

УДК 629.33

DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_97

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

**Л.Н. Мазунова**ORCID: 0000-0003-3262-8348 e-mail: [matematixx@mail.ru](mailto:matematixx@mail.ru)Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***В.В. Беляков**ORCID: 0000-0003-0203-9403 e-mail: [nauka@nntu.ru](mailto:nauka@nntu.ru)Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***В.С. Макаров**ORCID: 0000-0002-4423-5042 e-mail: [makvl2010@gmail.com](mailto:makvl2010@gmail.com)Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***А.П. Мазунова**ORCID: 0000-0002-8875-2033 e-mail: [s20380497@itmm.unn.ru](mailto:s20380497@itmm.unn.ru)Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
*Нижний Новгород, Россия***Л.Н. Ерофеева**ORCID: 0000-0001-6535-1459 e-mail: [erofeevaln@mail.ru](mailto:erofeevaln@mail.ru)Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***М.Е. Бушуева**ORCID: 0000-0001-6535-1459 e-mail: [bme@nntu.ru](mailto:bme@nntu.ru)Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия*

На основе метода анализа иерархий предлагается построение методики, позволяющей получить количественные оценки качественных показателей транспортных средств. Не имея численного выражения, они достоверно описывают некоторые свойства объектов и имеют непосредственное влияние на его качество и конкурентоспособность, отражая технический уровень транспортного средства.

С помощью полученного алгоритма числовые показатели поставлены в соответствие основным типам двигателей, используемых на легковых автомобилях: бензиновому, дизельному, электродвигателю, гибридно-му. Продемонстрирована практическая значимость включения таких оценок в интегральный показатель подвижности транспортных средств.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность, подвижность по мобильности, оценка качества ТС, оценка согласованности, показатель подвижности, многокритериальная оптимизация, векторный критерий, весовые коэффициенты, метод анализа иерархий.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Мазунова, Л.Н. Преобразование качественных характеристик автотранспортных средств в количественные показатели с применением метода анализа иерархий / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, В.С. Макаров, А.П. Мазунова, Л.Н. Ерофеева, М.Е. Бушуева // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 1. С. 97-106. DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_97

## CONVERSION OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF TRANSPORT VEHICLES INTO QUANTITATIVE INDICES USING HIERARCHY ANALYSIS METHOD

**L.N. Mazunova**

ORCID: **0000-0003-3262-8348** e-mail: **matematixx@mail.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**V.V. Belyakov**

ORCID: **0000-0003-0203-9403** e-mail: **nauka@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**V.S. Makarov**

ORCID: **0000-0002-4423-5042** e-mail: **makvl2010@gmail.com**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**A.P. Mazunova**

ORCID: **0000-0002-8875-2033** e-mail: **s20380497@itmm.unn.ru**  
National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**L.N. Erofeeva**

ORCID: **0000-0001-6535-1459** e-mail: **erofeevaln@mail.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**M.E. Bushueva**

ORCID: **0000-0002-0071-2417** e-mail: **bme@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Based on hierarchy analysis method, it is proposed to compose a procedure allowing to obtain quantitative assessments for qualitative characteristics of transport vehicles. Without numerical expression, they accurately describe some properties of objects and has direct effect on quality and competitive power of a transport vehicle reflecting its engineering level. Using the resulted algorithm, the numerical characteristics are matched with basic types of engines used in light motor vehicles: gasoline, diesel, electric, hybrid. The practical significance of including such assessments into the integrated index of transport vehicle mobility is shown.

**Key words:** competitive power, movability, vehicle quality assessment, consistency assessment, mobility index, multi-criteria optimization, vector-valued criterion, weighting factors, hierarchy analysis method.

**FOR CITATION:** L.N. Mazunova, V.V. Belyakov, V.S. Makarov, A.P. Mazunova, L.N. Erofeeva, M.E. Bushueva. Conversion of qualitative characteristics of transport vehicles into quantitative indices using hierarchy analysis method. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 1. Pp. 97-106. DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_97

### Введение

Некоторые характеристики, например, тип энергетической установки, тормозной системы, сцепления, КПП, РКПП и т.д., часто не имеют численного выражения и не могут быть учтены при оценке подвижности автотранспортного средства. Перевод качественных характеристик в количественные в некоторых случаях возможен посредством метода анализа иерархий. Включение же нечисловых критериев в интегральный показатель позволило бы расширить номенклатуру учитываемых характеристик и, тем самым, уточнить полученные ранее показатели подвижности [1-7].

