



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-11>

УДК: 631.153.7

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

✉¹Яковлев Н.С., ¹Рассомахин Г.К., ²Чекусов М.С., ¹Чернышов А.П.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Омский аграрный научный центр

Омск, Россия

✉e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

Представлена методика оценки почвообрабатывающих и посевных агрегатов с учетом почвенных и климатических условий хозяйств. Предложен комплексный показатель оценки работы посевных машин и комплексов при посеве зерновых культур, который учитывает производительность, топливную экономичность, качество посева и надежность выполнения технологического процесса к определенному моменту времени. Приспособленность агрегатов к техническому обслуживанию оценивается отношением производительности агрегата за основное время к производительности за сменное время. Показателем расхода топлива у агрегатов является отношение глубины обработки почвы, у сеялок – глубины посева к удельному расходу топлива. Качество обработки почвы оценивается показателями гребнистости и крошения почвы, полученными в результате испытаний, качество посева – отношением фактической нормы высева и глубины заделки семян к заданным по техническим условиям. В качестве показателя оценки надежности применяют интегральные функции распределения вероятностей безотказной работы в виде экспоненциального закона распределения. Для расчетов используют результаты агротехнической и экономической оценки, взятые из протоколов испытаний машин на машиноиспытательных станциях. На основании проведенных исследований предложены эффективные наборы машин для возделывания зерновых культур, которые отличаются низкими затратами, высоким качеством выполнения работ и надежностью. На первом месте оказались зерновые сеялки С-6ПМ2, СЗП-3,6Б, СЗР-5,4, AMAZONE D9-60 Super; посевные комплексы КСКП-2,1Д × 5 ОМИЧ, Кузбасс ПК-8,5, John Deere «730». Второе место заняли сеялки John Deere 455, ASTRA SZT-5,4, СКП-2,1 × 5, Pronto 12NT Хорш, DMC Primera 9000; посевные комплексы Иртыш-10, AGRATOR-combidisk-9000, Кузбасс ПК-9,7А.

Ключевые слова: сеялка, посевной комплекс, технологический процесс, комплексный показатель

TECHNICAL EQUIPMENT JUSTIFICATION METHODOLOGY FOR THE CULTIVATION OF GRAIN CROPS

✉¹Yakovlev N.S., ¹Rasomahin, G.K., ²Chekusov M.S., ¹Chernyshov A.P.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies
of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk, Russia

²Omsk Agricultural Research Center

Omsk, Russia

✉e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

The article presents a methodology for evaluating tillage and seeding aggregates, taking into account soil and climatic conditions of farms. We offer a comprehensive assessment index of the

performance of sowing machines and complexes for sowing crops, which takes into account productivity, fuel efficiency, sowing quality and reliability of the technological process to a certain point in time. Unit serviceability is measured by the ratio of the unit's capacity during the main time to the capacity during the shift time. Fuel consumption indicator for machines is the ratio of tillage depth, for seeders it is the sowing depth to specific fuel consumption. Soil cultivation quality is assessed by indicators of ridging and crumbling of the soil, the quality of sowing by the ratio of the actual seeding rate and the depth of seeding to the given technical specifications. The integral functions of the distribution of probabilities of failure-free operation in the form of an exponential law of distribution are used as an indicator of reliability assessment. For calculations, the results of agrotechnical and economic evaluation, taken from the protocols of machine tests at machine test stations, are used. Based on the research, effective sets of machines for the cultivation of crops, which are characterized by low costs, high quality of work and reliability, were proposed. In first place were taken by the grain seeders S-6PM2, SZP-3,6B, SZP-5,4, AMAZONE D9-60 Super; seeding complexes KSKP-2,1D × 5 OMich, Kuzbass PK-8,5, John Deere "730". The second place was taken by John Deere 455, ASTRA SZT-5,4, SKP-2,1D × 5, Pronto 12NT Horsch, DMC Primera 9000; seeding complexes Irtysh-10, AGRATOR-combidisk-9000, Kuzbass PK-9,7A.

Keywords: seeder, seeding complex, technological process, integrated indicator

Для цитирования: Яковлев Н.С., Рассомахин Г.К., Чекусов М.С., Чернышов А.П. Методика обоснования технических средств для возделывания зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 3. С. 97–106. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-11>. EDN WUFNKM.

