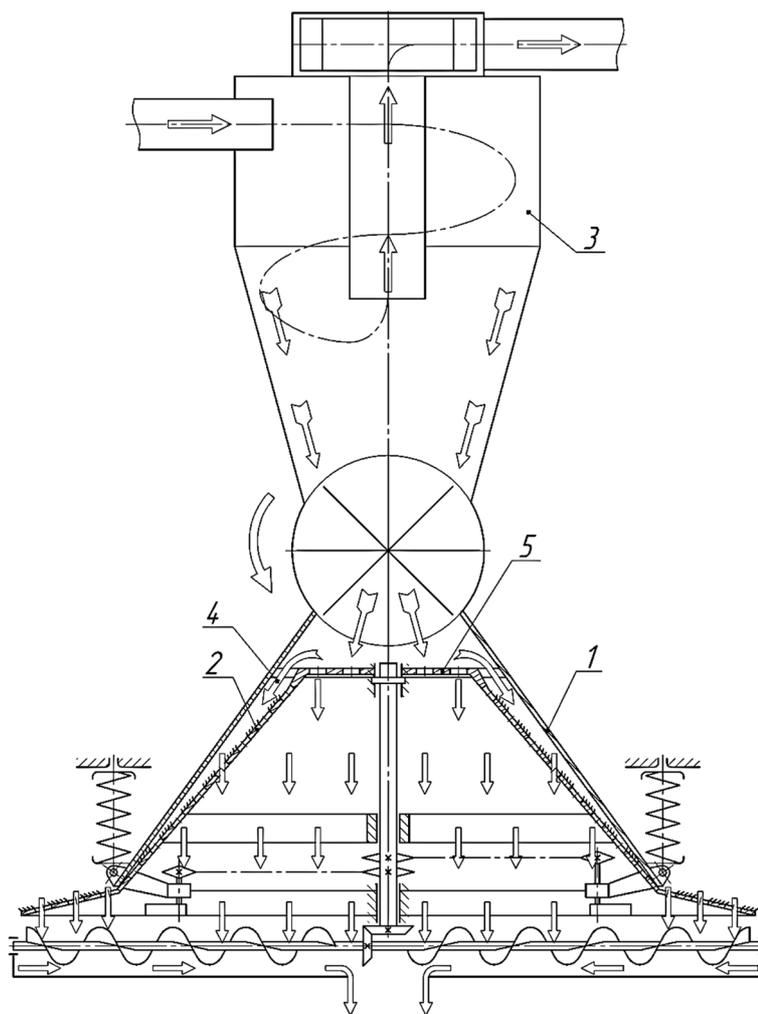


Рис. 2. Молотильное устройство

поверхностях дек молотильного аппарата [6].

Переход от лабораторного образца, успешно осуществляющего перспективный алгоритм воздействия на колос, к конструированию комбайна сопряжен с рядом трудноразрешимых проблем. Во-первых, при измерениях не учитывались дополнительные затраты энергии на деформацию соломы, что должно примерно в 2 раза уменьшить положительный эффект, зафиксированный в лабораторном опыте. Во-вторых, требуется радикальная перекомпоновка комбайна, на что пока не готовы производители зерноуборочной техники.

Успешные лабораторные опыты также не служат убедительным мотивом для поддержки проекта инвесторами. В связи с этим план исследований был скорректирован в пользу интенсификации работы с очесанным зерновым ворохом, в котором присутствует минимум соло-

мы, вследствие чего молотилка знакопеременного воздействия на колос могла бы максимально реализовать свой потенциал. Более того, оправдано ожидание синергетического эффекта от одновременного внедрения в конструкцию комбайна двух указанных технических решений.