В основе алгоритма лежит метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Т. Саати в 1972 г. В настоящее время метод представляет собой неотъемлемую часть теории принятия решений при рассмотрении многокритериальных задач для получения весовых коэффициентов критериев [8]. Универсальность метода позволяет также успешно и вполне обоснованно использовать его для преобразования качественных характеристик в количественные, т.е. однородным критериям или альтернативам ставить в соответствии числовые значения. Это позволит решить актуальную на сегодняшний день проблему включения в интегральный показатель подвижности эстетических и эргономических локальных показателей.

### Теоретическая основа методики

Метод анализа иерархий основывается на разложении конечной цели на более простые составляющие – критерии. Первым этапом таких задач является изображение структуры проблемы в виде иерархической схемы, где каждый элемент данного уровня связан со всеми элементами последующего уровня.

В идеальном варианте сравнения имеется набор из  $n$  альтернатив:  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Каждой альтернативе можно поставить в соответствие его вес  $w_k, k = \overline{1, n}$ , которые удовлетворяют условию нормировки  $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ .

Матрица, состоящая из отношений веса  $i$ -ой альтернативы  $A_i$  к весу  $j$ -ой альтернативы  $A_j$ , называется матрицей относительных весов

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix}, \tag{1}$$

где каждый элемент матрицы  $A$  представим как  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j = \overline{1, n}$ , а матрица  $A$  имеет следующие свойства:

- 1)  $a_{ij} > 0, \quad a_{ii} = 1, \quad \forall i, j = \overline{1, n}$ ;
- 2) является обратно симметричной, т.е.  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad \forall i, j = \overline{1, n}$ ;
- 3) совместна, т.е.  $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$ ;

4) имеет два собственных значения  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = n$ . Собственный вектор  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  соответствует собственному значению  $\lambda_{\max} = \max\{0, n\} = n$ , т.е.  $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$ .

Элементы матрицы  $A$  назначаются экспертным образом по результатам попарного сравнения объектов. Элемент  $a_{ij}$  показывает, во сколько раз вес альтернативы  $A_i$  превосходит вес альтернативы  $A_j$ . Для численной оценки превосходства можно использовать шкалу относительной важности (табл. 1).

**Таблица 1.**  
**Шкала относительной важности**  
**Table 1.**  
**Relative importance scale**

$a_{ij}$	Пояснения
1	Равная важность сравниваемых элементов иерархии. Оба сравниваемых элемента имеют <i>одинаковую</i> значимость для элемента более высокого уровня
3	Умеренное превосходство $i$ -го элемента иерархии над $j$ -ым. Предшествующий опыт и оценка говорят <i>о немного большей</i> значимости одного элемента по сравнению с другим
5	Существенное или сильное превосходство $i$ -го элемента иерархии над $j$ -ым. Предшествующий опыт и оценка говорят <i>о более высокой</i> значимости одного элемента по сравнению с другим
7	Значительное превосходство $i$ -го элемента иерархии над $j$ -ым. Предшествующий опыт и оценка говорят <i>об очень высокой</i> значимости одного элемента по сравнению с другим
9	Очень значительное превосходство $i$ -го элемента иерархии над $j$ -ым. Предшествующий опыт и оценка говорят <i>о максимально возможном различии</i> между двумя элементами
2, 4, 6, 8	Промежуточные степени превосходства. Значения попадают в интервал между определенными выше баллами значимости

