УДК 631.12

4.3.1 - Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С УЧЕТОМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ХОЗЯЙСТВА

Луханин Владимир Александрович
канд. техн. наук, доцент,
Author ID: 544146
SPIN – код: 9717-8340
ORCID ID: 0009-0009-1668-800X
Scopus ID: 58040493700
Researcher ID: OAJ-0635-2025
Luhanin_Vladimir@mail.ru

Лавров Александр Владимирович
канд. техн. наук, доцент,
Author ID: 705591
SPIN – код: 3198-2929
ORCID ID: 0000-0002-9070-206X
Scopus ID: 56522662600
Researcher ID: T-8013-2017
vimlavrov@mail.ru

Майстренко Николай Александрович
канд. техн. наук, доцент,
Author ID: 47713
SPIN – код: 4636-5800
ORCID ID: 0000-0003-1268-713X
Scopus ID: 57221202515
Researcher ID: HKO-7160-2023
nmaystr@mail.ru

Толстоухова Татьяна Николаевна
канд. техн. наук, доцент,
Author ID: 452820
SPIN – код: 7579-2083
ORCID ID: 0000-0003-3095-7316
Scopus ID: 57201057169
Researcher ID: T-8013-2017
t.tolstouhova@rgau-msha.ru

Пляка Валерий Иванович
канд. техн. наук, доцент,
Author ID: 767314
SPIN – код: 9618-1524
ORCID ID: 0000-0002-9353-177X
Scopus ID: 57221471059
Researcher ID: AAE-6203-2022
Plyaka@rgau-msha.ru
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия

В статье предложена двухэтапная методика сравнительной оценки зерноуборочных

UDC 631.12

4.3.1 - Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF COMBINE HARVESTERS UNDER FARM-SPECIFIC PRODUCTION CONDITIONS

Lukhanin Vladimir Aleksandrovich
Candidate in Engineering, associate professor,
Author ID: 544146
SPIN – code: 9717-8340
ORCID ID: 0009-0009-1668-800X
Scopus ID: 58040493700
Researcher ID: OAJ-0635-2025
Luhanin_Vladimir@mail.ru

Lavrov Aleksandr Vladimirovich
Candidate in Engineering, associate professor,
Author ID: 705591
SPIN – code: 3198-2929
ORCID ID: 0000-0002-9070-206X
Scopus ID: 56522662600
Researcher ID: T-8013-2017
vimlavrov@mail.ru

Maistrenko Nikolai Alexandrovich
Candidate in Engineering, associate professor,
Author ID: 47713
SPIN – code: 4636-5800
ORCID ID: 0000-0003-1268-713X
Scopus ID: 57221202515
Researcher ID: HKO-7160-2023
nmaystr@mail.ru

Tolstoukhova Tatyana Nikolaevna
Candidate in Engineering, associate professor,
Author ID: 452820
SPIN – code: 7579-2083
ORCID ID: 0000-0003-3095-7316
Scopus ID: 57201057169
Researcher ID: T-8013-2017
t.tolstouhova@rgau-msha.ru

Plyaka Valeriy Ivanovich
Candidate in Engineering, associate professor,
Author ID: 767314
SPIN – code: 9618-1524
ORCID ID: 0000-0002-9353-177X
Scopus ID: 57221471059
Researcher ID: AAE-6203-2022
Plyaka@rgau-msha.ru
FSBEI HE Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

The article proposes a two-stage methodology for the comparative assessment of combine harvesters. At

комбайнов. На первом этапе формируется базовый обобщенный показатель сравнения, характеризующий технические, эксплуатационные, агротехнические, экологические и эргономические свойства единичной машины не зависящий от площади конкретного хозяйства. На втором этапе оценка адаптируется к производственным условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия путем учета уборочной площади и определения необходимого количества зерноуборочных комбайнов. Результатом второго этапа является производственно-адаптированный обобщенный показатель, позволяющий учитывать различия в классе и производительности машин при экономическом сравнении. На примере пяти моделей установлено, что учет масштаба уборочных работ способен изменить итоговое ранжирование техники и повысить обоснованность решений при формировании машинно-тракторного парка