For citation: Yakovlev N.S., Rasomahin, G.K., Chekusov M.S., Chernyshov A.P. Technical equipment justification methodology for the cultivation of grain crops. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 3, pp. 97–106. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-11>. EDN WUFNKM.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема технического перевооружения сельского хозяйства приобрела в последние годы особую актуальность. Основу ее составляет замена морально и физически устаревших тракторов и рабочих машин [1]. Предполагается, чем больше типоразмеров сельскохозяйственных машин, отвечающих требованиям производства сельскохозяйственной продукции в различных регионах страны, будет выпускать промышленность, тем полнее могут быть удовлетворены потребности хозяйств и повышена эффективность их работы [2]. Новая энергонасыщенная техника позволяет расширить применение ресурсосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции, в то же время обширная номенклатура затрудняет выбор технических средств¹ [3–5]. Одна из центральных задач обеспечения сельскохозяйственных предприятий техникой – вы-

бор агрегатов, которые полностью соответствуют почвенно-климатическим условиям хозяйства. Анализ работ по рассматриваемой проблеме показал, что обоснованному выбору типа сельскохозяйственного агрегата для хозяйств определенной зоны уделяется недостаточно внимания. Выбор оптимального состава агрегатов проводят в основном по минимуму капитальных вложений, качество выполняемой ими работы не учитывают [6]. При обосновании сельскохозяйственных агрегатов исходят из существующих технологий, отражающих перечень вариантов технологических операций. Работу проводят в соответствии с типовыми методиками оптимизации агрегатов различных типов и назначения. В данном случае необходимо правильно выбрать параметры оптимизации, выделив наиболее информативные.

В результате анализа научно-технической литературы не установлено единого крите-

¹Докин Б.Д., Новоселов М.В. Оценка энергозатрат при различных технологиях возделывания зерновых культур // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XV междунар. науч.-практ. конф. в 2 кн. Барнаул, 2020. С. 25–29.

рия, оценивающего работу сельскохозяйственных машин, как отдельных рабочих органов, так и в составе комбинированных агрегатов [7]. Чтобы не усложнять расчеты, число параметров оптимизации, которые должны быть независимыми и достаточно стабильными, необходимо минимизировать. Для примера проведем оценку посевных машин, так как посев семян зерновых культур – одна из важных технологических операций. Следовательно, посевные агрегаты представлены наиболее сложными и дорогостоящими машинами, от качества работы которых зависит урожайность высеваемой культуры.

Цель исследования – разработать методику оценки посевных агрегатов с учетом качества выполняемой ими работы.

Задачи исследования:

- выбрать наиболее информативные показатели комплексной оценки работы посевных агрегатов при посеве зерновых культур;
- обосновать эффективные технические решения, позволяющие выполнить работы с высоким качеством и при наименьших затратах средств.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для комплексной оценки работы посевных агрегатов нужно определиться с технологией возделывания зерновых культур, составными частями которой являются технологические операции. Необходимо обосновать эффективные технологические решения, наиболее приемлемые для данной зоны, позволяющие сократить совокупные затраты и повысить урожайность зерновых культур за счет полного использования плодородия почвы, уничтожения сорняков и повышения качества посева. При этом учитывается совместимость технологии с зональными условиями, которые определяют возможность реализации конкретных технологических решений. Совокупность показателей оценки должна включать данные о почвенно-климатических и производственных условиях функционирования агрегатов и

комплексов. Совокупность должна включать следующее: применение лишь почвозащитной технологии; использование тракторных агрегатов только с тракторами, обеспечивающими минимальное давление на почву; использование ресурсосберегающих технологических приемов и др. Выбрав технологию и обосновав эффективные технологические решения для соответствующей зоны, можно приступить к разработке технологической карты, где необходимо по операциям расписать весь технологический процесс возделывания зерновых культур [8]. Каждая операция выполняется определенным видом машин или агрегатов, которые в настоящее время представлены широкой номенклатурой типажей и отдельных видов. В рекламных проспектах каждая фирма представляет свою продукцию в наилучшем виде, поэтому понять, что нужно для хозяйства с его почвенно-климатическими особенностями, – сложная задача. Многие импортные машины и комплексы, которые работают на полях России, проверяют на машиноиспытательных станциях (МИС), где определяют их основные агротехнические и эксплуатационные показатели. Однако широкая номенклатура показателей не позволяет определиться с выбором машины. В связи с этим необходим один комплексный показатель, который позволит дать оценку машин и агрегатов при проведении сельскохозяйственных работ по выбранной технологии² [9].

