

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 519.87:631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-46-51



## Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества

*Гайдар Сергей Михайлович, д-р техн. наук, профессор*

techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018

*Мирзаев Рустам Рахматэжонович, инженер*

avtokon56@yandex.ru

*Пикина Анна Михайловна* , канд. техн. наук, ассистент

pikina@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

*Балькова Татьяна Ивановна, канд. техн. наук, доцент*

balkova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6623-8113>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Оценка совокупности свойств качества сельскохозяйственной техники требует применения многокритериальных моделей оптимизации. Решение находится в области компромиссов, поскольку оцениваемый показатель одного из критериев не может варьироваться за счёт показателей оценки других критериев. Математическая модель определения эффективности объектов на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества сельскохозяйственной техники позволяет реализовать универсальный подход при решении задач с любым набором признаков и их разновидностей. При этом систематизации могут подвергаться не только сами решения, но и алгоритмы их поиска и выбора, включающие в себя процедуры описания условий (ситуаций). Предложено аналитическое определение коэффициентов по формуле, позволяющей исследовать информационные состояния по принципу снижения значимости приоритетов между признаками в матрице. По разработанной математической модели со случайным набором показателей приведен пример расчёта коэффициентов относительной важности для 4 исследуемых объектов по 4 признакам, представлены результаты перевода данных в относительные единицы и нормирования в «распознавателе». Результаты расчётов показывают, что разработанная математическая модель позволяет аналитически определить эффективность для любого количества исследуемых объектов по достаточно большому количеству признаков и объективно оценить их эффективность для отдельных «распознавателей» в системе оценки качества сельскохозяйственной техники для АПК.

**Ключевые слова:** математическая модель, сложная система, сельскохозяйственная техника, эффективность

**Формат цитирования:** Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И. Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 46-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-46-51>.

© Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

## Developing a mathematical model for determining the efficiency of agricultural machinery at separate levels of a multilevel quality assessment system

*Sergey M. Gaidar, DSc (Eng), Professor*

techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018

*Rustam R. Mirzaev, Engineer*

avtokon56@yandex.ru

*Anna M. Pikina* , PhD (technical sciences), Assistant Professor

pikina@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

*Tatiana I. Balkova, CSc (Eng), Associate Professor*

balkova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6623-8113>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

**Abstract.** The evaluation of a set of quality properties of agricultural machinery requires the application of multi-criteria optimisation models. A possible solution implies trade-offs, because the evaluated index of one

of the criteria cannot be varied at the expense of the evaluation indices of other criteria. The mathematical model for determining the efficiency of objects at individual levels of the multilevel system of agricultural machinery quality assessment implements a universal approach to solving problems with any set of attributes and their varieties. In this case, not only the solutions themselves, but also the algorithms of their search and selection, including procedures for describing conditions (situations), can be subject to systematisation. The authors propose an analytical definition of coefficients according to the formula used to study information states based on the principle of decreasing the importance of priorities between the attributes in the matrix. According to the developed mathematical model with a random set of indicators, the authors have calculated relative importance coefficients for four investigated objects by four attributes and presented the results of data conversion into relative units and normalisation in the “recogniser”. The calculation results show that the developed mathematical model makes it possible to analytically determine the efficiency for any number of investigated objects by a sufficiently large number of attributes and objectively assess their efficiency for individual “recognisers” in the system of quality assessment of agricultural machinery.

**Keywords:** mathematical model, complex system, agricultural machinery, efficiency

**For citation:** Gaidar S.M., Mirzaev R.R., Pikina A.M., Balkova T.I. Developing a mathematical model for determining the efficiency of agricultural machinery at separate levels of a multilevel quality assessment system. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(5):46-51. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-46-51>.

**Введение.** Анализ актуальных критериев качества эксплуатации сельскохозяйственной техники и регламентирующих её нормативно-технических документов показал, что каждый из них может быть представлен в виде комплексных показателей качества. Поэтому иерархическая структура системы сравнительной оценки может состоять из нескольких уровней показателей [1].

