

Тип статьи: научная  
УДК 621.396  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-38-45

## МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА

*Геннадий Николаевич Поляков*<sup>1</sup>, *Станислав Николаевич Шуханов*<sup>2</sup>,  
*Анна Викторовна Косарева*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>1</sup>sxm1953@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>

<sup>2</sup>shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>3</sup>ankosar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>

Автор, ответственный за переписку: Станислав Николаевич Шуханов, Shuhanov56@mail.ru  
Corresponding author: Stanislav Shukhanov, Shuhanov56@mail.ru

**Реферат.** Подбор технических средств и технологий механизации сельскохозяйственных процессов имеет первостепенное значение для успешного функционирования аграрного сектора страны. Поскольку растениеводческое направление сельского хозяйства для Иркутской области имеет приоритетное значение, то плановое формирование парка комбайнов в регионе становится актуальной проблемой. Предложена методика по обоснованию выбора эффективных марок зерноуборочных комбайнов с использованием функции желательности Харрингтона по обобщенному показателю. Для обобщенной технико-экономической оценки использованы такие показатели как: затраты труда, затраты топлива, металлоемкость, удельные энергозатраты. Коэффициенты определяли по данным фотохронометражных наблюдений, данным машинно-испытательных станций, результатам эксперимента. Их значения имеют различную корреляцию с комбайнами одного и того же класса пропускной способности. По каждой марке зерноуборочных комбайнов одного и того же класса по пропускной способности, применяемых в области, производится расчет обобщенного показателя желательности. Для зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812 были определены коэффициенты технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания. Обобщенный показатель желательности комбайна Палесье GS812 составил 0,5188, что выше аналогичного показателя комбайна Вектор 410, следовательно Палесье GS812 является эффективным комбайном. Согласно критериям оценки показатель эффективности получил допустимый и достаточный уровень.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, факторы, функция предпочтения, подача, чистота зерна, дробление.

## METHOD FOR JUSTIFICATION OF A RATIONAL CORN HARVESTER USING THE HARRINGTON DESIRABILITY FUNCTION

*Gennady Polyakov*<sup>1</sup>, *Stanislav Shukhanov*<sup>2</sup>, *Anna Kosareva*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation

<sup>1</sup>sxm1953@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>

<sup>2</sup>shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>3</sup>ankosar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>

**Abstract.** The selection of technical means and technologies for the mechanization of agricultural processes is of paramount importance for the successful functioning of the country's agricultural sector. The presence of a wide variety of modern technology requires careful, scientifically based selection, adapted to regional conditions. The current state of technical service and other factors requires the

*development of a method for assessing and selecting a rational combine for various classes of throughput, taking into account many agrotechnical, operational and economic indicators. Since the crop production direction of agriculture is of priority importance for the Irkutsk region, the planned formation of a fleet of combine harvesters in the region becomes an urgent problem. A methodology is proposed for substantiating effective brands of combine harvesters using the Harrington desirability function based on a generalized indicator. coefficients are determined based on data from photographic observations, machine testing stations, and experimental results. The values of the coefficients have different correlations with combines of the same throughput class. They evaluate process and maintenance capabilities and process reliability. The value of the coefficients is influenced by the biological characteristics of grain crops cultivated in the region, the existing level of technical service, operator qualifications and other related design factors of harvesting machines. For each brand of grain harvester of the same throughput class used in the region, a generalized desirability indicator is calculated. The most effective combine in the class is the one that has the highest desirability index.*

**Keywords:** combine harvester, factors, preference function, feed, grain purity, crushing.

**Для цитирования:** Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В. Методика обоснования выбора рационального зерноуборочного комбайна с использованием функции желательности харрингтона // Наука в Центральной России. 2024. Т. 69, № 3. С. 38-45. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-38-45>.

**For citation:** Polyakov G., Shukhanov S., Kosareva A. Method for justification of a rational corn harvester using the Harrington desirability function. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 38-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-38-45>.