Комплексную оценку работы агрегата при выполнении технологических операций возделывания зерновых культур необходимо провести с учетом совокупности ограничений и в соответствии с требованиями качества выполнения технологического процесса. На этапе оценки посевных агрегатов применяют следующие частные показатели: коэффициент использования машины, который характеризует отношение производительности машины за основное время к производительности машины за сменное время; удельный расход топлива, отнесенный к глу-

²Яковлев Н.С., Назаров Н.Н., Рассомахин Г.К., Маркин В.В., Черных В.И. Технологии посева зерновых культур // Аграрная наука - сельскому хозяйству: сб. материалов XVI междунар. науч.-практ. конф. в 2 кн. Барнаул, 2021. С. 53–54.

бине обработки почвы; оценку надежности выполнения технологической операции к определенному времени; качество выполнения технологической операции. При оценке качества посева сельскохозяйственных культур используют следующие частные показатели: среднюю глубину заделки семян, равномерность распределения по площади посева, неравномерность заделки семян по глубине и др. С учетом этого замечания предложена структура показателей для оценки технического уровня машин и орудий, используемых при выполнении посева зерновых культур. Для оценки технического уровня машин используют матрицы типа табл. 1. Относительные значения показателей применяют для приведения их к безразмерному виду.

Приспособленность агрегатов к техническому обслуживанию оценивается отношением производительности агрегата за основное время к производительности за сменное время [10]. Показатель оценки машины определится из выражения

$$C(t) = \frac{Q(t)}{Q_m(t)}, \quad (1)$$

где $Q(t)$ – производительность машины за основное время; $Q_m(t)$ – производительность машины за сменное время.

Расход топлива оценивают показателем отношения глубины обработки почвы к удельному расходу топлива, у сеялок – глубины посева к удельному расходу топлива:

$$C_T(t) = \frac{h}{g}, \quad (2)$$

где h – глубина обработки почвы, см; g – удельный расход топлива, кг/га.

Качество обработки почвы оценивают показателями гребнистости $C_r(t)$ и крошения почвы $C_k(t)$ (размер фракций до 25 мм), полученными в результате испытаний на МИС, к допустимым технологическими требованиями СТО АИСТ³:

$$C_r(t) = \frac{D}{d}, \quad C_k(t) = \frac{k}{K}, \quad (3)$$

где d – высота гребней, определенная при испытаниях машины на МИС, см; D – допустимая высота гребней по технологическим требованиям и АИСТ, см; k – количество почвенных фракций размером до 25 мм по результатам испытаний на МИС, %; K – ко-

Табл. 1. Комплексная оценка работы сеялок и посевных комплексов

Table 1. Comprehensive evaluation of the work of seeders and seeding complexes

Марка трактора и машины	Относительный показатель оценки					Комплексная оценка
	производительности	расхода топлива	наработки на отказ	нормы высева	глубины посева	
1	$\frac{Q_1^0}{Q_1^1}$	$\frac{h_1^0}{g_1^1}$	$\frac{P_1^0}{P_1^1}$	$\frac{p_1^0}{G_1^1}$	$\frac{h_1^0}{H_1^1}$	$\sum \delta_j \cdot q_i^j$
	$\frac{Q_2^0}{Q_2^1}$	$\frac{h_2^0}{g_2^1}$	$\frac{P_2^0}{P_2^1}$	$\frac{p_2^0}{G_2^1}$	$\frac{h_2^0}{H_2^1}$	
2	$\frac{Q_3^0}{Q_3^1}$	$\frac{h_3^0}{g_3^1}$	$\frac{P_3^0}{P_3^1}$	$\frac{p_3^0}{G_3^1}$	$\frac{h_3^0}{H_3^1}$	$\sum \delta_j \cdot q_i^j$
	$\frac{Q_4^0}{Q_4^1}$	$\frac{h_4^0}{g_4^1}$	$\frac{P_4^0}{P_4^1}$	$\frac{p_4^0}{G_4^1}$	$\frac{h_4^0}{H_4^1}$	

Примечание. $Q_i^j, h_i^j, P_i^j, p_i^j$ – значения оцениваемых показателей; i – индекс машины; j – индекс показателя:

0 – полученное при испытаниях, 1 – требования СТО АИСТ; δ_j – коэффициент значимости показателей в данной системе оценки; q_i^j – относительное значение показателя оценки.