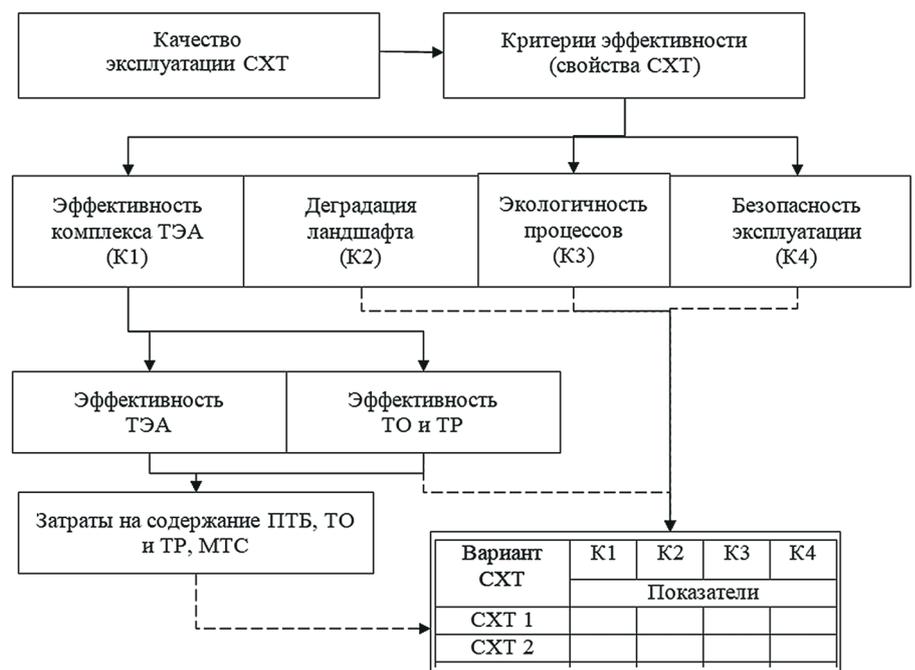
Общая схема структуры критериев с учётом актуального целеполагания требований к качеству техники, эксплуатирующейся в АПК, представлена на рисунке.

Верхний уровень системы сравнительной оценки представлен в таблице 1.

На втором уровне должно производиться формирование комплексных показателей по отдельным критериям качества эксплуатации [1]. Например, комплексный показатель свойства «Безопасность эксплуатации» должен содержать ряд единичных показателей, отражающих состояние, наличие или отсутствие отдельных систем, узлов или агрегатов в сельскохозяйственной технике.

Для объективной оценки совокупности свойств качества техники, экспортируемой в сельском хозяйстве РФ, требуется применение многокритериальных моделей оптимизации. Оцениваемые

показатели по одному из критериев не могут быть занижены или завышены за счёт показателей оценки по другим критериям. Поэтому получаемое решение всегда находится в области компромиссов, учитывающей весь спектр функциональных свойств [2-4].



**Рис. Схема общей структуры критериев качества с учётом актуального целеполагания сельскохозяйственной техники:**  
 СХТ – сельскохозяйственная техника; ТЭА – техническая эксплуатация автомобиля;  
 ТО – техническое обслуживание; ТР – технический ремонт;  
 ПТБ – производственно-техническая база; МТС – машинно-техническая станция;  
 K1, K2, K3, K4 – критерии качества сельскохозяйственной техники

**Fig. Diagram of the general structure of quality criteria taking into account the actual targeting of agricultural machinery:**

ТЭА – technical operation of the vehicle; ТО – technical maintenance;  
 ТР – technical repair; ПТБ – production and technical base;  
 МТС – machine and technical station; СХТ – agricultural machinery;  
 K1, K2, K3, K4 – quality criteria of agricultural machinery

Верхний уровень системы оценки качества эксплуатации сельскохозяйственной техники

Таблица 1

Table 1

Upper level of the system for assessing the quality of agricultural machinery operation

Вариант СХТ	Повышение эффективности комплекса ТЭА (К1)	Снижение деградации ландшафта (К2)	Повышение экологичности процессов (К3)	Повышение безопасности эксплуатации СХТ (К4)
	Комплексные показатели			
СХТ 1				
СХТ 2				
...				
СХТ (n)				

**Цель исследований:** разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследования выбрана сложная система, представляющая собой совокупность отдельных частей, которые функционируют в тесном взаимодействии и составляют единое целое. Примером сложной системы может служить сам автомобиль, а также процесс обслуживания и ремонта.

Для определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества использованы приемы математической статистики.

Исходной информацией для построения математической модели служили статистические данные, полученные в процессе эксплуатации автомобилей. В современной теории эксперимента такое моделирование называют пассивным экспериментом.