**Введение.** Развитие АПК Иркутской области коррелирует с его техническим, а также технологическим обеспечением. Особое внимание необходимо уделять процессам уборки зерновых культур, так как сельскохозяйственный сектор по оснащению зерноуборочными комбайнами отстает в 3,1 раза от норматива. Нагрузка на один комбайн составляет 500 га, сроки уборки растягиваются, что ведет к потерям зерна в поле. Плановые поставки зерноуборочных комбайнов не выполняются из-за введенных санкций против Российской Федерации. Это сопровождается ростом уровня старения уборочной техники, который достиг 70% [3, 10].

Логистика поставок комбайнов претерпевает существенные изменения. На рынок комбайнов выходят комбайностроительные заводы Китайской народной республики (фирмы LOVOL и др.), возможны поставки по параллельному импорту, цены уборочных машин возрастают, меняются дилеры по продажам машин из Беларуси, Ростсельмаш, фирмы Claas, Агромаш и других компаний.

Комбайны имеют различные технические и технологические возможности. В связи с этим основополагающим является выбор и обоснование моделей комбайнов, которые будут адаптированы к биологическим особенностям зерновых культур в условиях Прибайкалья. В статье предложена методика обоснования и выбора.

Эффективность уборки зерновых культур в Иркутской области предполагает формирование парка зерноуборочных комбайнов в условиях нестабильного обеспечения, многомарочного состава, роста цен, различных форм собственности. Состояние технического сервиса и других факторов требует разработки метода оценки и выбора рационального комбайна для различных классов по пропускной способности, с учетом многих агротехнических, эксплуатационных и экономических показателей. Плановое формирование парка комбайнов в регионе становится актуальной проблемой.

**Цель исследования.** Предложить методику по обоснованию выбора эффективных марок зерноуборочных комбайнов с использованием функции желательности Харрингтона по обобщенному показателю.

**Результаты и обсуждение.** Для обобщенной технико-экономической оценки технических систем применяются такие показатели как: затраты труда (чел·ч/га, чел·ч/т), в том числе затраты топлива(кг/га, кг/т), а также металлоемкость (кг/га, кг/т), кроме того, удельные энергозатраты (МДж/га, МДж/т). В ряде частных случаев, для общей оценки эффективности технологий, а также

технологических средств уборки используют затраты топлива на гектар или же единицу произведенной продукции. Нередко ряд факторов для оценки, в том числе выбора уборочных машин остаются без рассмотрения [3,4].

Все показатели работы зерноуборочных комбайнов имеют разную размерность и по-разному коррелируют с выбором эффективного варианта.

Для решения задачи, характеризующейся наличием многих зависимых разноразмерных переменных приемлимым является метод сведения всей информации к единому интегральному или же обобщенному показателю, значения которого варьируют от 0 до 1 и который в долях единицы демонстрирует реальную эффективность применения того или иного варианта комбайна для уборки зерновых [1,2].

Определение обобщенного показателя заключалось в том, что значения каждого фактора ( $X_{if}$ ) переводятся к соответствующей желательности ( $d_i$ ). После чего формируется обобщающий показатель желательности ( $D$ ), который равен среднегеометрической желательности:

$$D = \sqrt[\rho]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_\rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - количество изучаемых факторов

Величина  $D$  становится единственным показателем эффективности использования зерноуборочных комбайнов. Значение показателей эффективности ( $d_i$ ) колеблется от 0,20 до 1,00 и характеризуется следующими уровнями:

0-0,20 – недопустимый;

0,20-0,37 – приемлемый, но не очень желательный уровень;

0,37-0,60 – допустимый и достаточный;

0,60-0,80 – хороший уровень;

0,80-1,00 – отличный уровень;

1,00 - максимально возможный уровень эффективности, но часто неизвестен. Добиться его очень сложно.

Так как значения любого фактора  $X_{if}$  имеют различную размерность для перевода в соответствующую желательность  $d_i$  используется показательная функция [2]:

$$d = e^{-e^{-X}} \quad (2)$$

где  $x$  – некоторая безразмерная величина, связанная с фактором  $X_{if}$ .