³СТО АИСТ 4.2–2010. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей. Взамен СТО АИСТ4.2-2004. Введ. 15.07.2011. М.: Росинформагротех, 2012. 40 с.

личество почвенных фракций размером до 25 мм по агротехническим требованиям к технологии обработки почвы, %.

Качество посева оценивают отношением фактической нормы высева и глубины заделки семян к заданным по техническим условиям⁴. В связи с тем, что качество посева оценивают по точности высева установленной нормы или глубины заделки семян, отклонение в большую или меньшую сторону будет считаться нарушением агротребований, применяется следующее выражение:

$$C_p(t) = \frac{P}{G} \text{ или } C_p(t) = \frac{G}{p}, \quad (4)$$

где p – фактическая норма высева, кг/га; G – заданная норма высева, кг/га.

В качестве показателя оценки надежности используется интегральная функция распределения вероятностей безотказной работы $P_i(t)$ в виде экспоненциального распределения [10]

$$C_N(t) = \frac{P_i(t)}{P_N(t)}, \quad P_i(t) = e^{-\lambda_i t}, \quad (5)$$

где λ – интенсивность потока отказов; t – время работы машины в смену, ч.

Появление в надежности этого распределения связано с использованием распределения Пуассона

$$P(m) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

Предположим участок $[0; t]$ пустым, т.е. $m = 0$ (на участок не попала ни одна точка), но распределение Пуассона определяет вероятность попадания на участок того или иного числа точек, а «0» не является числом.

Интенсивность потока отказов λ и параметр потока отказов ω обладают следующим свойством: если поток отказов стационарен, то $\omega(t) = \omega = \lambda$. Параметр потока отказов $\lambda = \frac{1}{T}$ и наработка на отказ T характеризуют надежность ремонтируемого изделия. Под коэффициентом δ_i значимости i -го показателя

понимается степень его влияния на общий показатель технологического процесса. Существует несколько методов определения коэффициента значимости. Наиболее приемлемым в нашем случае можно принять метод частных производных. Влияние частного показателя качества на главный показатель определим, взяв полный дифференциал функции E ⁵:

$$dE = \frac{\partial E}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial E}{\partial y_2} dy_2 + \frac{\partial E}{\partial y_3} dy_3 + \dots + \frac{\partial E}{\partial y_i} dy_i. \quad (7)$$

Частные производные перед значениями dy_i можно рассматривать как функциональную зависимость с главным показателем E . Действительно, весовые коэффициенты частных показателей качества y_1, y_2, \dots, y_n , связанных с выражением $\partial E / \partial y_i$ показывают, как изменяется эффективность системы E при изменении частного показателя качества y_i (при фиксированных значениях остальных показателей), т.е. определяют степень влияния на главный показатель E . На основании изложенного можно записать: $b_i = \partial E / \partial y_i$, где b_i – весовой коэффициент i -го показателя качества. Зафиксировав значения остальных показателей качества, уравнение (7) можно записать в виде

$$dE = b_1 dy_1 + b_2 dy_2 + \dots + b_n dy_n. \quad (8)$$

Уравнение (8) является следствием линеаризации функции E в точке, координаты которой $y_i = y_{i0}, i = (1, n)$. Из полученных выражений видно, что весовые коэффициенты b_i зависят от конкретных значений частных показателей качества y_i , следовательно, они связаны определенными зависимостями и между собой:

$$b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n). \quad (9)$$

Экономическая оценка агрегатов – наиболее важная часть в себестоимости производства зерновых культур. В качестве основных составляющих выступают прямые эксплуатационные затраты на выполнение работ по

⁴Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ Р 52778–2007. Введ. 13.11.2007. М.: Стандартинформ, 2008. 24 с.

⁵Чумаков Н.М., Серебряный Е.И. Оценка эффективности сложных технических устройств. М.: Советское радио, 1980. 192 с.