На протяжении многих десятилетий конструкционные параметры рабочих органов зерноуборочного комбайна и режимы их работы оптимизировались для работы с солоистой массой. Естественно, что обработка вороха, поступающего от очесывающего адаптера, обуславливает специфические требования к конструкции комбайна и режиму его работы. Опыт практической эксплуатации уборочной техники свидетельствует о том, что даже изменение ориентации колосьев в результате подачи обмолачиваемой массы "комлем вперед" резко изменяет характер взаимодействия с ней молотильного аппарата. Еще более су-

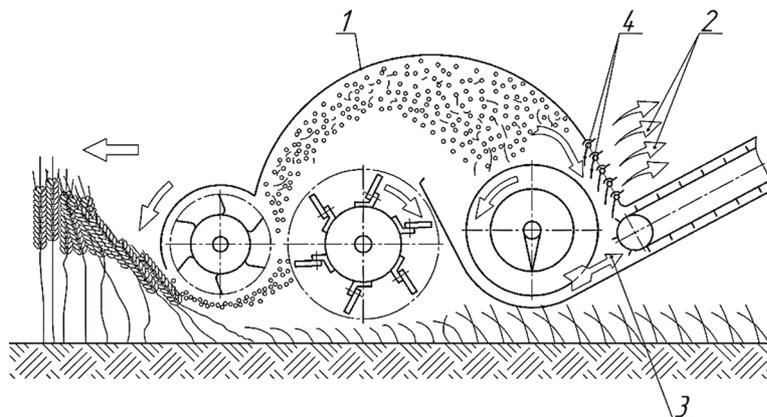


Рис. 3. Очесывающий адаптер, оснащенный устройством для удаления легких примесей

ществленных изменений параметров процесса требует обработка практически бесстебельного вороха, содержащего большую долю свободного зерна.

Двухлетние испытания очесывающих адаптеров различных конструкций позволили сформировать принципиальные подходы к выбору направления адаптации зерноуборочного комбайна к наиболее эффективной работе с очесанным зерновым ворохом. Основные усилия должны быть сосредоточены на решении трех технологических проблем:

- исключении поступления большей части свободного зерна в молотильный аппарат;
- исключении поступления значительной части мелких легких примесей в очистку комбайна;
- гашении (или технологическом использовании) избыточного воздушного потока, создаваемого очесывающим барабаном.

Возможны два варианта использования энергии генерируемого очесывающим барабаном воздушного потока. Во-первых, он может быть использован для пневмотранспортирования и предварительного разделения вороха на фракции в циклоне 3 (см. рис. 2). Причем циклон удачно комплектуется с молотильным устройством знакопеременного воздействия на колос, на которое должна поступать только тяжелая фракция 4 (недомолоченные колосья, отдельные соломины и свободное зерно) [7]. Дальнейшая сепарация тяжелой фракции вороха на верхней перфорированной поверхности 5 подвижной части 2 молотильного устройства должна исключить попадание свободного зерна в молотиль-

ный зазор между ней и неподвижной декой 1.

Следует отметить, что этот вариант решения проблемы также требует радикальной переконфигурации комбайна, что в сложившихся условиях предполагает значительный расход средств и времени на реализацию. В связи с этим рассмотрен вариант использования воздушного потока для отделения легких примесей непосредственно в корпусе очесывающего адаптера (рис. 3). С этой целью синтезирована конструкция пластинчатого сепаратора инерционного типа, способного вывести за пределы корпуса 1 вместе с воздушным потоком значительную часть легких примесей 2, превышающих по размерам свободное зерно 3 [8].

В испытанном ранее прототипе (конструкции завода "Пензмаш") избыточный воздух выбрасывался из корпуса адаптера через сетчатое окно, в связи с чем удалялись только примеси, не превышающие по размерам свободное зерно. Более крупные компоненты поступали в систему очистки и становились главным препятствием увеличения производительности комбайна, существенно уменьшая положительный эффект от очеса растений на корню.

Таким образом, конструкция пластинчатого инерционного сепаратора решает сразу две проблемы: рациональное (в технологических целях) использование избыточного воздушного потока и освобождение от перегрузки системы очистки комбайна.