Процесс вычисления показателей становится удобным, если функцию (2) записать в следующем виде:

$$d = e^{-e^{-(x-4)}} \quad (3)$$

Тогда график показательной функции принимает вид, рисунок 1.

Максимально возможного уровня достичь очень сложно, а худшего иметь нежелательно. При решении принимают наибольшее и наименьшее значение уровня желательности соответственно  $X_{imax}=d_{max}=0,80$ ,  $X_{imin}=d_{min}=0,20$ . После этого определяют координаты точек А и В на кривой

желательности. Для решения функции  $d = e^{-e^{-(x-4)}}$  желательности они соответствуют значениям:

$$y_A = d_{min} = 0,20;$$

$$X_A = 4 + [-\ln(-\ln 0,20)] = 3,53$$

Точка А имеет такие координаты А [3,53; 0,20].

Находим координаты точки В

$$y_B = d_{max} = 0,80;$$

$$X_B = 4 + [\ln(-\ln 0,80)] = 5,50$$

Значит, точка с координатами В [5,50; 0,80].

Для согласования имеющихся числовых факторов  $X_{i\phi}$  с числовыми значениями шкалы  $OX$  надо вычислить масштабный коэффициент. Его находят по зависимости:

$$M_{X_i} = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{X_B - X_A} \quad (4)$$