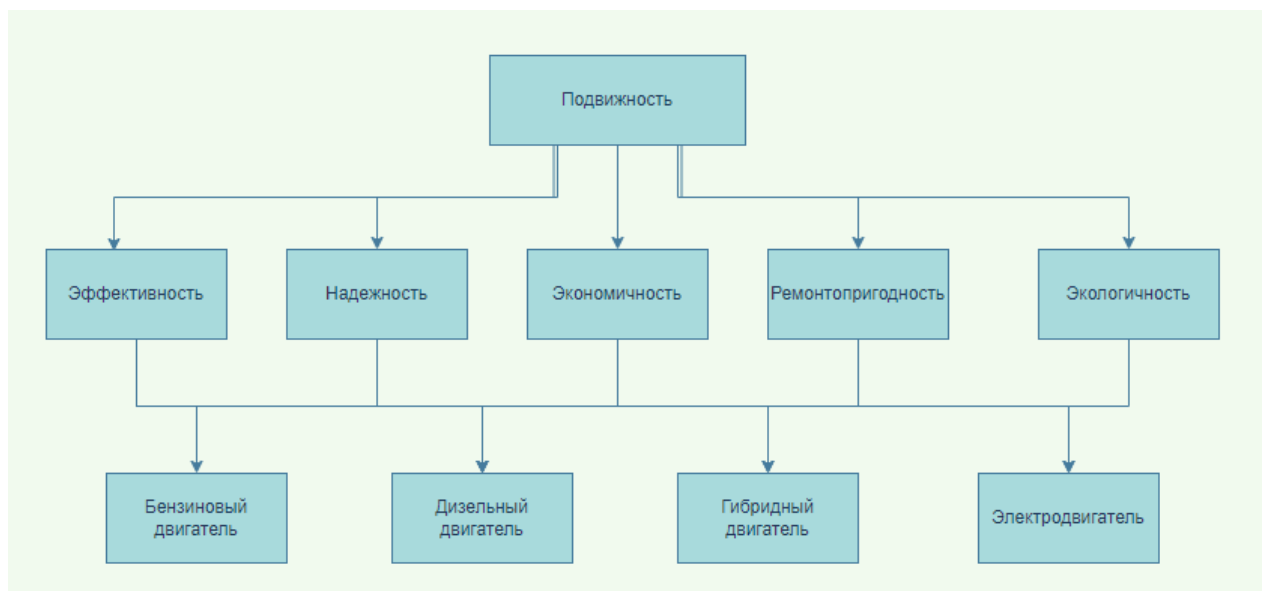
Для оценки «степени невыполнения» свойства совместности матрицы парных сравнений или степени отклонения от согласованности, Т. Саати ввел так называемый *индекс согласованности*. Матрица парных сравнений  $A$  строится на основании экспертных суждений и зачастую содержит избыточную информацию, следовательно, не является совместной и  $\lambda_{\max} > n$ . Несовместности матрицы можно избежать, если при ее формировании использовать экспертную оценку не обо всех  $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$  элементах, стоящих над главной диагональю, а лишь об  $(n-1)$  элементах, например, стоящих в первой строке.

Иными словами, из рассматриваемого ряда сравниваемых альтернатив выделяют одну «эталонную», с которой удобно сравнивать остальные  $(n-1)$  альтернативы. Ее ставят на первое место в ряду  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , полагая, что  $a_{11} = 1$ . Затем эксперт оценивает степень превосходства первого объекта над вторым, получая тем самым элемент матрицы  $a_{12}$ , потом первый объект сравнивается с третьим, т.е. эксперт назначает элемент  $a_{13}$  – степень превосходства первого объекта над третьим, и т.д. Таким образом выстраивается первая строка матрицы  $A$ . Остальные строки однозначно вычисляются с учетом свойств является итоговой оценкой альтернативы.

### Применение метода анализа иерархий для получения численной оценки качественных характеристик типа двигателя

Рассмотрим различные типы двигателей: бензиновый, дизельный, электрический, гибридный. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки при эксплуатации. Дадим количественную оценку каждой из альтернатив, оценив влияние характеристик типа двига-

теля на подвижность транспортных средств по показателям эффективности (КПД), надежности (стойкости к поломкам), экономичности (расход топлива, содержание), ремонтпригодности (возможность ремонта в случае поломки), экологичности (степень загрязнения окружающей среды). На верхнем уровне иерархической структуры (рис. 1) находится подвижность легкового автомобиля – цель. Ниже уровнем находятся 5 критериев, по которым оцениваются преимущества того или иного двигателя: эффективность, надежность, экономичность, ремонтпригодность, экологичность. В основании иерархии лежат 4 альтернативы – типы двигателей.