обеспечению технологического процесса и урожайность возделываемых культур. В свою очередь, прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки (И, р./га) определяют по формуле⁶

$$И = З + Г + Р + Ф, \quad (10)$$

где З – удельное значение зарплаты обслуживающего персонала со всеми видами доплат и отчислений, р./га; Г – удельные затраты на горюче-смазочные материалы, тепловую и электрическую энергию, р./га; Р – удельные затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт, хранение техники, р./га; Ф – прочие удельные прямые затраты на основные и вспомогательные материалы, р./га.

При оценке необходимо учитывать специфические условия применения данного агрегата относительно природно-климатической зоны, а также учитывать требования, определенные применяемой технологией возделывания зерновых культур. Расчет прямых эксплуатационных затрат на работу посевных комплексов и сеялок на площади 1000 га произведен в соответствии с технологическими картами.

При расчете эксплуатационных затрат возникает вопрос стоимости машины, орудия или комплекса. У разных продавцов цены могут значительно отличаться от цены завода-изготовителя и меняться в зависимости от сезона и спроса, а также от уровня инфляции

или других факторов. В связи с этим цены на машины, орудия и комплексы необходимо приводить к одному знаменателю, ниже которого цена опуститься не может. Самый простой эмпирический способ подсчитать стоимость машины – определить цену металла, который необходим для производства изделия, и умножить эту цифру на пять. Погрешность при этом может достигать 20–25%. Формула подходит только для предварительных расчетов с последующей корректировкой:

$$\begin{aligned} Ц_M &= M_M \cdot Ц_M + З_П + Н_Н + Н_Р + П = \\ &= 5 \cdot M_M \cdot Ц_M, \end{aligned} \quad (11)$$

где M_M – масса машины (орудия), т; $Ц_M$ – комплексная цена металла, р./т; $З_П$ – заработная плата на изготовление машины или орудия со всеми видами доплат, р.; $Н_Н$ – сумма налогов, приходящихся на одну машину, р.; $Н_Р$ – сумма накладных расходов на одну машину, р.; $П$ – прибыль предприятия в размере 20% от продажи каждой машины.

На практике цена на машину складывается из пяти компонентов, причем заработная плата на изготовление машины, как это бывает на производстве, равна стоимости металла. При этом учитывается и заработная плата на изготовление комплектующих изделий. Сумма всех налогов (НДС, НДФЛ, налог на прибыль организаций, страховые взносы во внебюджетные фонды, налог на имущество организаций, транспортный налог) примерно равна

Табл. 2. Пример расчета цены посевных машин

Table 2. Example of seeding machine price calculation

Марка машины	Вес машины, т	Коэффициент	Год	Цена металла, тыс.р/т	Цена машины, тыс.р.		Ошибка, %
					на рынке	расчетная	
Сеялка СЗП-3,6А	2,84	5	2015	35	443	496	10,7
Сеялка С-6ПС	2,30	5	2019	45	1237	1190	3,8
Посевной комплекс «Агратор-4800М»	2,40	10	2016	40	1050	960	9,4
Посевной комплекс «Кузбасс ПК-8,5»	10,55	10	2018	40	3959	4220	6,2
Посевной комплекс «КПК-990АП»	12,63	10	2020	50	6205	6315	1,8

⁶ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Введ. 01.09.2019. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.

сумме заработной платы. Накладные расходы начисляются в размере 100% от заработной платы. В связи с этим стоимость машины или орудия можно принять, равную пятикратной стоимости металла, затраченного на изготовление машины. Чтобы определить цену посевного комплекса ввиду больших интеллектуальных вложений в изготовление, расчетную цену необходимо увеличивать в 2 раза, применив коэффициент 10. Пример соотношения расчетной цены посевных машин с ценой реализации на рынке представлен в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексная оценка работы агрегатов при выполнении технологических операций при возделывании зерновых культур проведена с учетом совокупности ограничений и в соответствии с требованиями качества выполнения технологического процесса. При расчете показателей использованы данные, опубликованные в протоколах Алтайской и Сибирской МИС. Относительные показатели оценки агрегатов при выполнении соответствующих видов работы представлены в табл. 3.