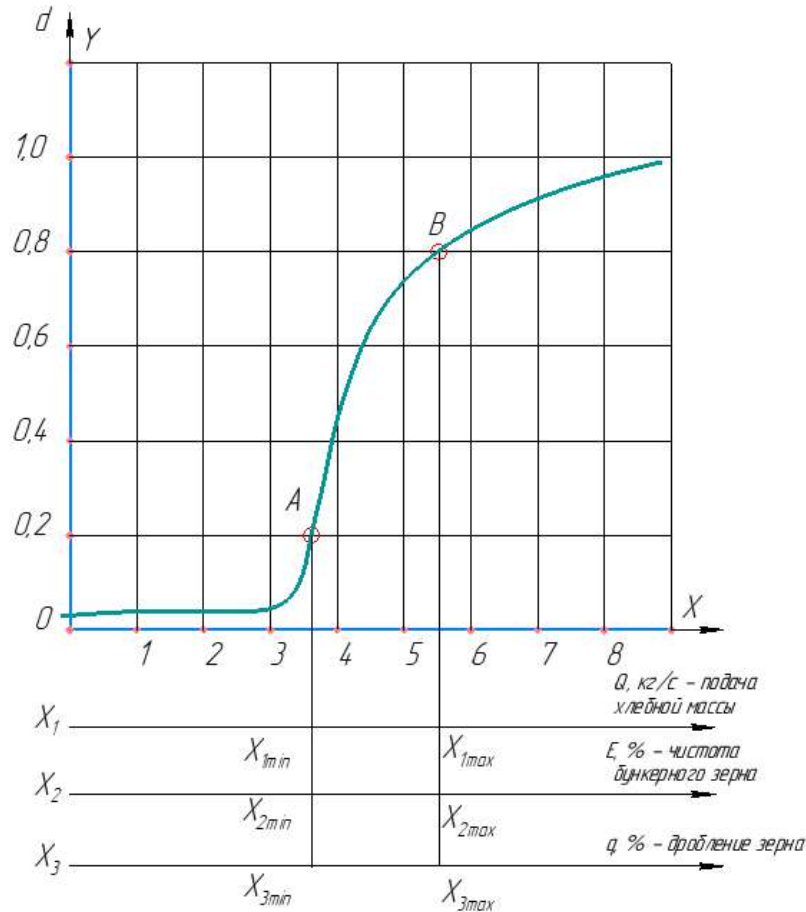


Рисунок 1 – График функции желательности  $d = e^{-e^{-(x-4)}}$

Значение коэффициента перевода  $M_{X_i}$  рассчитывается для каждого фактора отдельно. К примеру, для подачи хлебной массы  $X_{1\phi}=5,6\text{кг/с}$  при  $X_{1\min}=2\text{ кг/с}$  и  $X_{1\max}=8\text{ кг/с}$ . Масштабный коэффициент  $M_{X1}=3,04$ , а для чистоты зерна в бункере комбайна  $X_{2\phi}=94\%$  при  $X_{2\min}=89\%$  и  $X_{2\max}=98\%$ , масштабный коэффициент  $M_{X2}=4,56$ , а для уровня дробления зерна в бункере комбайна  $X_{3\phi}=3,5\%$  при  $X_{3\min}=0,5\%$  и  $X_{3\max}=5\%$ , масштабный коэффициент  $M_{X3}=2,281$ .

Согласование действительных значений факторов, у которых непосредственное увеличение численного значения улучшает итоговый результат, в частности, подача хлебной массы в молотильный аппарат, а также чистота зерна, с числовыми значениями шкалы  $OX$  осуществляется по выражению:

$$X_{1\text{подача}} = X_A + \frac{X_{1\phi} - X_{1\min}}{M_{X1}} \quad (5)$$

$$X_2^{\text{чистота}} = X_A + \frac{X_{2\Phi} - X_{2\min}}{M_{X2}} \quad (6)$$

А для факторов, у которых увеличение численного значения снижает результат, в частности, уровень дробления зерна, с числовыми значениями ОХ осуществляется по формуле:

$$X_3^{\text{дробление}} = X_B - \frac{X_{3\Phi} - X_{3\min}}{M_{X3}} \quad (7)$$

Полученные значения представлены в виде уравнений, а также определяются показателями желательности:

$$\begin{aligned} d_1 &= e^{-e^{-(4,7-4)}} = 0,6086 \approx 0,61 \\ d_2 &= e^{-e^{-(4,6-4)}} = 0,5776 \approx 0,58 \\ d_3 &= e^{-e^{-(4,2-4)}} = 0,4410 \approx 0,44 \end{aligned}$$

По выражению (1) находят обобщенный показатель желательности.

$$D = \sqrt{0,61 \cdot 0,58 \cdot 0,44} = 0,39$$

Работа зерноуборочных комбайнов оценивается эксплуатационными показателями, на величину которых влияет один из главных факторов – время (сроки посева).

Коэффициент технического обслуживания, который определяется

$$K_{Tex} = \frac{t_p}{t_p + t_{Tex}} \quad (8)$$

где  $K_{Tex}$  - значение коэффициента технологического обслуживания;

$t_p$  - значение времени чистой работы комбайна, ч;

$t_{Tex}$  - значение времени, затраченного на осуществление технологического обслуживания.

2. Значение коэффициента надежности технологического процесса, рассчитывается по выражению:

$$K_{TXH} = \frac{t_p}{t_p + t_{TXH}} \quad (9)$$

где  $t_{TXH}$  – значение времени, необходимого для устранения технологических неполадок, ч;

3. Значение коэффициента технического обслуживания определяется по зависимости:

$$K_{TO} = \frac{t_p}{t_p + t_{TO}} \quad (10)$$

где  $t_{TO}$  – значение времени технического обслуживания, ч.

Коэффициенты определяются по данным фотохронометражных наблюдений, данных машинно- испытательных станций, результатов эксперимента. Значение коэффициентов имеют различные значения для комбайнов одного и того же класса пропускной способности. По ним оценивается возможность проведения технологического и технического обслуживания и надежность технологического процесса. На величину коэффициентов оказывают влияние

биологические особенности зерновых культур, возделываемых в регионе, существующий уровень технического сервиса, квалификации операторов и другие, связанные с этим, конструктивные факторы уборочных машин. Показатели желательности по данным коэффициентам, определяются по выше приведенной методике.

Исследования проводились в хозяйственных условиях за комбайнами Вектор 410 и Палесье GS812, которые входят в один класс пропускной способности, конструктивно схожие между собой.

