

Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам

Эдуард Викторович Жалнин, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: vim@vim.ru, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Юлия Сергеевна Ценч, кандидат педагогических наук, руководитель отдела, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Виктор Сергеевич Пьянов, доктор технических наук, профессор, доцент, Ставропольский государственный агроуниверситет, г. Ставрополь, Российская Федерация

В ходе анализа современных методов оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов выявлено расхождение по различным критериям: конструктивным параметрам, безразмерным сериям, названиям фирм, мощности двигателя, ширине захвата жатки, пропускной способности, по месту расположения завода-изготовителя, рекламным брендам. (*Цель исследований*) Разработать новую методику классификации комбайнов с учетом российского исторического опыта и зарубежной практики. Показать, что разнообразие в наименовании моделей комбайнов значительно затрудняет оценку их технического уровня, усложняет выбор сельхозтоваропроизводителем нужной модели, мешает преемственности поколений комбайнов, делает невозможным анализ тенденций их развития, не раскрывает технологическую сущность той или иной модели, но главное – комбайны невозможно сравнить между собой. Цифры в названии модели комбайнов не связаны функционально с главными параметрами и производительными возможностями. (*Материалы и методы*) Выявили тесную корреляционную связь в виде линейного уравнения между конструктивными параметрами и пропускной способностью комбайнов. Проверка этого уравнения в процессе эксплуатации комбайна показала, что оно статистически устойчиво и расчетные показатели всегда находятся в доверительном интервале с погрешностью 5-8 процентов. Установили, что среди многообразия факторов, влияющих на производительность комбайна в час чистого времени, наиболее тесную корреляционную связь с ней имеют четыре параметра: мощность двигателя, площади сепарации подбарабаша, соломотряса и решет очистки. (*Результаты и обсуждение*) На основании выявленной корреляционной зависимости предложили новую методику оценки технического уровня комбайнов, в основу которой положены пропускная способность (кг/с) обмолачиваемого материала и размерная серия, обозначающая номинальную производительность комбайна в центнерах зерна, намолоченного за 1 ч основного времени. Сформировали методические предпосылки и математический аппарат, связывающий эти показатели с базовыми параметрами комбайна. (*Выводы*) Отметили, что предложенная методика позволяет расположить все комбайны мира в определенной иерархии по группам и сравнить между собой по производительности.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, производительность, технический уровень, классификация.

■ **Для цитирования:** 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 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8

Analysis Method of Combine Harvesters Technical Level by Functional and Structural Parameters

Eduard V. Zhalnin, Dr. Sc. (Eng.), professor, chief researcher, e-mail: vim@vim.ru, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
Yulia S. Tsench, PhD (Ped.), head of publishing activity, education and technical information department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
Viktor S. P'yanov, Dr. Sc. (Eng.), professor, assistant professor Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russian Federation

The analysis of modern methods of evaluation of the grain harvesters technical level revealed a discrepancy in various criteria: comparative parameters, dimensionless series, the names of firms, the power of the motor, the width of the capture of the harvester, the capacity at the location of the manufacturer plant, advertising brands. (*Purpose of research*) This led to a variety in the name of harvester models, which significantly complicates the assessment of their technical level,

complicates the choice of agricultural necessary to him fashion, does not give the perception of the continuity of the change of generations of combines, makes it impossible to analyze trends in their development, does not disclose the technological essence of a model, but - most importantly - combines can not be compared with each other. The figures in the name of the harvester model are not related functionally to the main parameters and performance capabilities. (*Materials and methods*) The close correlation in the form of a linear equation between their design parameters and the capacity of combines was revealed. Verification of this equation in the process of operation of the combine showed that it statistically stable and the estimates are always within the confidence interval with an error of 5-8 percent. It was found that four parameters of the variety of factors, that affect the performance of the harvester per hour net time, having most close correlation with it are: the motor power and the square of the separation concave, straw walkers and sieves for cleaning. (*Results and discussion*) On the basis of the revealed correlation dependence we proposed a new method of assessment of the technical level of combines, which is based on the throughput (kg/s) of the wetted material and the size series, indicating the nominal productivity of the combine in centners of grain harvested in 1 hour of basic time. The methodological background and mathematical apparatus, linking these indicators with the basic parameters of the combine, were formed. (*Conclusions*) It was noted that the application of the proposed method makes it possible to arrange all combines of the world in a certain hierarchical sequence and compare them with each other in performance.