Табл. 3. Оценка качества работы сеялок и посевных комплексов при возделывании зерновых культур
Table 3. Evaluation of the quality of seeders and seeding complexes in the cultivation of crops

Марка трактора и машины	Относительный показатель оценки					Комплексная оценка
	производительности	расхода топлива	наработки на отказ	нормы высева	глубины посева	
<i>Зерновые сеялки</i>						
Pronto 12NT «Хорш»	0,72	1,81	0,98	1,52	1,06	6,09
Обь-4-3Т	0,67	1,20	1,24	0,98	1,00	5,09
СКП-2,1 × 5 К-701	0,70	1,68	1,22	0,97	0,97	5,54
С-6ПМ2	0,64	1,82	0,99	1,2	1,70	6,35
John Deere 455	0,51	1,65	1,27	0,99	1,08	5,50
СЗР-5,4	0,63	1,96	1,20	0,99	1,04	5,82
AMAZONE D9-60 Super	0,66	1,05	1,31	0,98	1,25	5,25
ASTRA SZT-5,4	0,60	2,48	0,21	0,99	1,12	5,40
CASE IH-SD × 30	0,66	1,08	0,97	1,41	1,17	5,29
АСТРА + КД-720МК	0,74	0,83	1,30	0,94	1,03	4,84
СЗП-3,6Б	0,64	3,29	1,20	0,99	1,03	7,15
DMC Primera 9000	0,65	1,28	0,98	1,29	1,25	5,45
Д9-60	0,72	2,22	0,26	0,98	1,05	5,23
<i>Посевные комплексы</i>						
Кузбасс ПК-9,7	0,71	1,33	0,31	0,99	1,11	4,45
Кузбасс ПК-9,7А	0,70	1,33	0,31	0,99	1,11	4,44
Кузбасс-Т ПК-9,7	0,72	1,03	0,45	0,99	1,16	4,35
Кузбасс ПК-8,5	0,70	1,14	1,20	0,98	1,05	5,07
Томь ПК-10,6	0,73	0,86	1,01	0,99	1,15	4,74
КПК-850МБ	0,73	0,68	0,31	0,97	1,10	3,79
КСКП-2,1Д «ОМИЧ» × 5	0,73	1,14	1,28	0,98	0,87	5,00
Иртыш-10	0,61	0,94	1,01	0,94	1,01	4,51
КПК-990МБ	0,73	1,08	0,33	0,97	1,04	4,15
John Deere «730»	0,69	0,96	1,20	0,99	1,20	5,04
AGRATOR-combidisk-9000	0,66	1,06	0,80	0,99	1,12	4,63
AGRATOR-6000M	0,71	0,76	1,28	0,98	1,14	4,87
AGRATOR 11000	0,70	1,01	0,25	0,97	1,04	3,97

Для комплексной оценки из всей номенклатуры показателей по протоколам МИС отобраны те, коэффициент значимости которых был равен единице. Показатели включали следующие параметры: производительность машины за основное и сменное время, удельный расход топлива, глубину посева семян, глубину обработки почвы, высоту гребней, равномерность высева семян по глубине, отклонение от заданной нормы высева, наработку машины на отказ. Сумма показателей представляет комплексную оценку машины при выполнении ею определенного вида работы в агрегате с тяговым средством.

Расчет эксплуатационных затрат при выполнении определенного вида работы проведен на поле размером в 1000 га. Результаты качественной и экономической оценки машин представлены в табл. 4.

Каждому агрегату в зависимости от комплексного показателя, присваивается соответствующий ранг (первый ранг – агрегату, имеющему высокий показатель оценки). Для выявления комплексной оценки ранги суммируют. Агрегат, который получил наиболее низкий суммарный ранг, имеет преимущество в оснащении технологического процесса по выбранной технологии.