В таблице 1 приведены коэффициенты технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812, рассчитанные по данным фотохронометражных наблюдений, проведенным в УНПУ «Окское» Иркутского ГАУ по формулам 8,9,10. Указаны минимальные и максимальные значения коэффициентов, взятые из литературных источников и экспериментов, проведенных в благоприятных и тяжелых условиях уборки.

Таблица 1 – Значения коэффициентов технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812

№ п/п	Наименование коэффициента	Значение коэффициентов			
		Вектор 410	Палесье GS812	Максимальное значение	Минимальное значение
1.	Коэффициентов технологического обслуживания	0,85	0,79	1,00	0,60
2.	Коэффициент надежности технологического процесса	0,79	0,85	1,00	0,15
3.	Коэффициент технического обслуживания	0,81	0,86	0,90	0,70

Примечание: данные получены при прямом комбайнировании

Используя формулы 3,8,9 и 10 найдены значения показателей желательности и обобщенный показатель для каждой марки зерноуборочного комбайна, таблица 2

Таблица 2 – Значение показателей желательности

№ п/п	Марка зерноуборочного комбайна	Показатель желательности			Обобщенный показатель
		d <sub>tex</sub>	d <sub>тхн</sub>	d <sub>то</sub>	
1.	Вектор 410	0,6323	0,6973	0,5871	0,5088
2.	Палесье GS812	0,5115	0,7286	0,7240	0,5188

### Выводы.

1. Обоснована методика выбора рационального зерноуборочного комбайна с использованием функции желательности Харрингтона.

2. Обобщенный показатель желательности комбайна Палесье GS812 составил 0,5188 и он выше аналогичного показателя комбайна Вектор 410. Согласно критериям оценки показателя эффективности (di) получили допустимый и достаточный уровень. Эффективным комбайном в классе признается тот, который имеет наибольший показатель желательности.

### Список источников

1. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев, В. Г. Черников, И. В. Ущаповский, Р. А. Попов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 45-52. – [https://doi.org/ 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52).

2. Терновых К. С. Развитие инноваций в сельском хозяйстве: тенденции, перспективы / К. С. Терновых, В. В. Куренная, А. В. Агибалов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13, № 2(65). – С. 96-103. – [https://doi.org/ 10.17238/issn2071-2243.2020.2.96](https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96).
3. Анализ работы игл игольчатой бороны при их качении по почве / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев, Н. Н. Толстухко, В. В. Шевчук // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 25-29.
4. Мударисов С.Г. Повышение обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: автореф. дисс. ...докт. техн. наук: 05.20.01 / Мударисов Салават Гумерович. – Челябинск, 2007. – 40 с.
5. Абрамов И. Л. Исследование микрорельефа поверхности почвенного слоя и его влияние на силу сопротивления почвы обработке / И. Л. Абрамов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 87-90. – [https://doi.org/ 10.28983/asj.y2021i8pp87-90](https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp87-90).
6. Тишанинов И. А. Математическая модель оценки среза грунта с помощью фрактального анализа / И. А. Тишанинов, А. С. Свиридов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2021. – № 10. – С. 20-22. – [https://doi.org/ 10.26160/2309-8864-2021-10-20-22](https://doi.org/10.26160/2309-8864-2021-10-20-22).
7. Voss R., Fractals in nature: from characterization to simulation, in The Science of Fractal Images, H.O. Peitgen and D. Saupe, Editor, 1988, Springer-Verlag, New York, pp. 21-70.
8. Musgrave F.K., C.E. Kolb, and R.S. Mace, The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains, Computer Graphics, July, 1989, 23:3, pp. 41-50.
9. Снук Г. Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX9: Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2007. – 368 с.
10. Санжаров А.И. К вопросу использования ГИС-технологий для агроэкологической оценки земель в адаптивно-ландшафтных системах земледелия / А.И. Санжаров, Г.П. Глазунов, Ю.А. Соловьева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - №7. – С.24-32.
11. Самсонова В.П. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья /В.П. Самсонова, Ю.Л. Мешалкина // Вестник Московского Университета, сер. 17. Почвоведение. – 2014. - №3. – С. 36-44.
12. Абрамов И. Л. Исследование причин разрушения проволочного зуба вспушителя лент ленторесты / И. Л. Абрамов // Известия Великолукской ГСХА. – 2018. – № 3. – С. 51-55.

