

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С АКСИАЛЬНО-РОТОРНЫМ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

---

**Владимир Иванович Оробинский**  
**Владимир Павлович Шацкий**  
**Наталья Митрофановна Дерканосова**  
**Андрей Сергеевич Корнев**  
**Даниил Алексеевич Подорванов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В настоящее время в зерновом производстве автоматизированы практически все технологические операции. Наибольшее внимание уделяется модернизации уборочной техники, так как от эффективности её работы зависит качество последующих технологических операций. Современные комбайны оборудованы спутниковой навигацией, датчиками, позволяющими во время обмолота контролировать влажность, макроповреждения и урожайность убираемых культур. Анализ технических характеристик роторных комбайнов, предлагаемых на российском рынке и используемых сельхозпредприятиями, показал, что самыми высокими показателями производительности обладают комбайны, оснащённые ротором большой длины и молотильно-сепарирующим устройством (с гидроприводом) с прямой выгрузкой обмолоченной массы. Наличие в конструкции комбайна подающего битера обеспечивает выравнивание хлебной массы и выделение посторонних включений, а большая площадь молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) – снижение уровня травмирования семян. Для оценки влияния работы МСУ на качественные показатели зернового вороха были проведены исследования в производственных условиях сельхозпредприятия Воронежской области. Исследуемые образцы отбирались при уборке комбайнами John Deere: тремя с роторными (марки 560, 820 и 980) и одним с барабанным (марка 980) МСУ. Данные анализа свидетельствуют о том, что худшими показателями отличается зерновой ворох после обмолота комбайном, оснащённым барабанным МСУ: содержание целого зерна составило 92,6%, дроблёного зерна – 5,98%, количество засорителей – 0,19%, лабораторная всхожесть семян – 92,6%. Показатели работы роторного комбайна при одинаковых оборотах барабана и ротора были лучше – соответственно 96,44%, 2,76%, 0,16% и 94,6%. Таким образом, использование роторных комбайнов для уборки зерновых культур (особенно семенных посевов) позволит получить более качественный зерновой ворох, повысить посевные качества семенного материала и товарного зерна, а также снизить энергозатраты на послепосевную обработку.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** зерноуборочные комбайны роторного типа, зерновой ворох, дробление, засорители, посевные качества, товарное зерно, семенной материал.

## ESTIMATION OF EFFICIENCY OF A COMBINE HARVESTER EQUIPPED WITH AN AXIAL-ROTARY THRESHING AND SEPARATING DEVICE

**Vladimir I. Orobinsky**  
**Vladimir P. Shatsky**  
**Natalia M. Derkanosova**  
**Andrey S. Kornev**  
**Daniil A. Podorvanov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Almost all technological operations in grain production are currently mechanized. Attention is being increasingly focused on the modernization of harvesting equipment, since the quality of subsequent technological operations depends on its operational efficiency. Modern crop harvesting combines are equipped with global positioning systems and different detecting devices making it possible to control humidity, macro-injuries and the level of crop yield of the harvested agricultural crops. Performance analysis of rotary combines offered on the Russian market and used by agricultural

enterprises showed that the highest productivity have harvesters equipped with a rotor of great length and threshing & separating device (with hydraulic drive) with direct discharging of the threshed grain. Equipping of the combine with the feeding beater ensures grain mass leveling and extraneous impurities removing, and due to a larger area of the threshing & separating device (TSD) the level of seed injuries can be reduced. Under production conditions of an agricultural enterprise in Voronezh Oblast the authors carried out research in order to assess the effect of the operational indicators of the TSD on the quality indicators of the grain heap. The studied samples were taken during harvesting by John Deere combines. Three combines were equipped with rotary TSD (Models 560, 820 and 980) and one with a drum TSD (Model 980). The worst performance indicators are registered in the grain heap after threshing by a combine equipped with drum TSD. The analysis gives the following figures: the whole grain content is 92.6%, crushed grain content is 5.98%, the amount of injuries is 0.19%, laboratory germination of seeds is 92.6%. The performance indicators of the combine equipped with rotary TSD are better than the outlined above, the analysis gives the following figures: 96.44%, 2.76%, 0.16%, and 94.6%, respectively. Thus, the use of rotary combines for harvesting grain crops (especially for seeds) will make it possible to obtain better quality indicators of the grain heap, to increase the sowing qualities of seed material and commercial grain, as well as to reduce energy consumption of the post-harvest processing.