Key words: Combine Harvester, Productivity, Technical level, Classification.

For citation: Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Analysis method of combine harvesters technical level by functional and structural parameters // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tehnologii*. 2018; Vol. 12; 2: 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8. (In Russian)

Название любого технического изделия принято сопровождать каким-либо признаком или параметром: потребляемой мощностью, производительностью, массой, габаритами [1-4]. В условиях рынка марка, бренд, название для любого товара – это опознавательный знак, короткий путь к финансовым возможностям покупателя, сокращение времени между спросом и предложением, возможность прогнозирования сельхозтоваропроизводителем ожидаемого эффекта, сопоставления альтернативных вариантов, оценки состояния и перспективы развития товара как инвестиционного проекта [4, 5].

Имеется шесть наиболее популярных вариантов оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов по следующим характеристикам:

- конструктивная серия и модификация с указанием фирмы;
- мощность двигателя (л.с.);
- ширина захвата жатки (м);
- пропускная способность (кг/с);
- ширина молотилки (мм);
- место расположения завода-изготовителя и рекламные бренды.

Многие компании по производству сельскохозяйственной техники классифицируют свои комбайны по цифровым сериям. В частности, фирма *John Deere* (США) выпускает комбайны серий 1450; 1550; 9500; 9600; 97000. Внутри каждой имеются свои модификации. Например, в серии 9500 представлены комбайны 9560*iWTS*, 9580*iWTS*, а внутри серии 9600 – 9640*WTS*, 9660*WTS* и т.д. Фирма *Messey Ferguson* (США) выпускает комбайн серии 7000 и соответственно с модификациями *MF7242 Activa*, *MF-7260*

Beto, *MF 7278 Cerea*, и аналогично по другим фирмам. Как видим, предусмотрены модификации внутри серии, при этом никакой функциональной связи номера серии с параметрами комбайна нет [6].

Расшифровку серии фирма не дает. По-видимому, это – условное обозначение очередной конструкторской разработки фирмы, которая выпускает широкую гамму машин различного промышленного и сельскохозяйственного назначения.

В России строгая классификация комбайнов по какому-либо одному признаку также отсутствует. В 40-50-х годах прошлого века в СССР за основу была принята ширина захвата жатки в метрах – комбайны С-4. Потом стали учитывать пропускную способность молотилки – модели комбайнов: СК-3, СК-4, СК-5, СК-6, СК-8, СК-10, где цифра означала пропускную способность комбайна (кг/с) при потерях зерна 1,5% и его дроблении не более 2%. Потом к цифре стали добавлять различные названия, носящие больше эмоциональный характер, но тем не менее определяющие своеобразный бренд той или иной модели: СК-5 Нива, СК-6 Колос, СК-8 РСМ, СК-10 Ротор. С 1986 г. в основу марки комбайна была положена ширина молотилки (мм): Енисей-900, Дон-1200, Дон-1500. В настоящее время преобладают рекламные коммерческие бренды, напрямую не связанные с конструкцией комбайнов, хотя и подразумевающие их существенное отличие: Вектор, *Acros*, *Torum*, Енисей, Руслан, Ермак и т.п.

Такой разнотой в наименовании моделей комбайнов затрудняет оценку их технического уровня, усложняет выбор сельхозтоваропроизводителем нужной модели, так как сам бренд комбайна не дает представления о его технических возможностях. Это по-

рождает отсутствие преемственности поколений комбайнов, а также делает невозможным анализ и прогноз тенденций их развития. Коммерческие производственные бренды не раскрывают содержания объекта.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ – разработка новой методики классификации комбайнов с учетом российского исторического опыта и зарубежной практики. В связи с вступлением России в ВТО это позволит иметь общую информационную базу для сравнения всех комбайнов между собой [7-10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Предлагаются следующие исходные методические положения:

- классифицировать комбайны одновременно по классам пропускной способности и размерным сериям, что даст возможность сравнивать аналогичные комбайны мира между собой;
- цифровое значение пропускной способности и размерность серии должны быть функционально связаны с параметрами комбайна;
- за основу размерной серии комбайнов принять расчетную номинальную производительность комбайна по зерну за 1 ч основной работы (без остановки) с размерностью: центнер зерна за 1 ч основной работы;
- расчетную номинальную производительность комбайна по зерну W_n определять исходя из пропускной способности комбайна – q_k при разном отношении массы соломы к массе зерна в обмолачиваемом материале по формуле:

$$W_n = 36q_k \left(\frac{1}{1 + \lambda} \right), \text{ц/ч}, \quad (1)$$

где 36 – коэффициент перевода кг/с в ц/ч;

q_k – пропускная способность комбайна (кг/с) обмолачиваемого зерносоломистого материала;

λ – отношение массы соломы m_c к массе зерна m_z в исходном обмолачиваемом материале:

$$\lambda = \frac{m_c}{m_z}. \quad (2)$$

Формула (1) согласуется с физическим смыслом процесса обмола в комбайне: чем меньше соломистость, тем больше пропускная способность и выше номинальная производительность комбайна;

- пропускную способность комбайна определять по статистически достоверному уравнению [1]:

$$q_k = 1,83i_k - 0,83, \quad (3)$$

где i_k – параметрический индекс комбайна;

- параметрический индекс комбайна определять по формулам: для классического (бильный ба-

Table 1		Таблица 1	
ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА КЛАССА КОМБАЙНА ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В НОМЕР СЕРИИ КОМБАЙНА			
ALIGNMENT TABLE: COMBINE HARVESTER CLASS TO THE SERIES NUMBER OF THE HARVESTER ACCORDING TO THE HANDLING CAPACITY			
$\lambda^* = 1,5$		$\lambda = 1,0$	
Пропускная способность, кг/с (номер класса) Handling capacity, kg/sec (series number)	Номер серии, ц/ч Series number, c/h	Пропускная способность, кг/ч Handling capacity, kg/h	Номер серии по производительности, ц/ч Series number, c/h
1	15	1,25	22,5
2	30	2,5	4,5
3	45	3,75	67,5
4	58	5	90
5	72	6,25	112,5
6	90	7,5	135
7	100	8,75	157,5
8	115	10	180
9	130	11,25	202,5
10	145	12,5	225
11	160	13,75	247,5
12	173	15	270
13	187	16,25	2325
14	200	17,5	315
15	216	18,75	337,5
16	230	20	360

λ^* – соотношение массы соломы к массе зерна

λ – the ratio of straw weight to the weight of the grain

* λ – соотношение массы соломы к массе зерна

* λ – the ratio of straw weight to the weight of the grain

Table 2					Таблица 2		
КЛАССИФИКАЦИЯ КОМБАЙНОВ ФИРМЫ CLAAS CLASSIFICATION OF CLAAS COMBINES							
Фирменная модель комбайна Brand-name model harvester	Параметры комбайна Parameters of combine harvester				Параметри- ческий индекс и пропускная способность, кг/с (λ =1,5) Parametric index and handling capacity, kg/s (λ =1,5)	Класс, кг/с, и номер класса в типаже Class, kg/s, and class number in given type	Шифр размер- ной се- рии по произ- води- тельно- сти, ц/ч Size series code, c/h
	N _с , л.с.	площадь, м ² area, m ²					
		F _н	F _с	F _р			
Dominator 130	125	0,4	4,2	3	3 4,7	5	68
Dominator 150	141	0,4	4,2	3	3,2 5,0	-	72
Mega 350	220	0,5	5,8	4,7	4,7 8,6	9	130
Mega 360	245	0,7	7,0	5,7	5,5 10,0	10	145
Lexion 580	430	0,9	7,4	5,8	12,5	13	180