Ключевые слова: ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ОБОБЩЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СРАВНЕНИЯ, ПРОИЗВОДСТВЕННО-АДАПТИРОВАННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, РАНЖИРОВАНИЕ ТЕХНИКИ

http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-222-016

the first stage, a baseline composite comparison index is developed to characterize the technical, operational, agronomic, environmental, and ergonomic properties of an individual machine independently of the harvesting area of a particular farm. At the second stage, the assessment is adapted to the production conditions of a specific agricultural enterprise by accounting for the harvesting area and determining the required number of combine harvesters. The second stage yields a production-adjusted composite index that accounts for differences in machine class and performance in the economic comparison. An analysis of five combine harvester models demonstrates that accounting for the scale of harvesting operations can change the final ranking and improve the justification of decisions concerning the composition of the farm machinery fleet

Keywords: COMBINE HARVESTER, MULTICRITERIA ASSESSMENT, COMPOSITE COMPARISON INDEX, PRODUCTION-ADJUSTED INDEX, MACHINERY RANKING

Введение.

Повышение эффективности агропромышленного комплекса требует универсального подхода к оценке и выбору зерноуборочных комбайнов, являющихся ключевым элементом технологической цепочки производства зерна.

Российская Федерация характеризуются значительным разнообразием природно-климатических условий и традиционные методы сравнения комбайнов, основанные преимущественно на анализе паспортной производительности или мощности двигателя, не отражают реальной эффективности эксплуатации в конкретных условиях. Отсутствие комплексного подхода затрудняет принятие управленческих решений при формировании машинно-тракторного парка [1, 2].

В связи с этим разработка методики сравнительной оценки зерноуборочных комбайнов, учитывающей совокупность технических, экономических и агротехнических факторов, является актуальной научной задачей.

Цель исследования – разработать двухэтапную методику комплексного сравнения зерноуборочных комбайнов, позволяющую оценить технические и эксплуатационные характеристики отдельных машин, а также их производственно-экономическое соответствие условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия.

Материалы и методы.

Объектом исследования выбрана группа моделей зерноуборочных комбайнов, различающихся конструкцией молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). В выборку включены два комбайна с классической молотильно-сепарирующей системой и клавишным соломотрясом – ACROS 595 Plus и New Holland CX8.80, а также три комбайна с роторной системой обмолота и сепарации – TORUM 785, New Holland CR9080 и John Deere S790. Такое формирование выборки позволяет наглядно сравнить машины с различными конструктивно-технологическими схемами МСУ и продемонстрировать универсальность предлагаемой методики.

Исходные технические характеристики машин принимали по данным заводов-изготовителей, руководств по эксплуатации, протоколов испытаний машиноиспытательных станций, научных публикаций и открытых информационных источников. Использованные в расчетах конструктивные характеристики рассматриваемых зерноуборочных комбайнов представлены в таблице 1.

Часть исходных данных получены по результатам испытаний, которые проводились при различных эксплуатационных условиях поэтому представленные показатели не во всех случаях являются сопоставимыми.

Ключевым этапом методики является определение критериев, которые позволяют объективно оценить технику для уборки зерновых культур. Для объективного сравнения зерноуборочных комбайнов выделили четыре группы критериев.

Таблица 1 – Исходные конструктивные характеристики зерноуборочных комбайнов

Модель комбайна	ACROS 595 Plus	NEW HOLLAND CX8.80	TORUM 785	NEW HOLLAND CR9080	John Deere S790
Площадь сепарации, м^2 – подбарабанья	1,38	2,54	-	-	-
– соломотряса	6,3	5,93	-	-	-
– решет очистки	5,2	6,5	5,2	6,5	5,2
– подроторной решетки	-	-	5,4	3,06	3,16
Номинальная мощность двигателя, л.с.	330	354	510	489	551
Тип МСУ	клавишный		роторный		

1. Технические критерии: теоретическая и фактическая производительности; пропускная способность МСУ; мощность двигателя; расход топлива; коэффициент технической готовности; наличие систем точного земледелия.

2. Экономические критерии: стоимость приобретения; полная стоимость владения; эксплуатационные расходы; срок окупаемости; доступность сервисного обслуживания и запасных частей.

3. Агротехнические критерии: уровень потерь зерна; дробление и чистота обмолота; возможность работы при повышенной влажности; адаптивность к различным культурам и рельефу.

4. Экологические и эргономические критерии: удельные выбросы CO_2; соответствие экологическим стандартам; уровень шума и вибрации; комфортность кабины оператора.

Из сформированного перечня для количественной оценки выбраны показатели, для которых возможно получить исходные данные по всем рассматриваемым моделям. При этом методика разделена на два этапа. На первом этапе стоимость единичной машины не включается в базовый обобщенный показатель сравнения ($ОПС_Б$), поскольку прямое сравнение стоимости комбайнов разных классов без учета их производительности может смещать итоговый рейтинг в пользу менее производительных машин. Экономическая составляющая вводится на втором этапе после определения количества комбайнов, необходимых для выполнения требуемого объема уборочных работ.