Анализируя результаты табл. 5, необходимо отметить, что на первом месте оказались зерновые сеялки С-6ПМ2, СЗП-3,6Б, СЗР-5,4, AMAZONE D9-60 Super; посевные комплексы КСКП-2,1Д × 5 ОМИЧ, Кузбасс ПК-8,5, John Deere «730». Второе место заняли сеялки John Deere 455, ASTRA SZT-5,4, СКП-2,1 × 5, Pronto 12NT «Хорш», DMC Primera 9000; посевные комплексы

Табл. 4. Оценка качества работы сеялок и посевных комплексов при возделывании зерновых культур

Table 4. Evaluation of the quality of seeders and seeding complexes in the cultivation of crops

Марка трактора и машины	Качественные		Экономические		Сумма рангов	Место в рейтинге
	оценка	ранг	оценка	ранг		
<i>Зерновые сеялки</i>						
Pronto 12NT «Хорш»	6,09	3	579,3	11	14	5
Обь-4-3Т	5,09	12	407,4	8	20	7
СКП-2,1 × 5 К-701	5,54	5	356,8	7	12	4
С-6ПМ2	6,35	2	209,1	2	4	1
John Deere 455	5,50	6	287,7	6	12	4
СЗР-5,4	5,82	4	268,0	5	9	2
AMAZONE D9-60 Super	5,25	10	162,0	1	11	3
ASTRA SZT-5,4	5,40	8	233,2	4	12	4
CASE IH-SDx30,	5,29	9	632,4	12	21	8
АСТРА + КД-720МК	4,84	13	419,9	9	22	9
СЗП-3,6Б	7,15	1	221,8	3	4	1
DMC Primera 9000	5,45	7	511,5	10	17	6
<i>Посевные комплексы</i>						
Кузбасс ПК-9,7	4,45	8	898,4	10	18	7
Кузбасс ПК-9,7А	4,44	9	863,7	8	17	6
Кузбасс-Т ПК-9,7	4,35	10	981,4	11	22	9
Кузбасс ПК-8,5	5,07	1	843,5	6	7	3
«Томь» ПК-10,6	4,74	5	1055,3	13	18	7
КПК-850МБ	3,79	13	842,7	5	18	7
КСКП-2,1Д «ОМИЧ» × 5	5,00	3	404,9	1	4	1
Иртыш-10	4,51	7	795,2	3	10	5
КПК-990МБ	4,15	11	893,1	9	20	8
John Deere «730»	5,04	2	857,1	7	9	4
AGRATOR-combidisk-9000	4,63	6	805,1	4	10	5
AGRATOR-6000М	4,87	4	559,6	2	6	2
AGRATOR 11000	3,97	12	998,0	12	24	10

Иртыш-10, AGRATOR-combidisk-9000, Кузбасс ПК-9,7А. Такие посевные машины, как СЗП-3,6 или СКП-2,1, оказались на первом месте потому, что они просты в настройке и доступны по цене, но морально устарели и их производительность уже не удовлетворяет потребителя. Для окончательного выбора необходимо ввести ограничения, которые должны учитывать требования потребителя (приспособленность к передовой технологии, производительность за смену, удобство транспортировки, скорость загрузки семенами, использование системы точного земледелия, соответствие экологическим требованиям и др.).

В заключение необходимо отметить, что параметры оптимизации по выбору наиболее приемлемых для данной зоны сельскохозяйственных машин и комплексов должны тщательно подбирать непосредственно для условий той местности, где планируют их применение с учетом требований времени и рынка сельскохозяйственной продукции.

ВЫВОДЫ

1. Предложен комплексный показатель оценки работы посевных машин и комплексов при посеве зерновых культур, который учитывает производительность, топливную экономичность, качество посева и надежность выполнения технологического процесса к определенному моменту времени.

