

EDN: SOKFZO

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-47-54



Научная статья

УДК 631.354.2



Комплексная оценка эффективности работы современных зерноуборочных комбайнов в условиях южного региона России

Михаил Евгеньевич Чаплыгин,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: misha2728@yandex.ru;

Эдуард Викторович Жалнин,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
e-mail: zhalnin@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. При разнообразии применяемых в хозяйствах машин (по маркам, моделям, производителям и другим признакам) отсутствие нормативных рекомендаций часто приводит к нарушению принципов оптимальности и гармоничности парка техники, а также к увеличению себестоимости готовой продукции. (*Цель исследования*) Обобщение результатов испытаний в южных регионах России зерноуборочных комбайнов и комплексная оценка эффективности их работы. (*Материалы и методы*) Испытания проведены в хозяйствующих субъектах южного региона России по единой стандартизированной программе и методике (ГОСТ 28301-2015, ГОСТ 24055-2016, СТО АИСТ 8.22-2010). Проведена комплексная оценка комбайнов по эксплуатационно-технологическим показателям, энергозатратам, экономическим критериям. (*Результаты и обсуждение*) Техническая экспертиза двенадцати моделей комбайнов зарубежного и российского производства выявила главные характеристики, от которых зависят производительность и качество работы. Пропускная способность (класс) комбайнов находится в пределах от 6,7 (*Nova S 340*) до 13,8 килограмма в секунду (*John Deere S690*), мощность двигателей от 180 до 530 лошадиных сил. Диапазон удельной мощности двигателя на единицу пропускной способности испытанных комбайнов составляет 24,0-38,4 лошадиной силы. Аксиально-роторные комбайны отличаются высокой производительностью и низкими потерями зерна, имеют преимущество по показателям дробления и засоренности бункерного зерна. Средний расход топлива 11,2 килограмма на гектар. (*Выводы*) По показателям качества работы (потери зерна, дробление, засоренность, расход топлива) отечественные комбайны не уступают зарубежным аналогам и соответствуют стандартным агротехническим требованиям. Отечественным конструкторам целесообразно обратить внимание на устройство очистительных органов комбайна *Laverda*, которые обеспечивают минимальную засоренность бункерного зерна. Стоимость всех сравниваемых комбайнов не пропорциональна росту их производительности, что значительно (до 40%) увеличивает затраты на уборочные работы. Комбайн «Дон-1500Б» имеет лучшие экономические показатели (прямые издержки и капитальные затраты) по сравнению с аналогами, поэтому снятие его с производства является преждевременным.

Ключевые слова: зерноуборочные комбайны, тип молотилки, параметры, эксплуатационно-технологическая оценка, прямые затраты, качество зерна, производительность, расход топлива, потребность в механизаторах.

■ **Для цитирования:** Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Комплексная оценка эффективности работы современных зерноуборочных комбайнов в условиях южного региона России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 18. N2. С. 47-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-47-54. EDN: SOKFZO.

Scientific article

Comprehensive Evaluation of Modern Combine Harvester Performance in Southern Russia

Mikhail E. Chaplygin,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: misha2728@yandex.ru;

Eduard V. Zhalnin,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
e-mail: zhalnin@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Given the diverse range of machines used on farms (including different brands, models, and manufacturers, etc.), the absence of regulatory guidelines often results in violations of optimality and harmony within the equipment fleet. This, in turn, leads to increased costs of finished products. (*Research purpose*) This study aims to generalize the results from testing