$ОПС_Б$ рассчитывается методом взвешенной суммы нормализованных критериев. Для его определения используются технические, эксплуатационные, агротехнические и эргономические показатели. Весовые коэффициенты неэкономического блока нормируются таким образом, чтобы их сумма на первом этапе была равна единице.

$$ОПС = \sum_{i=1}^{n} (K_i \cdot \omega_i), \quad (1)$$

где K_i – вес критерия $\sum K_i = 1$;

ω_i – нормализованное значение показателя;

i – порядковый номер критерия;

n – общее количество критериев включенных в расчет.

Нормализованное значение показателя зависит от направления предпочтительности критерия. Для показателей, увеличение которых является положительным, применяется отношение фактического значения к максимальному значению в выборке выражение 2. Показатели, которые нужно минимизировать, применяется отношение минимального значения в выборке к фактическому, выражение 3. Такое преобразование сохраняет шкалу 0–1 и обеспечивает единое направление предпочтительности.

$$\omega_i = \frac{X_i}{X_{max}}, \quad (2)$$

$$\omega_i = \frac{X_{min}}{X_i}, \quad (3)$$

где X_i – значение показателя подлежащего нормализации;

X_{max}, X_{min} – соответственно максимальное и минимальное значение показателя в выборке.

Распределение значимости критериев приведено в таблице 2 и отражает приоритеты оценки зерноуборочных комбайнов с учетом производственных, экономических и нормативных факторов. В колонке итогового веса сохранена исходная структура приоритетов с экономической составляющей 0,25. Для расчета $ОПС_Б$ веса остальных критериев пропорционально пересчитаны с сохранением исходного соотношения таким образом, чтобы их сумма составляла 1,0. Экономический критерий применяется только на втором этапе методики.

Таблица 2 – Система критериев сравнительной оценки и их весовые коэффициенты

Критерий	Обозначение	Размерность	Направление	Вес критерия (K_i) итоговый / базовый
Пропускная способность МСУ	q_k	кг/с	максимум	0,20 / 0,27
Расчетный удельный расход топлива	g_T	кг/т	минимум	0,15 / 0,20
Межсервисный интервал	T	мото-ч	максимум	0,10 / 0,13
Полная стоимость владения	$ТСО_П$	млн руб.	минимум	0,25 / -
Уровень потерь зерна	P	%	минимум	0,10 / 0,13
Вместимость зернового бункера	$V_В$	л	максимум	0,05 / 0,07
Скорость выгрузки зерна	$Q_В$	л/с	максимум	0,10 / 0,13
Эргономика	E	балл	максимум	0,05 / 0,07
Итого				**1,00 / 1,00**

Предложенное распределение не является фиксированным и может корректироваться в зависимости от типа хозяйства и приоритетов собственника техники. Принципиальным является сохранение двухэтапной структуры, сначала сравниваются собственные свойства машин, а затем оценивается экономическая целесообразность формирования парка требуемой производительности.

Наибольшая доля значимости отводится блоку технических критериев, в частности, пропускной способности МСУ комбайна, поскольку в условиях ограниченного уборочного периода эффективность выполнения технологической операции напрямую влияет на снижение потерь урожая и соблюдение агротехнических сроков.

Показатели удельного расхода топлива, межсервисного интервала и скорости выгрузки зерна из бункера занимают значимое место в структуре весов, так как они характеризуют эксплуатационную устойчивость техники [3]. Повышенный расход топлива увеличивает себестоимость продукции, а высокая периодичность технического обслуживания и низкая скорость выгрузки приводят к простоям и дополнительным потерям урожая [4, 5].

Агротехнический критерий – уровень потерь зерна, рассматривается как обязательный параметр качества уборки. Его влияние на конечный результат производства зерна является принципиальным, поскольку даже увеличение потерь на 1–2 % при больших площадях может привести к значительным финансовым потерям.

Для практического применения сформированной системы критериев необходимо обеспечить единообразие определения исходных показателей и возможность их корректного сравнения. Особое значение данное требование имеет для оценки производительности, поскольку паспортные и фактические значения этого показателя зависят от множества факторов. В связи с этим непосредственное сравнение производительности,

заявленной изготовителями или полученной в различных условиях эксплуатации, может привести к искажению результатов комплексной оценки.