**Результаты и их обсуждение.** Занимая наибольший удельный вес в структуре грузоперевозок аграрного сектора, автомобильный транспорт представляет собой важнейший составной элемент в системе транспортного обслуживания агропромышленного комплекса (АПК) в РФ. В общих трудовых затратах в сельском хозяйстве на долю транспортных расходов приходится около 40%, что составляет до 14% от всех производственных затрат в АПК.

В настоящее время основными проблемами техники, эксплуатируемой в АПК, являются: высокая степень износа подвижного состава (более 80%); значительный по современным требованиям средний срок эксплуатации техники (превышает 12 лет); постоянный рост затрат на текущий ремонт и техническое обслуживание, и как следствие – увеличение числа отказов и простоев транспортных средств по техническим причинам.

Состояние качества эксплуатации техники является одной из причин невозможности обеспечения

реализации принятых перспективных направлений научно-технологического развития АПК Российской Федерации на период до 2030 года, которые должны гарантировать продовольственную безопасность России [5-6]. Современная тенденция роста производства объемов сельскохозяйственной продукции требует новых подходов при решении транспортных проблем АПК, способствующих повышению качества транспортного обслуживания его отраслей<sup>1</sup>.

Математическая модель определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества определяется формулами:

$$\left\{ \begin{aligned} D_i &= \sum_{j=1}^n a_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j &= 1, \quad 0 \leq c_j \leq 1, \quad c_j \geq c_{j+1}, \quad j = \overline{1, n-1} \end{aligned} \right.$$

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}} \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}} \end{cases};$$

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k. \end{cases}$$

Величина индекса k определяется условием

$$b_{kj} = \max_j b_{ij},$$

а эффективность объектов в системе оценки качества определяется следующим образом:

$$d_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} c_j;$$

$$E_s = D_f = \max_{1 \leq i \leq m} d_i.$$

Приведем пример расчёта по представленной математической модели со случайным набором показателей:

$$E_s = \begin{matrix} c_{11} 76547 & c_{11} 3659 & \dots & c_{11} 70 \\ c_{11} 58601 & c_{11} 500 & \dots & c_{11} 35 \\ c_{11} 58615 & c_{11} 120 & \dots & c_{11} 123 \\ c_{11} 39926 & c_{11} 1010 & \dots & c_{11} 37 \end{matrix}$$

Введем обозначения критериев: С1 – трудоёмкость технического обслуживания, чел.-ч; С2 – время простоя в текущем ремонте, дн/1000 км пробега; С3 – трудоёмкость текущего ремонта, чел.-ч/1000 км пробега; E<sub>s</sub> – эффективность объектов в системе оценки качества.

<sup>1</sup> Чернолуцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

Преобразуем исходные данные в относительные единицы с учётом целеполагания (табл. 2-4).

Далее производится расчёт по всем информационным состояниям на основе распределения приоритетов свойств – установленных критериев оценки качества эксплуатации сельскохозяйственной техники<sup>2</sup>:

1. Производится перестановка данных в матрице в соответствии с текущим вариантом приоритетов.

2. В каждой строке определяется максимум.

3. Для каждой строки определяется значение индекса (k), а соответственно – значения коэффициентов относительной важности.

4. Производится расчёт эффективности по каждому объекту (варианту решения).

Результаты расчёта коэффициентов относительной важности для всех информационных состояний в информационном пространстве принятия решений с учётом коэффициента весомости показателей ( $c_{ij}$ ) сведены в таблицу 5.

Таблица 2  
Формирование исходной матрицы – пример «распознавателя»

Table 2  
Formation of the initial matrix – an example of “recogniser”

C1	C2	C3	$E_s$
76547	3659	70	-
58601	500	35	-
58615	120	123	-
39926	1010	37	-
<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	Устанавливаем целеполагание

Таблица 3  
Перевод данных в относительные единицы в «распознавателе»

Table 3  
Conversion of data into relative units in the “recogniser”

C1	C2	C3	$E_s$
$39926/76547 = 0,5215$	$3659/3659 = 1$	$35/70 = 0,5$	-
$39926/58601 = 0,6813$	$500/3659 = 0,1366$	$35/35 = 1$	-
$39926/58615 = 0,6812$	$120/3659 = 0,0328$	$35/123 = 0,2845$	-
$39926/39926 = 1$	$1010/3659 = 0,2760$	$35/37 = 0,9459$	-
<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	
сумма = 2,884	сумма = 1,4454	сумма = 2,7304	