grain harvesters in the southern regions of Russia and to provide a comprehensive assessment of their operational efficiency. (*Materials and methods*) Tests were conducted on economic entities in Southern Russia using a unified, standardized program and methodology according to GOST 28301-2015, GOST 24055-2016, and STO AIST 8.22-2010. A comprehensive assessment of combine harvesters was conducted evaluating operational and technological performance, energy consumption, and economic criteria. (*Results and discussion*) A technical analysis of 12 models of foreign and domestically-produced combines has revealed key characteristics that influence their productivity and operational quality. These combines exhibit a throughput capacity ranging from 6.7 kilograms per second (*Nova S 340*) to 13.8 kilograms per second (*John Deere S690*), and their engine powers vary between 180 and 530 horsepower. The specific engine power per unit of throughput also varies, ranging from 24.0 to 38.4 horsepower. Axial rotary combines are noted for their high productivity and minimal grain loss. They offer benefits such as reduced grain crushing and low levels of impurity in bunker grain. The average fuel consumption of these combines is recorded at 11.2 kilograms per hectare. (*Conclusions*) In terms of grain loss, grain crushing, purity, and fuel consumption, domestic combines are comparable to their foreign counterparts, and meet standard agrotechnical requirements. It is recommended that domestic designers study the cleaning mechanisms of the Laverda combine, which ensure minimizing the impurity levels in bunker grain. The cost of the combines analysed does not correlate proportionally with their increased productivity, leading to a significant (up to 40%) rise in the cost of harvesting operations. The *Don-1500B* combine harvester shows superior economic performance, including direct and capital costs, compared to its counterparts. Therefore, discontinuing its production would be premature.

Keywords: grain harvesters, thresher types, performance indicators, operational and technological assessment, direct costs, grain quality, productivity, fuel consumption, need for machine operators.

■ **For citation:** Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. Comprehensive evaluation of modern combine harvester performance in Southern Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 18. N2. 47-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-47-54. EDN: SOKFZO.

Современный рынок зерноуборочных комбайнов весьма насыщен разными моделями по конструкции, производительности и стоимости. Каких-либо единых нормативных рекомендаций нет, поэтому производители сельскохозяйственных товаров на свой риск приобретают ту технику, которая, по их мнению, лучше.

Цель исследования. Обобщить за период 2015-2022 гг. результаты испытаний в условиях южного региона России различных зерноуборочных комбайнов (с участием авторов) и дать комплексную оценку эффективности их работы.

Материалы и методы. Испытания выполнены в хозяйствующих субъектах по единой стандартизованной программе и методике (ГОСТ 28301-2015, ГОСТ 24055-2016, СТО АИСТ 8.22-2010). Комплексную оценку комбайнов проводили по эксплуатационно-технологическим показателям (производительность, потери и качество зерна), энергозатратам, экономическим критериям и зависимости от типа конструкции комбайна. Статистическая обработка полученных данных показала их достаточную достоверность.

Результаты и обсуждение. В целом потребность в зерноуборочных комбайнах в России обеспечивают семь предприятий, из них три завода поставляют 97% техники: это ООО «КЗ «Ростсельмаш» (75,3%), *Claas*, Краснодар (6,4%) и АО «Брянсксельмаш» (15%). Еще четыре предприятия занимаются штучным производством комбайнов (около 230 в год). На их долю приходится порядка 3% от общего выпуска, причем в основном воспроизводятся

зарубежные комбайны (Росстат: Обеспеченность тракторами и комбайнами сельскохозяйственных организаций Российской Федерации в 2022 году. С. 5-6) [1].

ООО «КЗ Ростсельмаш» производит отечественные комбайны модельного ряда *Nova*, *Vector*, *Acros* и *Torum* [2]. Краснодарский завод выпускает модельный ряд *Tuscano* фирмы *Claas*, недавно линейка пополнилась модельным рядом *Trion*. АО «Брянсксельмаш» воспроизводит белорусские комбайны «Палессе». Общая потребность в зерноуборочных комбайнах разных моделей для России составляет порядка 240-260 ед. При гарантийном сроке службы 10 лет годовое производство должно составлять 24-26 тыс. ед. Современное производство комбайнов составляет 5-5,5 ед. в год, в 5 раз меньше. Это приводит к увеличению сроков уборки и естественным потерям зерна [3].

Экспертиза выявила главные технические характеристики 12 исследуемых моделей комбайнов (Чаплыгин М.Е. Повышение эффективности использования зерноуборочного комбайна путем обоснования оптимальной ширины захвата жатки для условий Юга России: автореф. ... канд. техн. наук, 2015. 20 с.), от которых зависят производительность и качество их работы [4, 5].