**Рис. 1. Иерархическая схема для определения количественных характеристик типов двигателя**

**Fig. 1. Hierarchical scheme for determination of quantitative characteristics by engine type**

На основе шкалы относительной важности (табл. 1) по критериям «Эффективность» ( $K_1$ ), «Надежность» ( $K_2$ ), «Экономичность» ( $K_3$ ), «Ремонтпригодность» ( $K_4$ ), «Экологичность» ( $K_5$ ) строится матрица парных сравнений альтернатив  $A_i, i = \overline{1, 4}$  упрощенным методом, где альтернатива  $A_1$  – «Бензиновый двигатель»,  $A_2$  – «Дизельный двигатель»,  $A_3$  – «Гибридный двигатель»,  $A_4$  – «Электродвигатель» (табл. 2-6).

**Таблица 2. Оценка важности альтернатив по критерию  $K_1$**

**Table 2. Assessment of importance of alternatives by  $K_1$  criterion**

Альтернатива	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты альтернатив
$A_1$	1,00	0,33	0,33	0,50	0,4855	0,1111
$A_2$	3,00	1,00	1,00	1,50	1,4565	0,3333
$A_3$	3,00	1,00	1,00	1,50	1,4565	0,3333
$A_4$	2,00	0,67	0,67	1,00	0,9710	0,2222

В качестве базы сравнения рассматривается альтернатива  $A_1$ , и по каждому критерию заполняется первая строка матрицы элементами вида  $a_{1j} = \frac{w_1}{w_j}$ ,  $j = 2, 3, 4$ . Остальные элементы вычисляются из условий обратной симметричности и совместности матрицы. При данном способе построения результаты рассуждений будут заведомо согласованы. Преимуществами такого упрощенного метода анализа иерархий являются сокращение числа экспертных оценок и, следовательно, отсутствие необходимости проверки согласованности суждений.

**Таблица 3.**  
**Оценка важности альтернатив по критерию  $K_2$**

**Table 3.**  
**Assessment of importance of alternatives by  $K_2$  criterion**

Альтернатива	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты альтернатив
$A_1$	1,00	0,33	5,00	7,00	1,8481	0,2303
$A_2$	3,00	1,00	15,00	21,00	5,5444	0,6908
$A_3$	0,20	0,07	1,00	1,40	0,3696	0,0461
$A_4$	0,14	0,05	0,71	1,00	0,2640	0,0329

**Таблица 4.**  
**Оценка важности альтернатив по критерию  $K_3$**

**Table 4.**  
**Assessment of importance of alternatives by  $K_3$  criterion**

Альтернатива	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты альтернатив
$A_1$	1,00	0,20	0,14	0,33	0,3124	0,0625
$A_2$	5,00	1,00	0,71	1,67	1,5620	0,3125
$A_3$	7,00	1,40	1,00	2,33	2,1868	0,4375
$A_4$	3,00	0,60	0,43	1,00	0,9372	0,1875

**Таблица 5.**  
**Оценка важности альтернатив по критерию  $K_4$**

**Table 5.**  
**Assessment of importance of alternatives by  $K_4$  criterion**

Альтернатива	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты альтернатив
$A_1$	1,00	3,00	8,00	9,00	3,8337	0,6372
$A_2$	0,33	1,00	2,67	3,00	1,2779	0,2124
$A_3$	0,13	0,38	1,00	1,13	0,4792	0,0796
$A_4$	0,11	0,33	0,89	1,00	0,4260	0,0708

**Таблица 6.**  
Оценка важности альтернатив по критерию  $K_5$

**Table 6.**  
Assessment of importance of alternatives by  $K_5$  criterion

Альтернатива	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты альтернатив
$I$	2	3	4	5	6	7
$A_1$	1,00	0,33	0,25	0,14	0,3303	0,0667
$A_2$	3,00	1,00	0,75	0,43	0,9909	0,2000
$A_3$	4,00	1,33	1,00	0,57	1,3213	0,2667
$A_4$	7,00	2,33	1,75	1,00	2,3122	0,4667

Матрица парных сравнений критериев также строится по упрощенной схеме сравнения (табл. 7).