Поэтому в качестве основного критерия, характеризующего потенциально возможную производительность комбайна, целесообразно использовать расчетную пропускную способность МСУ по зерносоломистой массе. Данный показатель определяется по единой методике [6] на основании конструктивных параметров, доступных в открытых источниках. В соответствии с методикой пропускная способность комбайна определяется по статистически достоверному уравнению.

$$q_k = 1{,}83 i_k - 0{,}83, \quad (4)$$

где i_k – параметрический индекс комбайна.

Параметрический индекс комбайна i_k определяется по следующим выражениям:

– для комбайнов с классической МСУ

$$i_k = \frac{1}{4}\left(\frac{N_e}{32} + \frac{F_{\text{п}}}{0{,}26} + \frac{F_{\text{с}}}{1{,}5} + \frac{F_{\text{р}}}{0{,}8}\right), \quad (5)$$

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

$F_{\text{п}}, F_{\text{с}}, F_{\text{р}}$ – площади сепарации подбарабанья, соломотряса и решет очистки, соответственно.

– для комбайнов с аксиально-роторной МСУ

$$i_k = \frac{N_e}{126} + 0{,}5\left(F_{\text{п.с}} + F_{\text{р}}\right), \quad (6)$$

где $F_{\text{п.с}}$ – площадь подроторной решетки.

Расчетные значения находятся в доверительном интервале с погрешностью 5–8% [6]. На следующем этапе по пропускной способности может быть рассчитана номинальная производительность по зерну W_n при одинаковом для всех моделей отношении массы соломы к массе зерна.

$$W_n = \frac{3{,}6q_k}{1+\lambda}, \quad (7)$$

где W_n – номинальная производительность, т/ч;

λ – отношение массы соломы к массе зерна, принимаем λ=1,5.

В связи с отсутствием сопоставимых результатов полевых испытаний, характеризующих фактический расход топлива рассматриваемых зерноуборочных комбайнов, его оценку выполняли расчетным путем при одинаковых условиях загрузки.

$$G_T = \frac{0{,}7355N_e k_з g_e}{1000}, \quad (8)$$

где G_T – расчетный часовой расход топлива комбайна, кг/ч;

0,7355 – коэффициент перевода мощности из лошадиных сил в киловатты;

$k_з$ – средний коэффициент загрузки двигателя, принимаем $k_з = 0{,}8$;

g_e – удельный расход топлива двигателем, г/(кВт·ч).

Расчетный удельный расход топлива на единицу номинальной производительности по зерну определяли по формуле:

$$g_T = \frac{G_T}{W_n}, \quad (9)$$

где g_T – расчетный удельный расход топлива, кг/т;

Значения потерь зерна для рассматриваемых моделей зерноуборочных комбайнов приняты по данным открытых источников, но следует отметить, что приведенные значения получены при различных условиях эксплуатации. Поэтому они не обеспечивают полной сопоставимости машин и используются в исследовании как ориентировочные исходные данные для многокритериальной оценки.

Надежность сельскохозяйственных машин определяется работоспособностью их отдельных узлов, передач и агрегатов и

непосредственно влияет на эффективность эксплуатации техники [7]. Однако из-за отсутствия сопоставимых данных о наработке комбайнов на отказ критерий надежности заменен показателем периодичности планового обслуживания двигателя. В качестве сопоставимого параметра принят регламентный интервал замены моторного масла и масляного фильтра. При наличии фактических данных о наработке комбайнов на отказы по II и III группам сложности их рекомендуется использовать в предлагаемой методике в качестве прямого показателя надежности.

Показатель эргономики отсутствует в технической документации производителей и протоколах государственных испытаний. Поэтому в рамках исследования он определялся методом экспертных оценок с участием специалистов в области эксплуатации сельскохозяйственной техники. Оценка проводилась по пятибалльной шкале с последующей нормализацией.

После расчета характеристик единичной машины выполняется второй этап методики, связывающий ее производительность с условиями конкретного хозяйства. Для этого номинальная производительность по зерну переводится в производительность по площади при одинаковой для всех моделей расчетной урожайности.

$$W_{\text{га}i} = \frac{W_{ni}}{Y}, \tag{10}$$

где $W_{\text{га}i}$ – расчетная производительность i-й модели комбайна, га/ч;

W_{ni} – расчетная номинальная производительность по зерну i-й модели, т/ч;

Y – принятая урожайность, т/га.