Из *таблицы 1* следует, что пропускная способность (класс) этих комбайнов находится в пределах от 6,7 кг/с (*Nova S 340*) до 13,8 кг/с (*John Deere S690*), а мощности установленных двигателей – от 180 до 530 л.с. Для оценки эффективности работы молотилки комбайнов очень важен такой показатель,



Технические характеристики современных зерноуборочных комбайнов различной конструкции												
Table 1												
Показатель	Nova S 340	«Дон-1500Б»	PCM-101 «Вектор 4102	PCM-142 Acros 530	КЗС-1218 «Палес» GS12	Claas Tulcano 450	PCM-181 Torum 740	Claas Lexion 560	Laverda M 306	John Deere S690	Massey Ferguson 9790	Fendt 9460R
Изготовитель		«Ростсельмаш»			«Брянк-сельмаш»	«Класа» Россия	«Ростсельмаш2	Claas, ФРГ	Laverda, Италия	John Deere, США	Massey Ferguson, США	Fendt, ФРГ
Пропускная способность, кг/с	6,7	9,5	7,8	9,7	12,8	11,5	12,6	11,3	12,7	13,8	11,9	12,3
Мощность двигателя, л.с.	180	235	210	280	330	299	400	340	305	530	350	459
Удельная мощность двигателя, л.с/ (кг·с)	32,2	24,7	26,9	28,8	25,8	26,0	31,7	30,1	24,0	38,4	29,4	37,3
Ширина молотилки, мм	1200	1500	1200	1500	1500	1600	1500	1700	1600	1400	1408	1410
Ширина захвата жатки, м	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,6	9,0	7,6	6,0	10,7	7,5	9,2
Количество клавиш соломотряса	4	5	4	5	5	6	-	6	6	-	-	-
Размеры молотильного аппарата, мм: тип * диаметр барабана (ускорителя)/ротора длина	1 600 1185	1 800 1480	1 800 1180	1 800 1480	2 800 (600) 1480	2 450 1580	4 762 3200	3 600 1680	2 600 1580	4 762 3124	4 700 3556	4 800 3560
Площадь сепарации, м²: подбарабана (обм.+сеп.) соломотряса решет очистки	0,93 4,34 3,59	1,36 6,15 4,74	1,1 5,0 3,59	1,38 6,15 4,74	2,39 6,15 5,00	1,22 7,0 5,65	5,4 - 5,2	1,74 7,48 5,8	2,25 6,81 5,58	2,64 - 5,25	3,0 - 5,4	3,29 - 5,35
Угол обхвата подбарабана, град входное/основное	146	130	130	130	213	60/151	360	142	106			
Емкость: зернового бункера, м³ топливного бака, л	4,9 300	6,0 540	6,0 540	9,0 540	9,5 600	9,0 650	10,5 850	10,5 800	9,0	14,1 1155	10,6 606	12,3 870
Масса (с жаткой), кг	12400	12590	11400	15704	16600	12530	18500	15750	13500	17636	14750	16960
Тип молотильного аппарата: 1 – однобарабанный, бичевой, отбойный битей, клавишный соломотряс; 2 – двухбарабанный, бичевой, отбойный битей, клавишный соломотряс; 3 – двухбарабанный, бичевой, отбойный битей, роторный соломосепаратор; 4 – аксиально-роторный.												

Таблица 2

Table 2

ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО РЕГИОНА РОССИИ
GENERALIZED RESULTS FROM OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL EVALUATION OF MODERN GRAIN HARVESTERS
WITH VARIOUS DESIGNS IN SOUTHERN RUSSIA