Выделение свободного зерна из вороха до поступления в молотилку возможно на основе высокой степени дифференциации свободного

зерна и недомолоченного колоса по размерам. В качестве рабочего органа может быть использована решетчатая или перфорированная поверхность. Если на первом этапе модернизации зерноуборочного комбайна ориентироваться на его минимальную переконфигуровку, то в качестве второй ступени предварительной сепарации вороха целесообразно использовать перфорированное днище наклонной камеры (рис. 4) [9].

Для максимальной интенсификации процесса сепарации свободного зерна отверстия 2, выполненные в днище 1, должны быть продолговатыми, а их боковые кромки ориентированы под острым углом α к направлению перемещения скребков 3 транспортера 4. Для исключения забивания отверстий колосьями продолжением каждого из них должна стать выемка 5 переменной глубины, выдавленная в днище. Тогда остии колосов не смогут зацепляться за заднюю кромку 6 отверстия и нарушать технологический процесс. Опираясь на наклонную поверхность выемки, они должны подниматься по ней до уровня днища наклонной камеры, не вызывая сгущивания вороха.

Математическое моделирование процесса выполнено для двух вариантов прохождения зерна через сепарирующее отверстие. В первом случае рассматривался процесс свободного полета зерна непосредственно с задней кромки отверстия. Во втором зерно из исходного положения C_1 скользило вдоль боковой кромки отверстия до опрокидывания в него в результате возникновения опрокидывающего момента, когда центр масс C_2 оказывается правее опорной боковой кромки. При скорости планки 3 транспортера, равной 5 м/с, длина отверстия, гарантирующая прохождение сепарируемого зерна, должна быть порядка 0,122 м. Значит, практическая реализация технологического процесса возможна в рамках существующей конструкции наклонной камеры [10].

Что касается разрушения чешуйчатого окружения зерновок в колосе, то в качестве рабочей гипотезы принят способ знакопеременного перегибания колоса на угол, гарантирующий превышение предельно допустимой деформации чешуек, но недостаточный для переламывания

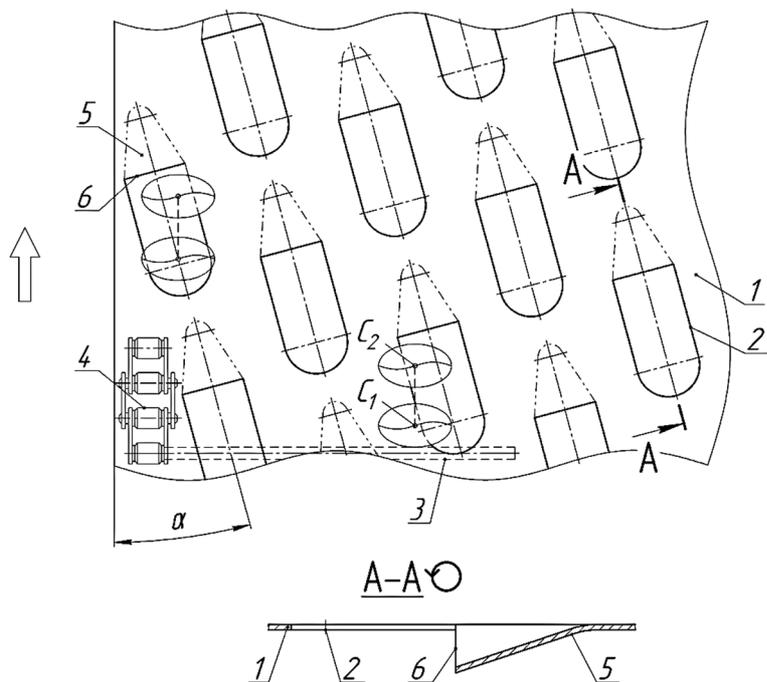


Рис. 4. Перфорированное днище наклонной камеры

соломины. В противном случае может произойти чрезмерное измельчение соломы и перегрузка системы очистки. Конструкционно реализовать указанный алгоритм воздействия на колос предполагается за счет рабочих органов, аналогичных рекаттерам, широко используемым в кормоуборочных комбайнах.