Требуемая суммарная производительность уборочного парка определяется исходя из площади зерновых культур и продолжительности оптимального времени уборки [2, 4].

$$W_{\text{тр}} = \frac{S}{D_{\text{оп}} \cdot t_c \cdot \text{К}_{\text{исп}}}, \quad (11)$$

где $W_{\text{тр}}$ – требуемая производительность уборочного парка, га/ч;

S – уборочная площадь, га;

$D_{\text{оп}}$ – допустимая продолжительность уборки, сут.;

t_c – продолжительность работы техники в сутки, ч/сут.;

$\text{К}_{\text{исп}}$ – коэффициент использования рабочего времени.

Необходимое количество комбайнов каждой модели принимается целым числом с округлением в большую сторону.

$$n_i = \left\lceil \frac{W_{\text{тр}}}{W_{\text{га}i}} \right\rceil, \quad (12)$$

где n_i – необходимое количество комбайнов i-й модели, шт.

Дискретное округление является обязательным элементом модели, поскольку хозяйство приобретает целое число машин, а избыточная производительность одной модели не может быть компенсирована приобретением доли другой машины.

Расчетное количество комбайнов позволяет оценить потребность в технике для конкретного хозяйства. Однако при переходе к уровню агрозон и регионов целесообразно использовать укрупненные нормативы перевода физических единиц в эталонные, что дает возможность сопоставить обеспеченность разных субъектов [8]. В рамках данной работы такие расчеты не выполнялись, но предлагаемая методика может быть основой для уточнения отраслевых нормативов.

Для сравнения капитальных затрат в качестве экономического критерия целесообразно использовать полную стоимость владения. В случае если достоверные значения полной стоимости владения отсутствуют, допускается использовать стоимость приобретения $\text{ТСО}_{\text{п}}$ при обязательном одинаковом составе комплектации.

$$\text{ТСО}_{\text{п}i} = n_i \cdot \text{ТСО}_i, \quad (13)$$

где ТСО_i – стоимость приобретения комбайнов i-й модели, млн. руб.

Нормализация показателя полной стоимости владения парком зерноуборочных комбайнов выполняется по выражению 3.

Производственно-адаптированный обобщенный показатель $\text{ОПС}_{\text{ПА}}$ формируется объединением базового $\text{ОПС}_{\text{Б}}$ и нормализованного экономического критерия полной стоимости владения парка.

$$\text{ОПС}_{\text{ПА}i} = (1 - \text{К}_{\text{ТСО}}) \cdot \text{ОПС}_{\text{Б}i} + \text{К}_{\text{ТСО}} \cdot \omega_{\text{ТСО}i}, \quad (14)$$

где $\text{К}_{\text{ТСО}}$ – вес экономического критерия, в базовом варианте равный 0,25.

Таким образом, базовый $\text{ОПС}_{\text{Б}}$ характеризует качество конкретной модели комбайна, а производственно-адаптированный $\text{ОПС}_{\text{ПА}}$ показывает целесообразность применения данной модели при известных площадях и сроках уборки.

Результаты исследований.

На основании выполненных расчетов и систематизации сведений из открытых источников сформирован комплекс оценочных показателей исследуемых зерноуборочных комбайнов, необходимых для формирования базового обобщенного показателя. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценочные показатели зерноуборочных комбайнов

Модель комбайна	ACROS 595 Plus	NEW HOLLAND CX8.80	TORUM 785	NEW HOLLAND CR9080	John Deere S790
Пропускная способность, кг/с	11,21	14,23	16,28	15,02	14,82
Расчетный удельный расход топлива, кг/т	3,01	2,54	3,20	3,33	3,80
Межсервисный интервал, мото-ч.	250	600	500	600	500
Потери зерна, %	0,62	1,35	1,36	1,2	0,82
Стоимость покупки на рынке РФ, млн руб.	17,78	54,86	28,09	72,20	78,40
Вместимость зернового бункера, л	9000	11500	12000	11500	14100
Скорость выгрузки зерна, л/с	90	125	120	126	135
Эргономика, балл	4,0	4,6	4,4	4,7	4,8

В соответствии с первым этапом методики для пяти моделей зерноуборочных комбайнов рассчитаны значения базового $ОПС_Б$, на основании которых выполнено их исходное ранжирование. Результаты базовой сравнительной оценки представлены в таблице 4.

Базовая оценка показывает, что наибольшее значение $ОПС_Б$ имеет комбайн NEW HOLLAND CX8.80, это обусловлено высоким межсервисным интервалом и минимальным расходом топлива. TORUM 785 занимает четвертую позицию, несмотря на максимальную расчетную пропускную способность МСУ.