**Таблица 7.**  
Оценка важности критериев

**Table 7.**  
Assessment of importance of criteria

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты критериев
$K_1$	1,00	0,50	0,25	0,33	3,00	0,6598	0,0968
$K_2$	2,00	1,00	0,50	0,67	6,00	1,3195	0,1935
$K_3$	4,00	2,00	1,00	1,33	12,00	2,6390	0,3871
$K_4$	3,00	1,50	0,75	1,00	9,00	1,9793	0,2903
$K_5$	0,333	0,167	0,083	0,111	1	0,2199	0,0323

На основе мультипликативной свертки критериев вычисляется вектор глобальных приоритетов (табл. 8).

**Таблица 8.**  
Вычисление глобальных приоритетов альтернатив

**Table 8.**  
Calculation of global priorities for alternatives

Альтернативы	Локальные приоритеты альтернатив по критериям					Глобальные приоритеты альтернатив
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
$A_1$	0,1111	0,2303	0,0625	0,6372	0,0667	0,267
$A_2$	0,3333	0,6908	0,3125	0,2124	0,2000	0,356
$A_3$	0,3333	0,0461	0,4375	0,0796	0,2667	0,242
$A_4$	0,2222	0,0329	0,1875	0,0708	0,4667	0,136
Локальные приоритеты критериев	0,0968	0,1935	0,3871	0,2903	0,0323	

Таким образом, получены численные оценки качественных показателей типов двигателя. Суммарные оценки по рассматриваемым критериям для бензинового двигателя составляют 0,267, для дизельного – 0,356, для гибридного – 0,242, для электродвигателя – 0,136. Отметим, что эти значения будут соответствовать двигателям легковых автомобилей, поскольку оценивание влияния характеристик каждого типа энергетической установки на подвижность производилось применительно к парку легковых автомобилей.

### Вычисление интегрального показателя подвижности с учетом типа энергетической установки

В систему критериев, определяющих интегральный показатель подвижности [9-12], помимо количественных эмпирических характеристик, можно также ввести качественные оценки, которым предварительно были присвоены количественные выражения. В ходе дальнейших исследований в области разработки методики вычисления показателя подвижности [13-14] были пересмотрены ранее полученные результаты. С учетом новой характеристики были вычислены интегральные показатели подвижности для нескольких групп легковых автомобилей, имеющих разный тип двигателей. Таким образом, к набору характеризующих транспортное средство локальных критериев, объединенных в группы, у которых имеется свой весовой коэффициент, был добавлен еще один числовой критерий.

Результаты вычислений представлены графически (рис. 2).