Марка комбайна	Средняя уборочная урожаемость зерна ц/га	Производительность за 1 ч основного времени: тип/га/г	Удельный расход топлива за время смены: кг/т (кг/га)	Потери зерна, %: общие/ за молотилкой/ за жаткой	Дробление зерна, %	Засоренность бункерного зерна, %	Масса 1000 зерен, г
Nova S 340	58,8	1/1,65/9,7	1,65 (9,70)	1,9/1,49/0,41	1,7	0,5	40,9
«Дон-1500Б»	61,9	1/2,0/12,9	1,50 (9,30)	1,40/0,98/0,42	2,2	1,2	36,7
PCM-101 «Вектор 410»	57,8	1/1,84/10,63	2,55 (14,65)	1,89/1,44/0,45	1,78	0,5	41,7
PCM-142 Acros 530	52,4	1/3,12/16,3	2,3 (12,1)	2,24/0,70/1,54	3,9	0,47	35,7
K3C-1218 «Палессе GS12»	59,0	2/2,90/17,1	1,79 (10,56)	2,22/2,16/0,06	4,9	2,1	39,6
Claas Tukano 450	50,3	2/3,12/15,7	1,97 (9,9)	0,92/0,58/0,34	1,3	0,7	41,2
PCM-181 Torum 740	49,4	4/3,34/16,5	2,43 (12,0)	1,85/0,31/1,54	0,31	0,73	35,0
Claas Lexion 560	52,7	3/4,00/21,2	2,3 (12,0)	1,55/1,10/0,45	3,7	1,6	36,7
Laverda M 306	58,9	2/3,10/18,5	1,5 (8,7)	0,70/40/0,34	4,2	0,2	36,7
John Deere S 690	60,9	4/4,79/29,2	2,25 (13,7)	2,93/2,82/0,11	0,6	2,5	36,7
Massey Ferguson 9790	42,0	4/3,90/16,4	2,7 (11,5)	2,95/2,62/0,33	0,23	0,20	34,2
Fendt 9460R	42,0	4/5,20/21,84	2,4 (10,0)	1,9/1,5/0,4	0,47	0,25	34,2

как удельная мощность двигателя на единицу пропускной способности. Для всех испытанных комбайнов она находится в пределах 24,0–38,4 л.с/(кг·с): минимальная у *Laverda M 306* и «Дон-1500Б» – соответственно 24,0 и 24,7, максимальная у *John Deere S690* – 38,4 л.с/(кг·с).

Пропускную способность комбайнов с классической (барабанной) схемой молотилки [6] рассчитывали по формуле:

$$q_k = 1,83i_k - 0,83, \quad (1)$$

где i_k – параметрический индекс для каждого комбайна [7].

Пропускная способность комбайнов с аксиально-роторной молотилкой [8]

$$q_k = 1,83[N_e/126 + 0,5(F_{nc} + F_p)] - 0,83, \quad (2)$$

где F_{nc} – площадь развертки подбарабана ротора, включая молотильную и сепарирующую секции; N_e – фактическая мощность двигателя; F_p – площадь решет.

В таблице 2 обобщены результаты эксплуатационно-технологических испытаний комбайнов. Как видно, большинство моделей испытаны на уборке зерновых культур с урожайностью в пределах 50–60 ц/га и только два комбайна – *Massey Ferguson 9790* и *Fendt 9460R* на урожайности 42,5. Наиболее производительными оказались *Claas Lexion 560* – 4 га/ч основного (чистого) времени, *John Deere S690* – 4,79 га/ч и *Fendt 9460 R* – 5,20 га/ч. Произво-

дительность отечественных комбайнов определена в пределах 1,65–3,34 га/ч основного времени. Такую разницу можно объяснить двумя причинами: более мощными двигателями иностранных моделей и увеличенными потерями зерна за молотилкой по сравнению с потерями за отечественными комбайнами при меньшей урожайности – 42 ц/га.

Удельный расход топлива на 1 га убираемой площади самый большой отмечен у комбайна PCM-101 «Вектор 410» – 14,65 кг/га, наименьший у комбайна «Дон-1500Б» – 9,3 кг/га, у остальных варьировался от 9,7 до 13,7 кг/га. Наименьшие потери зерна (общие) были у *Laverda M 306* – 0,74% к убранному зерну, наибольшие – 2,93% у *John Deere S 690* и 2,95% у *Massey Ferguson 9700*. Из отечественных моделей меньше потери зерна у комбайна «Дон-1500Б» – 1,4%. О степени совершенства молотилки комбайнов можно судить по потерям зерна за ней. По этому показателю самые лучшие результаты у отечественных комбайнов PCM-181 *Torum 740* – 0,31% и PCM-142 *Acros 530* – 0,7%. У остальных потери зерна за молотилкой в 1,5–2,5 раза выше.