KEYWORDS: combine harvester of the rotary type, grain heap, grinding, impurities, sowing qualities of seeds, commercial grain, seed material.

**П**роизводство зерна составляет основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является самой крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависят продовольственная обеспеченность населения и устойчивое финансовое состояние сельхозтоваропроизводителей [9]. Значительные объёмы зерна необходимы для создания семенных фондов, для удовлетворения потребностей населения в продуктах питания, а отрасли животноводства – в кормовой базе (зернофураж). Особая значимость зернового производства отмечена в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, в которой указано пороговое значение удельного веса зерна отечественного производства в общем объёме ресурсов зерна внутреннего рынка – не менее 95% [5]. Ниже этого уровня показатели производства зерна в Российской Федерации в последние годы не опускаются.

Сохранение достигнутого уровня производства зерна в стране возможно за счёт внедрения современных инновационных технологических и технических решений при уборке сельскохозяйственных культур. В частности, от уровня травмирования зерна при уборке и послеуборочной обработке зависит качество семян и товарного зерна [7, 8, 14].

В Центрально-Чернозёмном регионе РФ сельхозтоваропроизводители применяли в основном барабанные зерноуборочные комбайны, в последние годы стали приобретать роторные комбайны как зарубежных, так и отечественных производителей.

Использование роторных зерноуборочных комбайнов отечественного и зарубежного производства для уборки семенных посевов позволяет существенно снизить травмирование семян. Исследованиями установлено, что при использовании роторных комбайнов наблюдается существенное увеличение необмолоченных зерновок в зерновом ворохе [10, 12]. Наряду с трудноотделимыми засорителями необмолоченные зерновки плохо выделяются воздушно-решётными зерноочистительными машинами, используемыми в технологических линиях зерноочистительных агрегатов и зерносушильных комплексах. Для устранения этого недостатка необходимо включать в состав технологических линий дополнительные машины: триерные цилиндры, пневмостолы и другие высокопроизводительные устройства, их заменяющие [11, 14, 15].

Всесторонний анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что основным техническим средством для уборки возделываемых культур в XXI в. остаются зерноуборочные комбайны, поэтому все исследования и конструкторские разработки в области сельхозмашиностроения в ближайшем будущем должны быть направлены на дальнейшее совершенствование зерноуборочных комбайнов.

Основным направлением технологических разработок в области комбайностроения должен стать поиск путей и способов повышения показателей производительности,

а также снижения металлоёмкости и степени травмирования семян и товарного зерна. Именно от конструктивных и режимных параметров применяемой зерноуборочной машины зависит качество получаемого зернового материала [4, 6, 12, 13]. Техническое совершенствование сдерживается вследствие того, что высокопроизводительные комбайны, оснащённые двигателем мощностью 450–500 л. с., по своей массе и линейным размерам достигли предела, и дальнейшее увеличение этих параметров недопустимо из-за сложности транспортировки, а также ограничений нагрузки на почву. Предельные возможности также достигнуты в интенсификации процессов обмолота за счёт применения роторных молотильно-сепарирующих рабочих органов.

Для повышения производительности уборки урожая зерновых, зернобобовых и крупяных культур, а также кукурузы и подсолнечника, минимизации потерь зерна и повышения качества обмолота ведущие комбайностроительные фирмы мира (Massey Ferguson, John Deere, Challenger, CASE IH, New Holland), а также российские заводы-производители почти ежегодно предлагают новые более совершенные модели комбайнов. Эти фирмы ориентируют свои комбайновые программы согласно запросам потребителей разных стран мира, что объясняет наличие огромного количества моделей комбайнов с мощностью двигателя от 150 до 550 л. с. Компания John Deere предлагает комбайны, которые имеют три разные системы: клавишные серии CWS и WTS, серию CTS с роторными сепараторами соломы и серию STS с аксиальным ротором.