2. Предложены наиболее эффективные наборы машин для возделывания зерновых культур, которые отличаются низкими затратами, высоким качеством выполнения работ и высокой надежностью машин. На первом месте оказались зерновые сеялки С-6ПМ2, СЗП-3,6Б, СЗР-5,4, AMAZONE D9-60 Super; посевные комплексы КСКП-2,1Д × 5 «ОМИЧ», Кузбасс ПК-8,5, John Deere «730». Второе место заняли сеялки John Deere 455, ASTRA SZT-5,4, СКП-2,1 × 5, Pronto 12NT «Хорш», DMC Primera 9000; посевные комплексы Иртыш-10, AGRATOR-combidisk-9000, Кузбасс ПК-9,7А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов Н.И., Аверьянов В.В. Состав инновационного тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 6. С. 111–117.
2. Елизаров В.П., Бейлис В.М. Принципы формирования федеральной системы технологий и машин для растениеводства // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 1. С. 9–10.
3. Докин Б.Д., Алетдинова А.А. Анализ прошлого и будущего автоматизации растениеводства с развитием технологий точного земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2021. № 1. С. 10–14. DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-41-10-14.
4. Беляев В.И., Соколов В.В. Основные направления совершенствования сельскохозяйственной техники предприятий алтайского кластера аграрного машиностроения для реализации сберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 7 (165). С. 137–147.
5. Беляев В.И. Современная техника и информационные технологии в земледелии Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 8 (166). С. 158–162.
6. Ушанов В.А. Методика и результаты обоснования составов МТА для выполнения сельскохозяйственных работ // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 4. С. 152–157.
7. Никифоров М.В., Голубев В.В. Определение критерия качества предпосевной обработки почвы при использовании различных почвообрабатывающих машин // Вестник Московского государственного аграрного университета им. В.П. Горячкина. 2018. № 6 (88). С. 11–16.
8. Яковлев Н.С., Синещеков В.Е., Маркин В.В. Анализ систем зяблевой обработки почвы под зерновые культуры // Вестник НГИЭИ. 2021. № 4 (119). С. 5–20.
9. Яковлев Н.С., Назаров Н.Н. Техническое оснащение технологии возделывания зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47. № 3 (256). С. 68–75.

10. *Яковлев Н.С.* Оценка надежности посевных машин по показателю эффективности функционирования // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2011. № 5. С. 42–44.

REFERENCES

1. Selivanov N.I., Aver'yanov V.V. The structure of innovative tractor fleet in the agricultural sector of the Krasnoyarsk region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2021, no. 6, pp. 111–117. (In Russian).
2. Elizarov V.P., Beilis V.M. Principles of forming a federal system of technologies and machines for crop production. *Traktory i sel'skokhozyaistvennyye mashiny = Tractors and agricultural machinery*, 2005, no. 1, pp. 9–10. (In Russian).
3. Dokin B.D., Aletdinova A.A. Analysis of the past and future of crop automation with the development of precision farming technologies. *Vestnik APK Stavropol'ya = Agricultural Bulletin of Stavropol Region*, 2021, no. 1, pp. 10–14. (In Russian). DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-41-10-14.
4. Belyaev V.I., Sokolov V.V. Main directions of improvement of agricultural machinery of enterprises of Altai cluster of agrarian machine-building for implementation of saving technologies for crop production. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*,

- 2018, no. 7 (165), pp. 137–147. (In Russian).
5. Belyaev V.I. Modern machinery and information technology in farming in Altai Krai. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 8 (166), pp. 158–162. (In Russian).
6. Ushanov V.A. Methodology and results for justification of an MTU structure for agricultural work. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*, 2020, no. 4, pp. 152–157. (In Russian).
7. Nikiforov M.V., Golubev V.V. Determining quality criteria of pre-sowing soil tillage using different tillage machines. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.P. Goryachkina = Bulletin of the Goryachkin Moscow State Agroengineering University*, 2018, no. 6 (88), pp. 11–16. (In Russian).
8. Yakovlev N.S., Sineshchekov V.E., Markin V.V. Analysis of systems of autumn tillage for grain crops. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*, 2021, no. 4 (119), pp. 5–20. (In Russian).
9. Yakovlev N.S., Nazarov N.N. Technical equipment of techniques for grain crop cultivation. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2017, vol. 47, no. 3 (256), pp. 68–75. (In Russian).
10. Yakovlev N.S. Evaluation of sowing machines' reliability according to the operating efficiency index. *Traktory i sel'skokhozyaistvennyye mashiny = Tractors and agricultural machinery*, 2011, no. 5, pp. 42–44. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Яковлев Н.С.**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

Расомахин Г.К., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: rgk1959@yandex.ru

Чекусов М.С., кандидат технических наук, директор; e-mail: sibniish@bk.ru

Чернышов А.П., старший научный сотрудник; e-mail: chap_s@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolay S. Yakovlev**, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher, Laboratory Head; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

Genady K. Rasomahin, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; e-mail: rgk1959@yandex.ru

Maxim S. Chekusov, Candidate of Science in Engineering, Director; e-mail: sibniish@bk.ru

Alexander P. Chernyshov, Senior Researcher; e-mail: chap_s@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the 23.03.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 29.04.2022

Дата публикации / Published 25.07.2022