Наименьшие показатели дробления зерна у комбайнов с аксиально-роторной молотилкой – от 0,2 до 0,73% при нормативе 2%. Исследованию работы классических и аксиально-роторных молотилок посвящены многие работы [9–11]. Установлено, что их более высокая производительность достигается благодаря увеличенной площади сепарации и более щадящему режиму обмолота [12, 13].

Таблица 3

Table 3

ДИНАМИКА ПОВЫШЕНИЯ ЗАТРАТ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОМБАЙНОВ В СРАВНЕНИИ С БАЗОВОЙ МОДЕЛЬЮ «ДОН-1500Б» КАК НАИБОЛЕЕ МАССОВОЙ В ХОЗЯЙСТВАХ КУБАНИ (ДО 60 % В ПАРКЕ)
FINANCIAL DYNAMICS OF USING VARIOUS COMBINES IN KUBAN FARMS COMPARED TO THE MOST COMMON DON-1500B BASE MODEL (UP TO 60% FLEET SHARE)

Марка комбайна	Прямые затраты, % к базе	Капитальные вложения, % к базе	Потребность в топливе, т на уборку 3500 га		Потребность в механизаторах, % к базе	
			факт	% к базе	факт	% к базе
«Дон-1500Б»	100	100	32,5	100	19	100
PCM-101 «Вектор 410»	152	176	36,6	113	24	126
PCM-142 Acros 530	145	146	42,4	130	16	84
PCM-181 Torum 740	98	145	42	129	12	63
КЗС-1218 «Палессе GS12»	128	118	35,4	109	13	68
Claas Tukano 450	98	176	34,7	106,7	14	74

Важным показателем эксплуатационно-технологической оценки является засоренность бункерного зерна, так как она влияет на комплектацию послеуборочной линии по доведению бункерного вороха до кондиционной чистоты [14]. У отечественных комбайнов этот показатель находится в пределах 0,47-0,73%, у зарубежных – 0,2-2,1%.

Сравнение комбайнов с разными типами молотилок выявило следующее:

- для однобарабанных молотилок (тип 1) средняя мощность составляет 26,8, для двухбарабанных (тип 2) – 25,9, для гибридных (тип 3) – 30,1 и аксиально-роторных (тип 4) – 34,2 л.с/(кг·с);
- средняя производительность за 1 ч основного времени работы для типов 1-4 соответственно 2,154, 3,04, 4,04, 4,3 га/ч;
- удельный расход топлива 11,4, 16,4, 21,2, 11,8 кг/га;
- общие потери зерна 1,86, 1,57, 1,55, 2,4% от собранного зерна;
- дробление зерна 2,4, 3,1, 3,7, 0,4%;
- засоренность бункерного зерна соответственно 0,67, 1,4, 1,6, 0,4% (без учета комбайна *John Deere S 690*, у него засоренность оказалась 2,5%).

Анализ исходных данных для расчета экономической эффективности современных зерноуборочных комбайнов [15] показывает, что получить достаточно объективную сравнительную эффективность довольно затруднительно по ряду причин.

Во-первых, стоимость почти всех комбайнов, установленная заводом-изготовителем, не пропорциональна увеличению производительности. При росте цены в 2-2,5 раза производительность увеличивается не более, чем в 1,6-1,8 раза. Видимо, конъюнктура рынка влияет на цену комбайна сильнее, чем принцип гармоничности сочетания производительности и цены. В результате применения всех новых марок комбайнов повышается себестоимость зерна. Например, если взять за базу комбайн «Дон-1500Б», то для «PCM-101 Вектор 410» производительность в 1 ч основного времени на 18% меньше, а цена выше на 39%, аналогично PCM-142 *Acros 530* повышают производительность на 26%, а стоимость

растет на 73%. Производительность «Дон-1500Б» в среднем 1,6 га/ч основного времени, а *Massey Ferguson 9790* – 2,89 га /ч, т.е. производительность повысилась на 80%, цена – в 4 раза и т.д.