Заключение

Импортозамещение в отечественном машиностроении не должно базироваться исключительно на копировании зарубежного опыта, поскольку догоняющий способ развития лишает нашу страну перспективы выхода на лидирующие позиции на рынке. В связи с этим дальнейшая модернизация зерноуборочных комбайнов должна осуществляться путем совершенствования алгоритма взаимодействия рабочих органов с убираемыми растениями и их элементами.

Перспективные направления модернизации выявлены, теоретически обоснованы и проверены экспериментально. При наличии финансирования они могут быть реализованы применительно к комбайну любой марки, производимому отечественными предприятиями. В результате энергоёмкость уборки, в настоящее время значительно превышающая соответствующие зару-

бежные показатели, может быть не только существенно приближена к ним, но и переведена на более низкий уровень, благодаря чему повысится экономическая эффективность сельского хозяйства.

Литература и источники

1. Ожерельев В. Н., Ожерельева М. В., Подобай Н. В. Проблемы и перспективы российских фермеров // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2015, № 4. С. 65—67.
2. 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.
3. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Перспективные направления снижения энергоёмкости процесса выделения зерна из колоса // Тракторы и сельхозмашины. 2012, № 8. С. 30—31.
4. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Алакин В. М. и др. Исследование параметров очесанного зернового вороха // Техника в сельском хозяйстве. 2013, № 1. С. 7—9.
5. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Энергоёмкость выделения зерна из колоса // Техника в сельском хозяйстве. 2013, № 4. С. 22—24.
6. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Синяя Н. В. Влияние угла наклона рифов на энергоёмкость молотильного устройства // Тракторы и сельхозмашины. 2014, № 5. С. 34—36.
7. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Игнатов В. Д. Адаптация зерноубороч-

ного комбайна к работе с очесанным зерновым ворохом // Техника в сельском хозяйстве. 2013, № 6. С. 5—7.

8. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Устройство для обмола растений на корню. Патент РФ № 2566017, 2015.

9. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Наклонная камера зерноуборочного комбайна. Патент РФ № 2566015, 2015.

10. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Предварительная сепарация очесанного зернового вороха в наклонной камере // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2015. С. 165—170.

References

1. Ozherel'ev V. N., Ozherel'eva M. V., Podobay N. V. Problems and prospects of Russian farmers. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 2015, no. 4, pp. 65—67 (in Russ.).
2. Savin V. Yu. *Obosnovanie ratsional'nykh parametrov i rezhimov raboty pritsepnogo ochesyvayushchego ustroystva dlya uborki zernovykh kul'tur* [Substantiation of rational parameters and operating modes of a trailed combing device for grain crops harvesting]. PhD in Engineering thesis abstract. Voronezh, 2011, 22 p.
3. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V. Prospective trends of reducing the power consumption of the process of separation of grain from the ear. *Traktory i sel'khozmasliny*, 2012, no. 8, pp. 30—31 (in Russ.).
4. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V., Alakin V. M., Stanovov S. N. Study of parameters of a stripped grain heap. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2013, no. 1, pp. 7—9 (in Russ.).
5. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V. Power consumption of separation of grain from the ear. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2013, no. 4, pp. 22—24 (in Russ.).
6. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V., Sinyaya N. V. Influence of inclination angle of ruffles on the power consumption of threshing unit. *Traktory i sel'khozmasliny*, 2014, no. 5, pp. 34—36 (in Russ.).
7. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V., Ignatov V. D. Adaptation of a combine harvester to the work with stripped grain heap. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2013, no. 6, pp. 5—7 (in Russ.).
8. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V. *Ustroystvo dlya obmolota rasteniy na kornyu* [Device for threshing of standing plants]. RF patent no. 2566017, 2015.
9. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V. *Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombayna* [Inclined chamber of a combine harvester]. RF patent no. 2566015, 2015.
10. Ozherel'ev V. N., Nikitin V. V. Preliminary separation of stripped grain heap in the inclined chamber. *Agropromyshlennyy kompleks na rubezhe vekov: Mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Agroindustrial complex at the turn of the century. Proc. of int. sci. and pract. conf.]. Part 1. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2015, pp. 165—170 (in Russ.).