Таблица 4 – Результаты базовой сравнительной оценки зерноуборочных комбайнов

Показатель	ACROS 595 Plus	NEW HOLLAND CX8.80	TORUM 785	NEW HOLLAND CR9080	John Deere S790
Базовый обобщенный показатель сравнения $ОПС_Б$	0,73	0,87	0,84	0,85	0,86
Место в рейтинге	5	1	4	3	2

ACROS 595 Plus на первом этапе имеет минимальный $ОПС_Б$, вследствие меньшей пропускной способности и короткого межсервисного

интервала. При этом данный результат не означает его экономической нецелесообразности.

Для выполнения второго этапа расчетов приняты следующие исходные данные: уборочная площадь S = 3000 га, урожайность Y = 5,0 т/га, допустимый период уборки $D_{\text{оп}} = 15$ сут., продолжительность работы $t_c = 10$ ч/сут. и коэффициент использования времени $К_{\text{исп}} = 0{,}75$. При этих условиях требуемая производительность уборочной машины составляет 26,67 га/ч. Результаты расчета производственно-адаптированного $ОПС_{ПА}$ приведены в таблице 5.

После учета на втором этапе экономического показателя итоговое ранжирование изменилось. TORUM 785 занимает первое место с $ОПС_{ПА} = 0{,}86$. Несмотря на более высокую стоимость владения одной машиной TORUM, совокупная стоимость владения парком оказывается близкой к парку ACROS, а более высокий базовый $ОПС_{Б}$ обеспечивает преимущество TORUM в производственно-адаптированной оценке.

Полученные результаты доказывают, что сравнение стоимости отдельных машин без учета их производительности может привести к некорректным выводам при выборе техники в хозяйствах. В связи с этим экономический критерий целесообразно рассчитывать применительно к парку комбайнов, обеспечивающему выполнение одинакового объема уборочных работ в установленные агротехнические сроки, а не к единичной машине.

Таблица 5 – Производственно-адаптированная оценка комбайнов для хозяйства S = 3000 га

Показатель	ACROS 595 Plus	NEW HOLLAND CX8.80	TORUM 785	NEW HOLLAND CR9080	John Deere S790
Расчетная производительность комбайна $W_{\text{га}i}$, га/ч	3,23	4,10	4,69	4,33	4,27
Необходимое количество комбайнов n_i, шт.	9,00	7,00	6,00	7,00	7,00
Стоимость владения парка $\text{ТСО}_{\text{п}i}$, млн. руб.	160,02	384,02	168,54	505,40	548,80
Нормализованный показатель стоимости владения парка $\omega_{\text{ТСО}i}$	1,00	0,42	0,95	0,32	0,29
Производственно-адаптированный обобщенный показатель $\text{ОПС}_{\text{ПА}i}$	0,80	0,76	0,86	0,71	0,72
Место в рейтинге	2	3	1	5	4

Следует учитывать, что результаты расчета справедливы для принятых исходных условий изменение, которых может повлиять на границы оптимального применения рассматриваемых моделей.

Для проверки устойчивости методики выполнен анализ чувствительности результатов к изменению уборочной площади в диапазоне от 250 до 3000 га. Как видно из рисунка 1, наиболее выраженное изменение значений производственно-адаптированного обобщенного показателя наблюдается при увеличении площади с 250 до 500 га. При площади 250 га первое место по величине итогового обобщенного показателя занимает ACROS 595 Plus, поскольку для выполнения заданного объема работ каждой из рассматриваемых моделей достаточно одной машины и основное влияние оказывает стоимость ее приобретения. При увеличении площади до 500 га преимущество переходит к TORUM 785, производительность которого позволяет выполнить уборочные работы одной машиной, тогда как для остальных моделей требуется формирование парка из двух единиц. В диапазоне от 500 до 3000 га ранговое положение комбайнов остается неизменным.