Вторая причина – большая разница в снижении производительности комбайнов за 1 ч эксплуатационного времени по сравнению с производительностью за 1 ч основного чистого времени, что дополнительно влияет на капитальные издержки. К примеру, если взять за базу комбайн «Дон-1500Б», то разница его производительности составляет 37%, комбайна PCM-101 «Вектор 410» – 60%, PCM-142 *Acros 530* – 37%, *Claas Tukano 450* – 43%, *Laverda M306* – 28%, КЗС-1218 «Палессе GS12» – 35%, *Massey Ferguson 9790* – 25,6%, PCM-181 *Torum 740* – 40%, *John Deere S690* – 21% и т.д.

Эти две причины позволяют сделать вывод, что при выборе лучшего для хозяйства комбайна прежние критерии экономической эффективности – минимум капитальных затрат и минимум эксплуатационных издержек уже не так действенны. Все новые комбайны увеличивают эксплуатационные издержки и капитальные затраты, как и стоимость уборки зерна в целом. Соотношение затрат при использовании разных марок комбайнов представлено в таблице 3.

Таким образом, все новые марки по сравнению с комбайном «Дон-1500Б» увеличивают прямые затраты в 1,17-1,52 раза (за исключением PCM-181 *Torum 740*), капитальные затраты – в 1,18-2,24 раза, а потребность топлива – в 1,09-1,47 раза в зависимости от модели. Исходя из этого, возрастает роль энергетического и социального (кадрового) факторов. То есть, сколько требуется топлива на уборку 1 т зерна или с 1 га и сколько механизаторов для уборки заданной площади за определенное время, к примеру, 8-10 дней.

Разброс данных по расходу топлива на уборку урожая с 1 га оказался не очень большим. Минимальный расход получается у комбайнов *Laverda M 306* – 8,7 кг/га и «Дон-1500Б» – 9,3 кг/га, а максимальный у *John Deere S690* – 13,7 кг/га, PCM-142

Acros 530 и *PCM-181 Torum 740* – по 12 кг/га, в среднем тратится 11,2 кг/га.

За счет роста производительности новых комбайнов класса свыше 9 кг/с снижается необходимое количество механизаторов, и это становится чуть ли ни главным критерием. Убирать зерно все равно надо, затраты нести приходится, а профессиональных механизаторов не хватает даже в крупных агрохолдингах. По этой причине хозяйства делают выбор в пользу мощных комбайнов. Если раньше была такая логика: чтобы снизить себестоимость уборки, надо сократить эксплуатационные издержки и капитальные затраты, то сейчас – убрать с поля зерно любой ценой. Прежде была популярна рекомендация: для небольших уборочных площадей применять комбайны меньшего класса (4-6 кг/с), а для крупных хозяйств больше – 10 кг/с [16, 17]. Это оправдывалось тем, что при сложившихся тогда ценах обеспечивалась быстрая окупаемость комбайнов (1,5-2 года). Сейчас временной порог сдвигается до 2,5-3,5 лет или частично компенсируется повышением стоимости зерна [18]. По факту для малых (но не меньше 500 га) и средних по масштабам посевных площадей рекомендуются комбайны от 6 до 8 кг/с, а для больших площадей – более высоких классов и особенно с аксиально-ротаторной молотилкой. Можно полагать, что при гармоничном сочетании стоимости комбайнов и их производительности прежняя рекомендация останется в силе. Но сейчас уже стало ясно, что снятие с производства комбай-

на «Дон- 1500Б» было преждевременным.

Выводы

Современный рынок зерноуборочных комбайнов весьма насыщен моделями разными по конструкции, производительности и стоимости, и для производителя сельскохозяйственных товаров выбор лучшего варианта представляет определенную проблему.