Таблица 4  
Результаты нормирования в «распознавателе»

Table 4  
Results of normalisation in the “recogniser”

C1	C2	C3	$E_s$
0,1808	0,6918	0,1831	-
0,2362	0,0945	0,3662	-
0,2361	0,0227	0,1042	-
0,3467	0,1910	0,3464	-

Информационное состояние

Таблица 5

Table 5

Information state

$C1 > C2 > C3$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	C1	C2	C3	$E_s$
	0,1808	0,6918 – <i>max</i>	0,1831	0,4363
	0,2362	0,0945	0,3662 – <i>max</i>	0,2321
	0,2361 – <i>max</i>	0,0227	0,1042	0,2361
	0,3467 – <i>max</i>	0,1910	0,3464	0,3467
				Ответ – 1
$C1 > C3 > C2$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	C1	C3	C2	$E_s$
	0,1808	0,1831	0,6918 – <i>max</i>	0,3515
	0,2362	0,3662 – <i>max</i>	0,0945	0,3012
	0,2361 – <i>max</i>	0,1042	0,0227	0,2361
	0,3467 – <i>max</i>	0,3464	0,1910	0,3467
				Ответ – 1
$C2 > C1 > C3$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$	C2	C1	C3	$E_s$
	0,6918 – <i>max</i>	0,1808	0,1831	0,6918
	0,0945	0,2362	0,3662 – <i>max</i>	0,2321
	0,0227	0,2361 – <i>max</i>	0,1042	0,1294
	0,1910	0,3467 – <i>max</i>	0,3464	0,2689
				Ответ – 1
$C2 > C3 > C1$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \end{pmatrix}$	C2	C3	C1	$E_s$
	0,6918 – <i>max</i>	0,1831	0,1808	0,6918
	0,0945	0,3662 – <i>max</i>	0,2362	0,2306
	0,0227	0,1042	0,2361 – <i>max</i>	0,1209
	0,1910	0,3464	0,3467 – <i>max</i>	0,2944
				Ответ – 1
$C3 > C2 > C1$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \end{pmatrix}$	C3	C2	C1	$E_s$
	0,1831	0,6918 – <i>max</i>	0,1808	0,4374
	0,3662 – <i>max</i>	0,0945	0,2362	0,3662
	0,1042	0,0227	0,2361 – <i>max</i>	0,1208
	0,3464	0,1910	0,3467 – <i>max</i>	0,2944
				Ответ – 1
$C3 > C1 > C2$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$	C3	C1	C2	$E_s$
	0,1831	0,1808	0,6918 – <i>max</i>	0,3515
	0,3662 – <i>max</i>	0,2362	0,0945	0,3662
	0,1042	0,2361 – <i>max</i>	0,0227	0,1702
	0,3464	0,3467 – <i>max</i>	0,1910	0,3467
				Ответ – 2

<sup>1</sup> Петровский А.Б. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 400 с.

Покажем предлагаемое аналитическое определение коэффициентов  $c_{ij}$ , позволяющих исследовать информационные состояния по принципу снижения значимости приоритетов между признаками и матрице:

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{1-\lambda}{k}, & \text{если } j \leq k \\ \frac{\lambda}{n-k}, & \text{если } k < j < n, \text{ где } 0 < \lambda < \frac{1}{n}, \\ \frac{1}{k}, & \text{если } j = n \end{cases}$$

где индекс  $k$  определяется из условия  $a_{kj} = \max_j a_{ij}$ .

Рассмотрим вариант определения коэффициентов относительной важности для 4 исследуемых объектов по 4 признакам. Для представления решения примем значение параметра  $\lambda = 0,2$  из условия  $0 < \lambda < 1/4$ . Опуская все процедуры решения для

одного информационного состояния, приведём результаты расчёта в таблицах 6-7.

Результаты расчёта коэффициентов относительной важности информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам:

$$c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,067 & 0,67 & 0,067 \\ 0,4 & 0,4 & 0,1 & 0,1 \\ 0,27 & 0,27 & 0,27 & 0,2 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \end{pmatrix}$$

В соответствии с представленными примерами расчёта можно утверждать, что разработанная математическая модель позволяет аналитически определять эффективность для любого количества исследуемых объектов по достаточно большому количеству признаков и объективно оценивать их эффективность для отдельных «распознавателей» в системе оценки качества сельскохозяйственной техники в АПК.