Table 3		Таблица 3	
КЛАССИФИКАЦИЯ СЕМЕЙСТВА КОМБАЙНОВ ПРОИЗВОДСТВА «РОСТСЕЛЬМАШ» СЕРИИ 110 CLASSIFICATION OF THE SERIES-110 FAMILY OF ROSTSELMASH COMBINES			
Параметры комбайна Harvester parameters	Базовая модель Base model	Модификация / Modification	
		повышенной проходимости, на колесном ходу Increased of-road passability, wheeled	рисозерновой, на гусеничном ходу Rice-grain type, on caterpillar tracks
Номер класса комбайна в типаже Class number of a combine in type	8	8	8
Пропускная способность, кг/с λ = 1,5 Handling capacity, kg/s λ = 1,5	7,7	7-8	7-8
Марка / Model	КЗ-8,0-110-К-PCM	КЗ-8-110, ППК-PCM	КЗ-8-110, РГ-PCM
Шифр серии и основное назначение Series code and primary designation	110 зерновой, общего назначения, колесный	110 для зон со слож- ными условиями уборки, где нуж- на повышенная проходимость	110 для уборки риса, сои
Номинальная производительность, ц/ч Nominal performance, c/h	110	110	110
Рекомендуемые параметры / Recommended settings			
Мощность двигателя, л.с. Power of engine, h.p.	255	270	270
Площади, м ² подбарабання соломосепаратора решет очистки The surface area of the (m ²) concave straw separator cleaning sieve	0,75 6,54 4,84	0,75 6,54 4,84	0,75 6,54 4,84
Ширина захвата жатки, м Width of the reaping, m	5 6 7	5 6	5 6
Вместимость бункера, м ³ Capacity of hopper, m ³	6-7	6-7	6-7
Масса, т Mass, t	10,8	11,5	12,5

рабан, клавишный соломотряс, двухрешетная очистка):

$$i_k = \frac{1}{4} \left(\frac{N_e}{32} + \frac{F_n}{0,26} + \frac{F_c}{1,5} + \frac{F_p}{0,8} \right), \quad (4)$$

где N_e – номинальная мощность двигателя комбайна, л.с.;

F_n, F_c, F_p – площади сепарации подбарабана, соломотряса, решет очистки, соответственно; для аксиально-роторного:

$$i_k = \frac{N_e}{126} + 0,5(F_{n.c} + F_p), \quad (5)$$

$F_{n.c}$ – площадь подротторной решетки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

В соответствии с вышеприведенными методическими положениями рассчитаны пропускные способности (классы) 150 моделей современных комбайнов (кг/с хлебной массы) и их серий по номинальной производительности в центнерах зерна за 1 ч работы. Оценка комбайнов по пропускной способности или номинальной производительности всегда имеет физический смысл и будет понятна сельхозпроизводителю при выборе нужного комбайна.

В таблице 2 дан перерасчет класса комбайна по пропускной способности в номер размерной серии при различном соотношении массы соломы к массе зерна. Это соотношение – важнейший показатель, влияющий на производительность комбайна.

К примеру, серия 15 (кл. 1) означает, что за 1 ч чистой работы (без остановки) этот комбайн при пропускной способности 1 кг/с может собрать примерно (в связи с округлением) 15 ц зерна, а комбайн серии 145 (кл. 10) при пропускной способности 10 кг/с – 145 ц зерна при соотношении массы соломы к массе зерна $\lambda = 1,5$ и т.д.

Такая оценка комбайнов более наглядна, предметна, дает возможность сравнить между собой различные модели комбайнов и упростить выбор нужной машины для конкретных условий уборки.

Размерные серии комбайнов позволяют также классифицировать их модификации в пределах данной серии, добавляя к номеру серии соответствующие краткие и понятные символы.

На основании вышеизложенного предлагается обозначить марку зерноуборочного комбайна, например, «Нива-Эффект»: КЗ-6-90-К-PCM, что оз-

начает: комбайн зерноуборочный, класса 6 кг/с, серии 90 ц/ч, колесный, производства «Ростсельмаш».

Таким образом, зная параметры N_e , F_n , F_c и F_p , можно классифицировать любые комбайны по размерным сериям, определить место каждого в общемировом типаже комбайнов и сравнить между собой. Повторяем, что при современной классификации комбайнов по сериям и брендам сравнить их между собой и оценить потенциальную производительность невозможно. Из таблицы 1 следует, что немецким комбайнам *Dominator 130* и *150* в российском типаже аналога нет. Эти комбайны занимают промежуточное место между кл. 4 и 5. В российском типаже по классам комбайнов их отсутствие компенсируется комбайнами кл. 4 путем соответствующего выбора ширины захвата жатки и скорости движения комбайна для получения полной загрузки машин. Немецкому комбайну *Mega 360* близок отечественный комбайн Дон-1500Б, а *Lexion 580* – Дон-2600 и *Torum-740*.