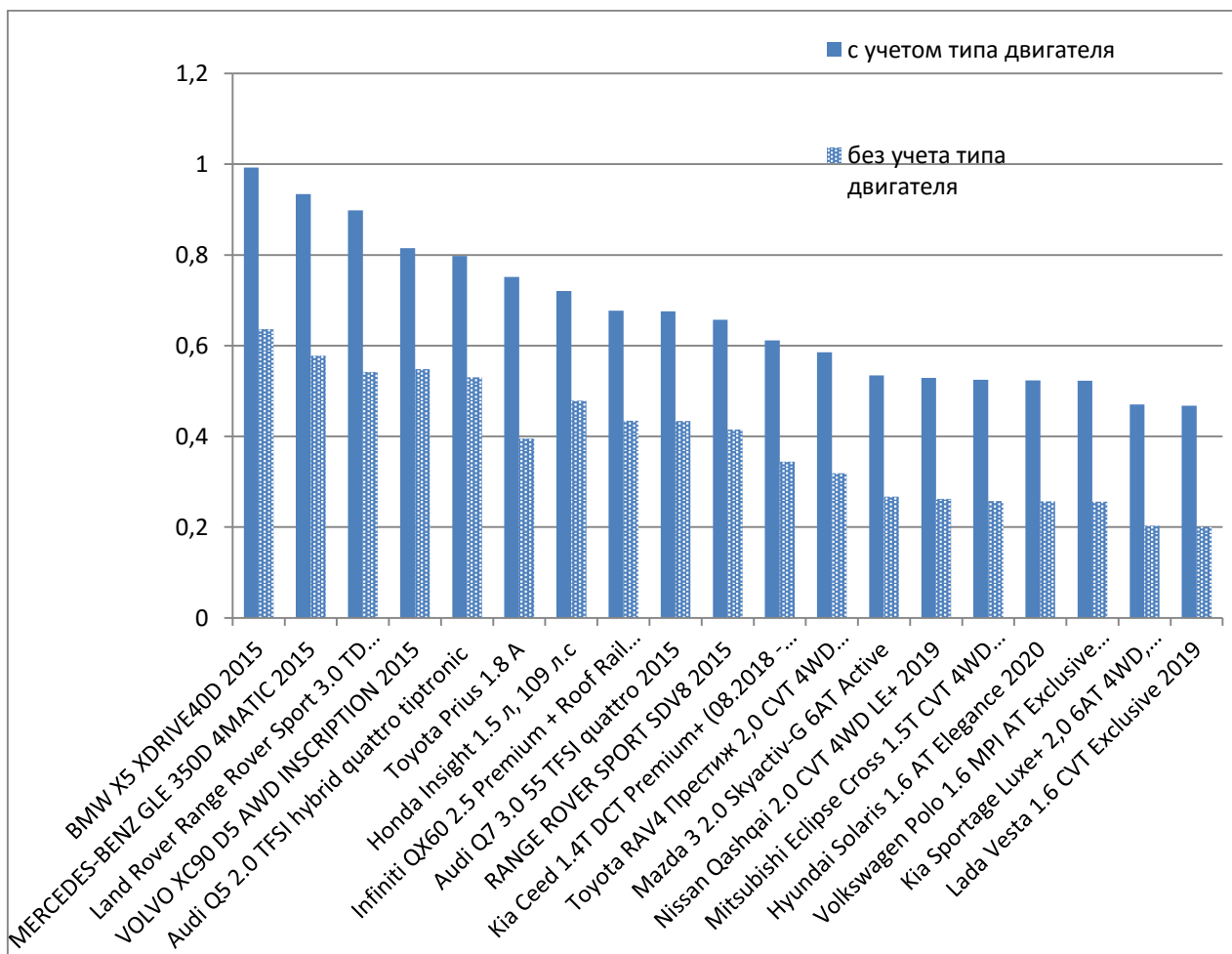


Рис. 2. Распределение ТС по интегральному показателю подвижности, вычисленному двумя способами

Fig. 2. Classification of vehicles by integrated mobility index calculated using two methods



Включение типа энергетической установки в обобщенный показатель подвижности вызывает его неравномерное увеличение, т.е. служит точкой бифуркации оценки качества ТС. Рейтинговые значения по показателю  $F_1$ , вычисленному без учета типа двигателя, и по показателю  $F_2$ , включающему в себя количественную оценку типа двигателя приведены в табл. 9.

**Таблица 9.**  
**Сравнение показателей подвижности по группам ТС**

**Table 9.**  
**Comparison of mobility indices by vehicle groups**

Тип двигателя		Модель ТС	Без учета типа двигателя		С учетом типа двигателя	
качественная оценка	количественная оценка		$F_1$	ранжирование	$F_2$	ранжирование
дизельный	0,356	BMW X5 XDRIVE40D	0,637	1	0,993	1
		MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC	0,578	2	0,934	2
		Land Rover Range Rover Sport 3.0 TD	0,542	4	0,898	3
		VOLVO XC90 D5 AWD	0,395	10	0,751	6
гибридный	0,242	Audi Q5 2.0 TFSI hybrid quattro tiptronic	0,479	6	0,721	7
		Toyota Prius 1.8 A	0,435	7	0,677	8
		Honda Insight 1.5 л	0,434	8	0,676	9
		Infiniti QX60 2.5 Premium	0,415	9	0,657	10
бензиновый	0,267	Audi Q7 3.0 55 TFSI quattro	0,548	3	0,815	4
		RANGE ROVER SPORT SDV8	0,531	5	0,798	5
		Kia Ceed 1.4T DCT Premium	0,344	11	0,611	11
		Toyota RAV4 Престиж 2,0 CVT 4WD	0,319	12	0,586	12
		Mazda 3 2.0 Skyactiv-G 6AT Active	0,267	13	0,534	13
		Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+	0,262	14	0,529	14
		Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD	0,258	15	0,525	15
		Hyundai Solaris 1.6 AT Elegance	0,257	16	0,524	16
		Volkswagen Polo 1.6 MPI AT Exclusive	0,256	17	0,523	17
		Kia Sportage Luxe+ 2,0 6AT 4WD	0,203	19	0,470	18
Lada Vesta 1.6 CVT Exclusive	0,200	18	0,467	19		