Все новые комбайны имеют повышенную стоимость, не пропорциональную росту производительности, что затрудняет получение достаточно достоверной оценки их эффективности в денежном выражении.

При выборе лучшего для хозяйств комбайна важными критериями являются количество топлива на уборку зерна с определенной площади за нормативный агросрок и требуемое количество механизаторов.

По многим эксплуатационно-технологическим показателям отечественный комбайн «Дон-1500Б» и его модификация занимает лучшие позиции, поэтому можно считать, что снятие его с производства является преждевременным.

Для уборки хлебов урожайностью свыше 60 ц/га более предпочтительны комбайны с аксиально-ротаторной молотилкой.

Отечественный комбайн *PCM-181 Torum 740* и его модификации *Torum 750* и *Torum 780* по многим показателям эксплуатационно-технологической оценки не уступают зарубежным аналогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №6. С. 6-10. EDN: RVTBNJ.
- Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Анализ технического уровня зерноуборочных комбайнов «Ростсельмаш» // *Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина*. 2018. №6. С. 34-42. DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-34-42.
- Федорова О.А., Поддубный О.И. Анализ парка зерноуборочных комбайнов в Волгоградской области // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. N1 (49). С. 298-303. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-298-303.
- 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. N2. С. 4-8. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8.
- Zhalnin E.V., Astafyev V.L., Chaplygin M.E. Analytical criteria for evaluation of engineering level of grain harvesters. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8. N9. 6546-6552. DOI: 10.30534/ijeter/2020/260892020.
- Ряднов А.И., Тронеv С.В., Скворцов И.П. Теоретическая оценка пропускной способности рабочих органов зерноуборочного комбайна // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2014. N2 (34). С. 189-194. EDN: SFFKZV.
- Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Improving the design of combine harvesters by harmonizing their basic technical parameters. *Engineering Technologies and Systems*. 2023. N33(3). 403-416. DOI: 10.15507/2658-4123.033.202303.403-416.
- Tronev S.V., Ovchinnikov A.S., Ryadnov A.I. et al. Application of a structural-topological model in the optimization of the working elements of a combine harvester. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012121.
- Бердышев В.Е. Оптимизация конструктивных и технологических параметров аксиально-ротаторной молотильно-сепарирующей системы // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012. N3 (19). С. 114-117.
- Бердышев В.Е. Оптимизация конструктивно-техно-

- логических параметров «классической» молотильно-сепарирующей системы зерноуборочного комбайна // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2012. N3 (27). С. 175-178.
11. Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 71-76. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76.
 12. Benaseer S., Masilamani P., Albert V.A. et al. Impact of harvesting and threshing methods on seed quality – A review. *Agricultural Reviews*. 2018. Vol. 39. 183-192. DOI: 10.18808/ag.P-1803.
 13. Fu J., Chen Z., Han L., Ren L. Review of grain threshing theory and technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11. N3. 12-20. DOI: 10.25165/IJABE.V11I3.3432.
 14. Пахомов В.И., Брагинцев С.В., Рудой Д.В., Бахчевников О.Н. Пневматическое молотильное устройство // *Техника и оборудование для села*. 2023. N6. С. 28-30. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-6-28-30.
 15. Оробинский В.И., Ворохобин А.В., Корнев А.С. и др. Влияние фракционного состава зернового вороха на уровень травмирования и посевные качества семян // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 14. N3. С. 12-17. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_12.
 16. Чаплыгин М.Е., Давыдова С.А., Подзоров А.В. Современные требования к техническому уровню зерноуборочных комбайнов // *Технический сервис машин*. 2020. Т. 58. N4(140). С. 29-39. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-29-39.
 17. Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Формирование парка зерноуборочных комбайнов с учетом условий уборки // *Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина*. 2016. N5. С. 7-12.
 18. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Лавров А.В. и др. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229. EDN: DMOGNR.