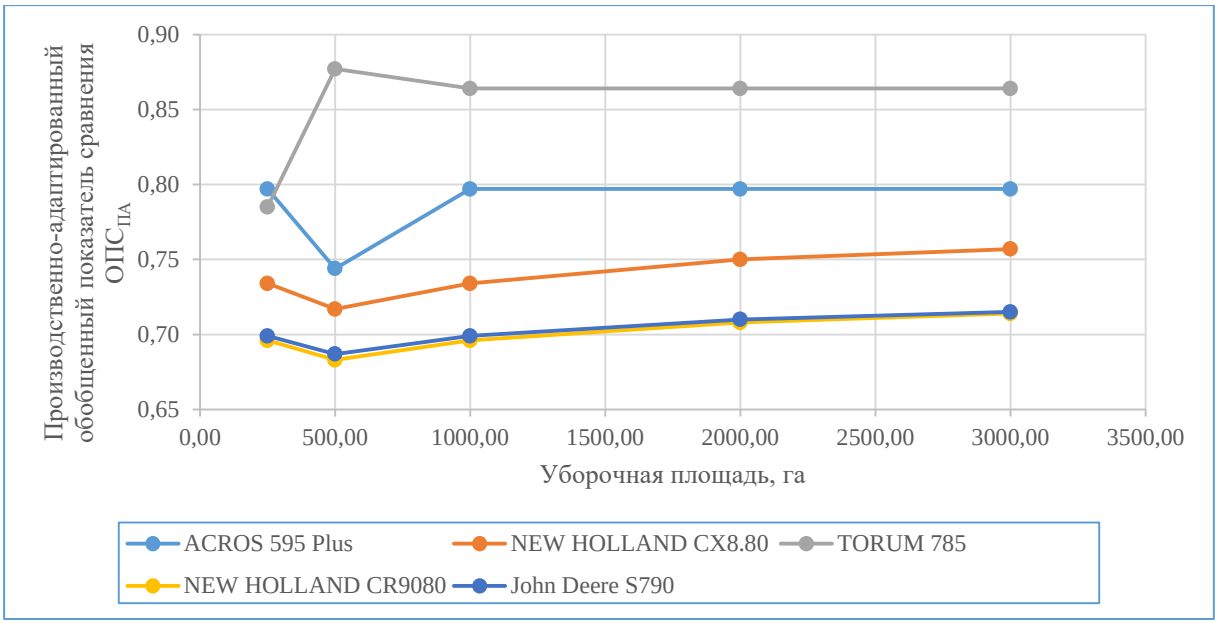


Рисунок 1 – Зависимость итогового обобщенного показателя сравнения зерноуборочных комбайнов от уборочной площади

Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости ранжирования моделей в диапазоне уборочных площадей от 500 до 3000 га и одновременно подтверждают способность методики учитывать изменение требуемой численности парка комбайнов при увеличении масштаба производственной задачи.

Выводы.

Разработана методика комплексного сравнения зерноуборочных комбайнов, в которой базовая оценка технических и эксплуатационных свойств единичной машины дополняется адаптацией результата к производственным условиям конкретного хозяйства. В отличие от сравнения стоимости отдельных машин, предложенный подход учитывает количество комбайнов, необходимое для выполнения одинакового объема уборочных работ в установленные агротехнические сроки.

Анализ чувствительности к изменению уборочной площади показал, что при площади 250 га первое место в рейтинговой оценке занимает

ACROS 595 Plus, поскольку для выполнения работ достаточно одной машины каждой модели и определяющее влияние оказывает цена приобретения. В диапазоне от 500 до 3000 га первое место занимает TORUM 785, это обусловлено увеличением требуемой численности уборочного парка с увеличением уборочной площади. Полученные результаты подтверждают способность методики учитывать масштаб производственной задачи.

Полученные результаты справедливы для принятых исходных условий и используемой системы весовых коэффициентов. К ограничениям выполненных исследований относятся использование стоимости приобретения вместо полной стоимости владения, использование межсервисного интервала в качестве косвенного показателя надежности и различие условий определения потерь зерна. При наличии сопоставимых данных указанные показатели могут быть заменены полной стоимостью владения и фактической наработкой на отказ без изменения общей структуры методики.

Библиографический список

1. Исследование уборки урожая подсолнечника современными энергосредствами с использованием навесных уборочных адаптеров ПРП-8 И ПРП-12 / И. Э. Липкович, М. М. Украинцев, В. А. Луханин [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 1(61). – DOI 10.51419/202141107. – EDN LYSDFU.

2. Алхамад Алхадж Драй, А. Результаты оптимизации уборочно-транспортного комплекса по уборке хлопка в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алхамад Алхадж Драй, Н. А. Майстренко, В. И. Балабанов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2018. – № 1(83). – С. 48-51. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-1-48-51. – EDN YPMTST.

3. Constant angle line of distributing seeds and fertilisers by a horizontal centrifugal machine / V. A. Lukhanin, V. I. Khizhnyak, S. P. Psiukalo [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – P. 00058. – DOI 10.1051/bioconf/202410300058. – EDN PZDHKW.