#### References

1. The main problems of scientific support of flax growing / R. A. Rostovtsev, V. G. Chernikov, I. V. Shchapovsky, R. A. Popov // Agricultural machines and technologies. - 2020. – Vol. 14, No. 3. – pp. 45-52. – [https://doi.org/ 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52).
2. Ternov K. S. Development of innovations in agriculture: trends, prospects / K. S. Ternov, V. V. Kurennaaya, A.V. Agibalov // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2020. – vol. 13, No. 2(65). – pp. 96-103. – [https://doi.org/ 10.17238/issn2071-2243.2020.2.96](https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96).
3. Analysis of the work of needle harrow needles during their rolling on the soil / G. A. Khailis, M. M. Kovalev, N. N. Tolstushko, V. V. Shevchuk // Tractors and agricultural machines. - 2014. – No. 5. – pp. 25-29.
4. Mudarisov S.G. Improvement of soil tillage by improving the working bodies of machines based on process modeling: the author's abstract. diss. ...doct. Technical sciences: 05.20.01 / Mudarisov Salavat Gumerovich. – Chelyabinsk, 2007. – 40 p.
5. Abramov I. L. Investigation of the microrelief of the surface of the soil layer and its effect on the strength of soil resistance to processing / I. L. Abramov // Agrarian Scientific journal. – 2021. – No. 8. – pp. 87-90. – [https://doi.org/ 10.28983/asj.y2021i8pp87-90](https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp87-90).
6. Tishaninov I. A. Mathematical model for estimating the soil section using fractal analysis / I. A. Tishaninov, A. S. Sviridov // Computer-aided design in mechanical engineering. – 2021. – No. 10. – pp. 20-22. – [https://doi.org/ 10.26160/2309-8864-2021-10-20-22](https://doi.org/10.26160/2309-8864-2021-10-20-22).
7. Voss R., Fractals in nature: from characterization to simulation, in The Science of Fractal Images, H.O. Peitgen and D. Saupe, Editor, 1988, Springer-Verlag, New York, pp. 21-70.

8. Musgrave F.K., C.E. Kolb, and R.S. Mace, The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains, Computer Graphics, July, 1989, 23:3, pp. 41-50.
9. Snuk G. Creating 3D landscapes in real time using C++ and DirectX9:  
Translated from English – М.: KUDITS-OBRAZ, 2007. – 368 p.
10. Sanzharov A.I. On the issue of using GIS technologies for agroecological assessment of lands in adaptive landscape farming systems / A.I. Sanzharov, G.P. Glazunov, Yu.A. Solovyova // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2019. - No.7. – pp.24-32.
11. Samsonova V.P. Assessment of the role of relief in the spatial variability of agrochemically important soil properties for intensively cultivated agricultural land / V.P. Samsonova, Yu.L. Meshalkina // Bulletin of the Moscow University, ser. 17. Soil science. - 2014. - No. 3. – pp. 36-44.
12. Abramov I. L. Investigation of the causes of destruction of the wire tooth of the flax belt fluffer / I. L. Abramov // Izvestiya Velikolukskaya GSHA. – 2018. – No. 3. – pp. 51-55.

#### **Информация об авторах**

Г.Н. Поляков - кандидат технических наук, доцент; С.Н. Шуханов – доктор технических наук, профессор; А.В. Косарева - кандидат технических наук, доцент.

#### **Information about the authors**

G.Polyakov - candidate of technical sciences, associate professor; S. Shukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Kosareva - candidate of technical sciences, associate professor.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

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

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2024

Принята к публикации (Accepted): 22.06.2024