Заметим, что порядок ранжирования изменился у автомобилей, входящих в первую десятку, а ТС с низкой оценкой подвижности в упорядоченном ряду остались на месте. Кроме того, рокировке подверглись автомобили, оснащенные дизельным или гибридным двигателем, что свидетельствует о недооцененном влиянии типа двигателя в интегральном показателе подвижности, вычисленном без учета качественных характеристик.

### Выводы

Метод анализа иерархий достаточно логичен и прост в применении. Его основное предназначение заключается в получении весовых коэффициентов критериев при решении задач многокритериальной оптимизации. Универсальность метода позволяет расширить гра-

ницы его применения. Представленная методика может использоваться для получения числовых выражений различных качественных характеристик автомобилей, что позволит включать в оценку подвижности ТТМ дополнительные показатели качества. Сравнительный анализ показал, что количественная оценка типа энергетической установки является весьма важным уточняющим критерием, способным изменить порядок ранжирования ТС, имеющих сравнительно большие значения интегрального показателя подвижности.

### Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Е.Ю. Голышев // НГТУ, Н. Новгород, 2002. Деп. в ВИНТИ 10.01.02. №28-В 2002.
2. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Проблемы качества и эксплуатации автотракторных средств: материалы II международной научно-технической конференции (21-23 мая 2002 г.). – Пенза: ПГАСА, 2002. Ч. 1. С. 23-31.
3. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, Е.Ю. Голышев / Колесные машины. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. С. 29-30.
4. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы. 2003. Т. 5 С. 3-25.
5. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических систем // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции. – Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2000. С. 339-357.
6. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3 (100). С. 145-174.
7. **Беляков, В.В.** Решение задачи оценки подвижности автотракторной техники с помощью многокритериальной оптимизации / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов // «Информационные системы и технологии» (ИСТ-2001): тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции посвященной 65-летию факультета информационных систем и технологий НГТУ Н. Новгород, 20 апреля 2001 г. – Н. Новгород: НГТУ, 2001. С. 167-168.
8. **Саати, Т.** Принятие решения. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
9. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем: учеб. пособие / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. – 271 с.
10. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оценка подвижности автотракторной техники / В.В. Беляков // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001: тр. международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 г. – СПб.: СПбГТУ. 2001. С. 95-99.
11. **Беляков, В.В.** Четыре многокритериальных задачи для оценки подвижности автотракторной техники / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов // Системы обработки информации и управления: межвуз. сб. науч. тр. – Н. Новгород: Изд-во НГТУ. 2001. Вып. 8. С. 106-113.
12. **Мазунова, Л.Н.** Методика вычисления интегрального показателя подвижности колесных вездеходов на основе метода многокритериальной оптимизации / Л.Н. Мазунова [и др.] // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 3. С. 211-222.
13. **Мазунова, Л.Н.** Разработка методики вычисления показателя подвижности по мобильности легковых автомобилей, основанной на применении многокритериальной оптимизации / Л.Н. Мазунова [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2(133). С. 102-112.
14. **Мазунова, Л.Н.** Сравнительный анализ методов многокритериальной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимости характеристик / Л.Н. Мазунова [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1(136). С. 125-136.

*Дата поступления  
в редакцию: 10.01.2023*

*Дата принятия  
к публикации: 03.03.2023*