Последовательность расчёта информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам

Таблица 6

Procedure of the information state calculation for four investigated objects by four attributes

Table 6

$n$	$j_{\max}$	$k$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	Проверка
Объект 1	$j_{\max} = 1$	$k = 1$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\sum_1^n c_{ij} = 1$
Объект 2	$j_{\max} = 2$	$k = 2$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	
Объект 1	$j_{\max} = 3$	$k = 3$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	
Объект 1	$j_{\max} = 4$	$k = 4$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	

Таблица 7

Расчёт информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам

Table 7

Calculation of the information state for four investigated objects by four attributes

$n$	$j_{\max}$	$k$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	Проверка
Объект 1	$j_{\max} = 1$	$k = 1$	$\frac{1-0,2}{1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\sum_1^n c_{ij} = 1$
Объект 2	$j_{\max} = 2$	$k = 2$	$\frac{1-0,2}{2}$	$\frac{1-0,2}{2}$	$\frac{0,2}{4-2}$	$\frac{0,2}{4-2}$	
Объект 1	$j_{\max} = 3$	$k = 3$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{0,2}{4-3}$	
Объект 1	$j_{\max} = 4$	$k = 4$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	

**Выводы**

Разработанная математическая модель определения эффективности техники на отдельных уровнях

многоуровневой системы оценки качества реализует универсальность подхода к решению при любых частных наборах признаков и их разновидностей.

## Список использованных источников

1. Карелина М.Ю., Арифиллин И.В., Терентьев А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3-9. EDN: YTOMQN.
2. Зубина В.А., Годжаев Т.З. Сравнительный анализ методов решений оптимизационных задач для сельскохозяйственного машиностроения // Агроинженерия. 2023. Т 25, № 1. С. 11-16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-11-16>
3. Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Применение метода экспертных оценок при определении показателей технологических свойств тракторов CLAAS // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 1 (77). С. 30-34. EDN: XVDGKB.
4. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 291-294. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294>
5. Терентьев А.В., Евтюков С.С., Пирогов Я.Е. Аналитическая модель организации грузовых перевозок в сложной транспортной системе мегаполиса // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 1. С. 24-41. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-24-41>
6. Мирзаев Р.Р., Терентьев А.В. Методы оценки качества транспортных машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе // Чтения академика В.Н. Болгинского: Сборник. 2022. Ч. 2. С. 20-26. EDN: CFVVDKW.

## Вклад авторов

С.М. Гайдар – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, формулирование общих выводов  
 Р.Р. Мирзаев – формулирование общих выводов, анализ литературы, обработка результатов исследования  
 А.М. Пикина – обработка результатов исследования, подготовка рукописи  
 Т.И. Балькова – анализ литературы, обработка результатов исследования

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 23.06.2023; после рецензирования и доработки 02.10.2023, принята к публикации 04.10.2023

## References

1. Karelina M.Yu., Arifulin I.V., Terentyev A.V. Analytical determination of weight coefficients in the multi-criteria evaluation of the effectiveness of motor vehicles. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. 2018;1(52):3-9. (In Rus.)
2. Zubina V.A., Godzhaev T.Z. Comparative analysis of methods for solving optimization problems for agricultural engineering. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):11-16. (In Rus.)
3. Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Application of the method of expert assessments in determining the indicators of technological properties of CLAAS tractors. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*". 2017;1:30-34. (In Rus.)
4. Terentyev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.Yu. Methods of zoning as methods of motor transport processes' optimization. *Bulletin of Civil Engineers*. 2017;6(65):291-294. (In Rus.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294>
5. Terentyev A.V., Evtyukov S.S., Pirogov Ya.E. Analytical model of cargo transportation organization in a complex megalopolis transport system. *International Journal of Advanced Studies*. 2023;13(1):24-41. (In Rus.)
6. Mirzaev R.R., Terentyev A.V. Methods of assessing the quality of transport vehicles operated in the agroindustrial sector. In: *Readings of Academician V.N. Boltinsky*. 2022:20-26. (In Rus.)

## Authors' contribution

S.M. Gaidar – research supervision, research administration, general conclusions.  
 R.R. Mirzaev – general conclusions, literature review, data curation and formal analysis.  
 A.M. Pikina – data curation and formal analysis, draft preparation  
 T.I. Balkova – literature review, data curation and formal analysis

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 23.06.2023; revised 02.10.2023; accepted 04.10.2023