REFERENCES

1. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. System of machines and technologies for comprehensive mechanization and automation of agricultural production until 2020. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2013. N6. 6-10 (In Russian). EDN: RVTBHJ.
2. Lomakin S.G., Berdyshev V.E. Assessing technical performance level of Russian ROSTSELMASH combines. *Vestnik of Moscow Goryachkin State Agroengineering University*. 2018. N6. 34-42 (In Russian). DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-34-42.
3. Fedorova O.A., Poddubny O.I. Analysis of the combine harvester fleet in the Volgograd region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2018. N1 (49). 298-303 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-298-303.
4. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Analysis method of combine harvesters technical level by functional and structural parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N2. 4-8 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8.
5. Zhalnin E.V., Astafyev V.L., Chaplygin M.E. Analytical criteria for evaluation of engineering level of grain harvesters. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8. N9. 6546-6552 (In English). DOI: 10.30534/ijeter/2020/260892020.
6. Ryadnov A.I., Tronev S.V., Skvortsov I.P. Theoretical assessment of combine harvester working parts throughput. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2014. N2 (34). С. 189-194 (In Russian). EDN: SFFKZV.
7. Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Improving the design of combine harvesters by harmonizing their basic technical parameters. *Engineering Technologies and Systems*. 2023. N33(3). 403-416 (In English). DOI: 10.15507/2658-4123.033.202303.403-416.
8. Tronev S.V., Ovchinnikov A.S., Ryadnov A.I. et al. Application of a structural-topological model in the optimization of the working elements of a combine harvester. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. С. 012121 (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012121.
9. Berdyshev V.E. Optimization of design and technological parameters for an axial-rotor threshing-separating system. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2012. N3 (19). 114-117 (In Russian).
10. Berdyshev V.E. Optimization of design and technological parameters for the 'classical' threshing-separating system in grain harvesters. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2012. N3 (27). 175-178 (In Russian).
11. Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. Determining the Performance Quality of Combine Harvesters Operating. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13. N4. 71-76 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76.
12. Benaseer S., Masilamani P., Albert V.A. et al. Impact of harvesting and threshing methods on seed quality – A review. *Agricultural Reviews*. 2018. Vol. 39. 183-192 (In English).
13. Fu J., Chen Z., Han L., Ren L. Review of grain threshing theory and technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11. N3. 12-20 (In English). DOI: 10.25165/IJABE.V11I3.3432.
14. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Rudoi D.V., Bakhchevnikov O.N. Pneumatic threshing device. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N6. 28-30 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-6-28-30.
15. Orobinsky V.I., Vorokhobin A.V., Kornev A.S. et al. Fraction composition of the grain heap and its influence on the

- level of grain damage and sowing qualities of seeds. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2021. Vol. 14. N3. 12-17 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_12.
16. Chaplygin M.E., Davydova S.A., Podzorov A.V. Modern requirements for the technical level of combine harvesters. *Machinery Technical Service*. 2020. Vol. 58. N4(140). 29-39 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-29-39.
17. Lomakin S.G., Berdyshev V.E. Formation of combine harvesters fleet with account of harvesting conditions. *Vestnik of Moscow Goryachkin State Agroengineering University*. 2016. N5. 7-12 (In Russian).
18. Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Lavrov A.V. et al. Strategy of Russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast). *Machinery Technical Service*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian). EDN: DMOGNR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Чаплыгин М.Е. – участие в испытаниях, сбор и обработка результатов, составление начального варианта статьи, доработка текста и оформление материалов, формулирование общих выводов, анализ литературных источников, итоговая доработка статьи в соответствии с нормативными требованиями;

Жалнин Э.В. – формулирование основных целей и задач исследования, первая редакция текста статьи и подготовка обобщенных таблиц, анализ литературных источников, формулирование общих выводов, итоговая доработка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Chaplygin M.E. – participating in tests, collecting and processing results, drafting the initial manuscript, enhancing the text and material design, formulating general conclusions, literature review, final revision of the article to meet regulatory requirements;

Zhalnin E.V. – formulating the study's main goals and objectives, proofreading the initial draft of the article, creating the generalized tables, literature review, formulating general conclusions, final revision of the article.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.03.2024
07.05.2024