Технические характеристики роторных комбайнов, которые используют российские сельскохозяйственные предприятия, представлены в таблице 1.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что самыми высокими показателями производительности обладают комбайны, оснащённые ротором большой длины и молотильно-сепарирующим устройством (с гидроприводом) с прямой выгрузкой обмолоченной массы.

Роторные комбайны обладают рядом неоспоримых преимуществ:

- наличие в конструкции комбайна подающего бitera обеспечивает выравнивание потока зерновой массы и выделение посторонних включений;
- установка волнообразных лопастей способствует более равномерной подаче зерновой массы в приёмную камеру ротора на обмолот;
- увеличение площади молотильно-сепарирующего устройства позволяет снижать уровень травмирования семян;
- использование реверса позволяет изменять направление вращения ротора и таким образом перемещать зерновую массу, находящуюся в зоне обмолота, вперёд или назад;
- увеличение объёма бункера до 12 м<sup>3</sup> и более позволяет сокращать время простоя зерноуборочной машины при выгрузке зерна в транспортное средство;
- использование турбинного вентилятора позволяет создавать равномерный напор воздушного потока, за счёт чего повышается качество очистки [3].

Самый производительный в линейке завода «Ростсельмаш» зерноуборочный комбайн Тогум 740 имеет обновленную конструкцию МСУ с вращающимися в противоположные стороны ротором и декой, что способствует повышению качества процесса сепарации и снижению уровня дробления зерна до 0,6%.

Оборудование комбайнов New Holland двумя роторами, вращающимися в противоположных направлениях, облегчает процесс обмолота зерновой массы и повышает эффективность работы сепарирующих поверхностей. Чистоту бункерного зерна в соответствии с существующими требованиями обеспечивают самовыравнивающие решёта с большой площадью сепарации.

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

**Таблица 1. Технические характеристики роторных комбайнов, используемых российскими сельхозтоваропроизводителями**

Модель	Количество роторов, шт.	Диаметр ротора, мм	Длина ротора, мм	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	Площадь очистки, м <sup>2</sup>	Частота вращения вентилятора, мин <sup>-1</sup>	Объём бункера, м <sup>3</sup>	Время разгрузки, с	Ёмкость топливного бака, л	Мощность двигателя, кВт (л. с.)	Ширина захвата жатки, м	Масса, кг
Massey Ferguson												
MF 9690	1	700	3560	175–980	4,36	590–1350	10,6	135	606	221 (300)	5,5; 6,4;	12 710
MF 9790				175–970						5,35	257 (350)	
MF 9895		800		200–1040	500–1150					12,3	88	870
Challenger												
660	1	700	3556	175–980	4,36	500–1150	10,6	135	610	212,6 (285)	6,0; 7,5;	13 336
670				175–970						5,35	253,6 (340)	
680B		800		200–1040	12,3					88	342 (459)	7,7; 9,0
John Deere												
9880 STS	1	750	3130	210–1000	5,25	300–1200	11,0	95	1155	347	6,1; 9,15	14 900
S690i	1	750	3130	210–1000	5,25	250–1350	11,0	95	1155	395	6,1; 9,15	15 636
9870 STS	1	750	3130	210–1000	5,25	620–1250	10,6	91,4	1155	323	7,6; 9,1; 10,7	16 381
9770 STS	1	750	3130	210–1000	4,49	620–1200	8,0	103,2	945	265	7,8; 9,1; 10,7	14 862
9670 STS	1	750	3130	210–1000	4,49	620–1200	8,0	103,2	945	224	7,6; 9,1; 10,7	14 815
9570 STS	1	750	3130	230–1000	3,55	620–1200	7,8	100,6	757	195	7,6; 9,1	13 583
ОАО «Таганрогский комбайновый завод»												
СК–10	1	762	3434	250–100	4,43	582	6,0	160	600	184	5,6; 7,0; 8,6	15 400
КЗСР-5 «Русь»	1	550	3150	250–1000	4,50	582	4,5	160	600	100–135	4,1; 5,0; 6,0	9000
ОАО «Херсонские комбайны»												
КЗСР-9М «Славутич»	1	770	3100	250–1000	4,50	355–916	6,0–7,0	160	600	206	6,0	15 500
ООО «Комбайновый завод "Ростсельмаш"»												
ДОН-2600	1	770	3312	250–1000	4,50	1093	6,0	160	600	206	5,6; 7,0; 8,6	15 100
TORUM 740	1	762	3200	250–1000	5,2	350–1050	12,0	105	850	294	5,6; 7,0; 9,0	16 350
CASE IH												
2388	1	762	2790	276–1233	5,12	450–1250	7,4	110	680	220 (300)	7,6	12 727
AFX 8010				220–1180	6,50	450–1250	12,3	53	1000	303 (480)	9,1	16 349
AFX 7010	1	762	2612	220–1180	5,4	300–1150	9,0	112	1000	260	6,1; 9,15	14 943
AFX 9010	1	762	2623	220–1180	6,5	300–1150	10,5	112	1000	343	7,32; 9,15	16 937
New Holland												
CR 9060	2	432	2638	353–1674	5,40	210–900	9,0	82	750	310 (422)	5,18–9,15	14 380
CR9080		559	2640	266–1260	6,50		10,5	95	1000	390 (530)	7,31–9,15	15 400
CR 9090						200–1050	12,5	114	1160	435 (591)	9,15	16 700