4. Унификация расчетов производительности транспортных и транспортно-технологических средств / Н. А. Майстренко, В. П. Уваров, А. Г. Левшин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 637-658. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202004.637-658. – EDN YXGRQG.

5. Псюкало, С. П. Влияние упругого демпфирующего элемента на температурный режим подшипникового узла / С. П. Псюкало, В. А. Луханин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 7(225). – С. 93-98. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-225-7-93-98. – EDN ROIAYH.

6. Жалнин, Э. В. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам / Э. В. Жалнин, Ю. С. Ценч, В. С. Пьянов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 4-8. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8. – EDN NVUBQD.

7. Псюкало, С. П. Методы и средства повышения надежности и эффективности работы отдельных узлов, передач и агрегатов машин сельскохозяйственного назначения / С. П. Псюкало, В. А. Луханин. – Зерноград : Донской государственный аграрный университет, 2024. – 171 с. – ISBN 978-5-91833-224-5. – EDN YSVXBV.

8. Дидманидзе, О. Н. Методические рекомендации по определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства / О. Н. Дидманидзе, А. В. Лавров, В. М. Бейлис. – Москва : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 56 с. – ISBN 978-5-00227-383-6. – EDN ZKINKE.

References

1. Issledovanie uborki urozhaya podsolnechnika sovremenny`mi e`nergosredstvami s ispol`zovaniem navesny`x uborochny`x adapterov PRP-8 I PRP-12 / I. E`. Lipkovich, M. M. Ukraincev, V. A. Luxanin [i dr.] // AgroE`koInfo. – 2024. – № 1(61). – DOI 10.51419/202141107. – EDN LYSDFU.

2. Alxamad Alxadzh Draj, A. Rezul`taty` optimizacii uborochno-transportnogo kompleksa po uborke xlopka v usloviyax Sirijskoj Arabskoj Respubliki / A. Alxamad Alxadzh Draj, N. A. Majstrenko, V. I. Balabanov // Vestnik Federal`nogo gosudarstvennogo obrazovatel`nogo uchrezhdeniya vy`sshego professional`nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvenny`j agroinzhenerny`j universitet imeni V.P. Goryachkina. – 2018. – № 1(83). – S. 48-51. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-1-48-51. – EDN YPMTST.

3. Constant angle line of distributing seeds and fertilisers by a horizontal centrifugal machine / V. A. Lukhanin, V. I. Khizhnyak, S. P. Psiukalo [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – P. 00058. – DOI 10.1051/bioconf/202410300058. – EDN PZDHKW.

4. Unifikaciya raschetov proizvoditel`nosti transportny`x i transportno-texnologicheskix sredstv / N. A. Majstrenko, V. P. Uvarov, A. G. Levshin [i dr.] // Inzhenerny`e texnologii i sistemy`. – 2020. – T. 30, № 4. – S. 637-658. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202004.637-658. – EDN YXGRQG.

5. Psyukalo, S. P. Vliyanie uprugogo dempfiruyushhego e`lementa na temperaturny`j rezhim podshipnikovogo uzla / S. P. Psyukalo, V. A. Luxanin // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 7(225). – S. 93-98. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-225-7-93-98. – EDN ROIAYH.

6. Zhalnin, E`. V. Metodika analiza texnicheskogo urovnya zernouborochny`x kombajnov po funkcional`ny`m i konstruktivny`m parametram / E`. V. Zhalnin, Yu. S. Cench, V. S. P`yanov // Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i texnologii. – 2018. – T. 12, № 2. – S. 4-8. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8. – EDN NVUBQD.

7. Psyukalo, S. P. Metody` i sredstva povy`sheniya nadezhnosti i e`ffektivnosti raboty` otdel`ny`x uzlov, peredach i agregatov mashin sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya / S. P. Psyukalo, V. A. Luxanin. – Zernograd : Donskoj gosudarstvenny`j agrarny`j universitet, 2024. – 171 s. – ISBN 978-5-91833-224-5. – EDN YSVXBV.

8. Didmanidze, O. N. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu normativnoj potrebnosti v sel`skoxozyajstvennoj texnike dlya rastenievodstva / O. N. Didmanidze, A. V.

Lavrov, V. M. Bejlis. – Moskva : OOO «Sam Poligrafist», 2024. – 56 s. – ISBN 978-5-00227-383-6. – EDN ZKINKE.