Классификация комбайнов США показала, что американскому комбайну *TC-54* имеется российский аналог – комбайн класса 6 кг/с Нива-Эффект; комбайну *AL Colina Peus* соответствует Вектор-410; аналог для *TX-68* и *GX-760* – *Acros-530*, *Acros-540*; а комбайну *CK-980* соответствуют Дон-2600 и *Torum-740*.

Подобную оценку технического уровня комбайнов по размерным сериям (ц/ч) можно провести и по другим комбайнам разных фирм, что дает возможность сравнить их все между собой по номинальной производительности, соизмеряя главные параметры комбайнов. В этом заключается новизна предлагаемой методики оценки комбайнов.

Выводы. Предложена комплексная и предметная методика оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов. Она понятна любому сельхозтоваропроизводителю, так как дает четкое представление о потенциальной производительности покупаемого им комбайна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Измайлов А.Ю. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Т. 1. Растениеводство. М.: ВИМ, 2012. С. 67-88.
2. Жалнин Э.В., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю., Рожин В.Ф. и др. Организация уборки зерновых с использованием перегрузчиков зерна. М.: ВИМ, 2005. 47 с.
3. Левшин А.Г., Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Транспортное обеспечение производственных процессов. М.: МГАУ, 2007. 160 с.
4. Жалнин Э.В. Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур // *Тракторы и сельхозмашины*. 2004. N9. С. 3-16.
5. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. М.: ВИМ, 2011. 102 с.
6. Жалнин Э.В. Типаж зерноуборочных комбайнов: какой есть и какой нужен // *Сельский механизатор*. 2012. N8. С. 6-8.
7. Мининзон В.И., Парфенов А.П. Способ группирования сельскохозяйственных тракторов для анализа и прогнозирования рынка в России // *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. N9. С. 25-26.
8. Подкозьин Ю.В. Перспективы формирования парка зерноуборочных комбайнов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. N7. С. 5-7.
9. Русанов А.И. Зерноуборочные комбайны: от прошлого к будущему // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. N7. С. 40-43.
10. Tang Z., Li Y.M., Cheng C. Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling // *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2017. Vol. 15, Issue 1. DOI: 10.5424/sjar/2017151-10175.

REFERENCES

1. Lachuga Yu. F., Gorbachev I.V., Izmailov A.Yu. System of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. T. 1. Plant growing. M.: VIM, 2012: 67-88. (In Russian).
2. Zhalnin E.V., Evtushenko N.E., Izmailov A.Yu., Rozhin F.V. etc. The cleaning of grain using the grain handlers. M.: VIM, 2005: 47. (In Russian).
3. Levshin A.G., Izmailov Yu.A., Evtushenkov N.E. Transport support of production processes. M.: MGAU, 2007: 160. (In Russian).
4. Zhalnin E.V. Strategy of prospective development of mechanization of grain of new crop // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2004; 9: 3-16. (In Russian).
5. Zhalnin E.V. Calculation of the main parameters of combine harvesters, M.: VIM, 2011: 102. (In Russian).
6. Zhalnin E.V. Type of combine harvesters: what is and what is needed // *Sel'skiy mehanizator*. 2012, 8: 6-8. (In Russian).
7. Mininson V.I., Parfenov A.P. Method of grouping of agricultural tractors for analysis and forecasting of the market in Russia // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2012; 9: 25-26. (In Russian).
8. Podkolzin Yu.V. Prospects of forming a park of combine harvesters // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2002; 7: 5-7. (In Russian).
9. Rusanov A.I. Grain harvesters: from the past to the future // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2002; 7: 40-43. (In Russian).
10. Tang Z., Li Y.M., Cheng C. Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling // *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2017. 15, Issue 1. DOI: 10.5424/sjar/2017151-10175.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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