Учитывая тот факт, что качественный состав зернового вороха и его посевные свойства в значительной степени зависят от особенностей конструкции зерноуборочной машины и режимов её работы, авторы провели анализ результатов уборки озимой пшеницы классическими и роторными комбайнами в производственных условиях сельскохозяйственного предприятия Воронежской области.

В соответствии с ГОСТ 12036-85 [1] определяли состав зернового вороха. Для этого зёрна кондиционной влажности, равной 14%, отбирали в пакеты примерно по 0,5 кг каждый для дальнейшего анализа в лаборатории Воронежского ГАУ. Отбор проводили в трёхкратной повторности.

В лабораторных условиях из каждой отобранной пробы выделяли по три навески массой 45–50 г. Для определения содержания чистого, дроблёного, микроповреждённого зерна и засорителей производили ручную разборку на разборных досках в соответствии с ГОСТ 30483-97 [2]. Полученные фракции взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г. Результаты определения качественных показателей работы зерноуборочных комбайнов представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Качественные показатели зернового вороха, полученного после уборки зерноуборочными комбайнами John Deere**

Показатели	Тип и марка МСУ			
	барабанный	роторный		
Обороты барабана ротора, мин <sup>-1</sup>	980	560	820	980
Состав зернового вороха, %				
- целое зерно	92,64	97,10	96,22	96,44
- дроблёное зерно	5,98	0,52	2,58	2,76
- зерно в плёнке	0,94	2,54	2,10	0,64
- засорители	0,19	0,15	0,08	0,16
Лабораторная всхожесть, %				
- ручной обмолот	100	100	100	100
- комбайновый обмолот	92,6	97,4	95,8	94,6

Как следует из анализа данных таблицы 2, худшими показателями отличается зерновой ворох, полученный после уборки комбайном, оснащённым барабанным МСУ. Содержание целого зерна в зерновом ворохе составило 92,6%, дроблёного зерна – 5,98%, количество засорителей равнялось 0,19%, лабораторная всхожесть семян – 92,6%. Показатели работы роторного комбайна при одинаковых оборотах барабана и ротора были лучше – соответственно 96,44% (выше на 3,8%), 2,76% (меньше в 2,17 раза), 0,16% (меньше в 1,47 раза) и 94,6% (выше на 2,0%).

На основании результатов проведённых исследований можно дать следующие рекомендации сельхозтоваропроизводителям: шире использовать при уборке зерновых культур роторные комбайны, так как они позволяют существенно повысить качественные показатели семенного материала и товарного зерна и, как следствие, снизить энергозатраты на послеуборочную обработку.

---

### Библиографический список

1. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приёмки и методы отбора проб (с Изменениями № 1, 2). – Введ. 1986–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 14 с.
2. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зёрен и крупности; содержания зёрен пшеницы; повреждённых клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси. – Введ. 1998–07–01. – Москва : Изд-во стандартов, 1998. – 20 с.
3. Обоснование выбора комбайна для уборки семенных посевов зерновых культур / В.И. Орбинский, А.П. Тарасенко, Н.М. Дерканосова и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 4 (59). – С. 86–91.
4. Обоснование режима работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна при уборке сои / А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, Д.Л. Маслов, В.Ю. Мильгунов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – С. 50–56.
5. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 02.01.2020).
6. Ожерельев В.Н. Современные зерноуборочные комбайны : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Механизация сельского хозяйства» и «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / В.Н. Ожерельев. – Москва : КолосС, 2009. – 175 с.
7. Пьяных В.П. Снижение травмирования зерна при обмолоте / В.П. Пьяных, С.А. Родимцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 12. – С. 4–6.
8. Солнцев В.Н. Повреждение зерна при уборке и послеуборочной обработке / В.Н. Солнцев, А.А. Ларченко, А.А. Ахматов // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства : матер. международной науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного университета имени императора Петра I (Россия, г. Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – Ч. 1. – С. 131–135.
9. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке : монография / А.П. Тарасенко. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2003. – 331 с.
10. Тарасенко А.П. Роторные зерноуборочные комбайны : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по инженерным специальностям / А.П. Тарасенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 188 с.
11. Улучшение качества зернового вороха при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский, А.А. Сундеев // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 5. – С. 23–26.

12. Чернышов А.В. Анализ зернового вороха, полученного при уборке комбайнами New Holland при фракционировании его на решётах / А.В. Чернышов // Актуальные проблемы животноводства, ветеринарной медицины, переработки сельскохозяйственной продукции и товароведения : матер. международной науч.-практ. конф., посвящённой памяти заслуженного деятеля науки РФ, д-ра ветеринарных наук, профессора Кузнецова Н.И. (Россия, г. Воронеж, 17–19 марта 2010 г.). – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. – С. 206–208.

13. Aldoshin N. Harvesting *Lupinus albus* axial rotary combine harvesters / N. Aldoshin, O. Didmanidze // Research in Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 64, No. 4. – Pp. 209–214.

14. Seed Refinement in the Harvesting and Post-Harvesting Process / V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, I.V. Baskakov, A.V. Chernyshov // Advances in Engineering Research : International Scientific and Practical Conference «AGROSMART – Smart Solutions for Agriculture» (Agro-SMART 2018; Russia, Tyumen, July 16–20, 2018). – Netherlands : Atlantis Press, 2018. – Vol. 151. – Pp. 870–874.

15. Work improvement of air-and-screen cleaner of combine harvester / N. Aldoshin, O. Didmanidze, N. Lylin, M. Mosyakov // Engineering for Rural Development : Proceedings of 18<sup>th</sup> International Scientific Conference (Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering, Jelgava, May 22–24, 2019). – 2019. – Vol. 18. – Pp. 100–104. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N110.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Наталья Митрофановна Дерканосова – доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kommerce05@list.ru.

Андрей Сергеевич Корнев – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Даниил Алексеевич Подорванов – лаборант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 10.02.2020

Дата принятия к печати 16.03.2020

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Natalia M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Pro-Rector for Academic Affairs, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kommerce05@list.ru.

Andrey S. Kornev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Daniil A. Podorvanov, Laboratory Assistant, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Received February 10, 2020

Accepted after revision March 16, 2020