

УДК 629.36

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_125

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ПОДВИЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ВЕСОВОЙ ЗНАЧИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК

Л.Н. Мазунова

ORCID: 0000-0003-3262-8348 e-mail: 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

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

В.С. Макаров

ORCID: 0000-0002-4423-5042 e-mail: makvl2010@gmail.com

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

М.Е. Бушуева

ORCID: 0000-0002-0071-2417 e-mail: bme@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Л.Н. Ерофеева

ORCID: 0000-0001-6535-1459 e-mail: erofeevaln@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

А.А. Аникин

ORCID: 0000-0003-0368-4199 e-mail: anikin.zvm@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

В.Н. Наумов

ORCID: 0000-0001-5172-0364 e-mail: vn.naumov1941@yandex.ru

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Россия

Поставлена задача определения показателя качества транспортных средств, представляющего собой обобщенный критерий, отражающий конструкционные и эксплуатационные характеристики изделия. На основании двух методик проведена комплексная количественная оценка, интегрируемая из определенных эмпирических показателей, совокупность которых в полной мере описывает технический уровень транспортного средства. В основе данных методик лежит метод многокритериальной оптимизации. В качестве эмпирических критериев рассматриваются технические характеристики автомобилей, влияющие на мощность, динамичность, маневренность, проходимость, а также экономические параметры. В первом случае интегральный критерий состоит из равновесных частных критериев. Во втором методе эмпирические критерии агрегируются в пять групп, каждая из которых дает вклад в общую оценку с определенным коэффициентом весомости. При расчете вектора весовых коэффициентов был использован метод анализа иерархий, эффективность которого была неоднократно подтверждена при решении задач оценки объектов в различных отраслях, и широко применяемая

на практике формула Фишберна. Наилучшее приближение расчетных показателей к экспертным оценкам позволяет получить методика оценки, основанная на многокритериальной оптимизации с применением весовых коэффициентов для групп показателей.

Ключевые слова: подвижность по мобильности, оценка качества транспортного средства, экспертная оценка, оценка согласованности, показатель подвижности, многокритериальная оптимизация, векторный критерий, весовые коэффициенты, метод анализа иерархий, формула Фишберна.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазунова, Л.Н. Сравнительный анализ методов многокритериальной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимости характеристик / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, В.С. Макаров, М.Е. Бушуева, Л.Н. Ерофеева, А.А. Аникин, В.Н. Наумов // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2022. №1. 125-136. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_125

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF COMPETITIVENESS AND MOBILITY OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT, TAKING INTO ACCOUNT THE WEIGHT SIGNIFICANCE OF CHARACTERISTICS

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

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

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

A.A. Anikin

ORCID: **0000-0003-0368-4199** e-mail: **anikin.zvm@mail.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

V.N. Naumov

ORCID: **0000-0001-5172-0364** e-mail: **vn.naumov1941@yandex.ru**
Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russia

Abstract. The task of determination of the quality indicator of vehicles which is a generalized criterion reflecting the structural and operational characteristics of the product, is set. Based on two methods, a comprehensive quantitative assessment was carried out, integrated from certain empirical indicators, the totality of which fully describes the vehicle technical level. These techniques are based on the multi-criteria optimization method. As empirical criteria, the technical characteristics of vehicles that affect power, dynamism, maneuverability, cross-country ability, as well as economic parameters, are considered. In the first case, the integral criterion consists of equilibrium partial criteria. In the second method, empirical criteria are aggregated into five groups, each of which contributes to the overall assessment with a certain weighting coefficient. When calculating the vector of weighting coefficients, the hierarchy analysis method was used, the effectiveness of which was repeatedly confirmed when solving problems of evaluating objects in various industries, and the Fishburne formula widely used in practice. The best approximation of calculated indicators to expert assessments allows to obtain an evaluation methodology based on multi-criteria optimization using weighting coefficients for groups of indicators.

Key words: mobility by mobility, vehicle quality assessment, expert assessment, consistency assessment, mobility indicator, multi-criteria optimization, vector criterion, weighting coefficients, hierarchy analysis method, Fishburne formula.

FOR CITATION: L.N. Mazunova, V.V. Belyakov, V.S. Makarov, M.E. Bushueva, L.N. Erofeeva, A.A. Anikin, V.N. Naumov. Comparative analysis of methods of multi-criteria assessment of competitiveness and mobility of automotive equipment, taking into account the weight significance of characteristics. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. №1. С. 125-136. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_125

Введение

Оценка уровня продукции автомобилестроения является одной из главных задач управления конкурентоспособностью в отрасли; мерой ее уровня количественная оценка изделия. В свою очередь, оценка является показателем, отражающим существование и степень проявления того или иного свойства объекта. Благодаря им можно осуществить анализ, определить тенденции, изучить особенности того или иного явления. Чем точнее оценка, тем более вероятно правильное управленческое решение. Наиболее целесообразно рассматривать комплексную оценку, интегрируемую из определенных показателей, которые характеризуют ее относительную определенность, законченность, количественное выражение. Конструктивные особенности современных автомобилей, разнообразие их эксплуатационных свойств, различная степень приспособленности к режимам эксплуатации и разнообразие требований, предъявляемых потребителями, значительно усложняют задачу получения комплексного показателя. В настоящее время существуют и применяются различные методы оценки качества продукции, однако они не охватывают всех проблем данной области знаний. Зачастую не учитывают особенности конструкции и оценивают транспортное средство по показателям ликвидности его производства. Существуют отдельные критерии по некоторым эксплуатационным и нормативно техническим показателям. Очевидна потребность в разработке методики вычисления показателя качества, включающего в себя весь комплекс характеристик объекта, который будет оценивать преимущество рассматриваемого образца в данный момент времени над конкурентами в своем сегменте.

Качество должно оцениваться по некоторому множеству характеристик, сведенному к одному обобщающему показателю. При решении этой задачи возникает ряд трудностей. Во-первых, все характеристики объекта должны быть выражены количественно, вследствие чего при вычислении обобщенного показателя невозможно учесть все свойства объекта. Во-вторых, различные единицы измерения показателей должны быть приведены к безразмерному виду, например, нормировкой каждого показателя. В-третьих, следует учесть, что индивидуальные показатели качества объекта вносят в обобщающий показатель «неравномерный» вклад, т.е. требуется объективно оценить весовую значимость каждой характеристики. Кроме того, далеко не всегда увеличение количества показателей качества повышает объективность оценки, а трудоемкость ее обязательно возрастает. В связи с этим, рекомендуется в состав оценки вводить показатели, имеющие значительный вес с потребительской точки зрения. Затем из выбранного множества характеристик выделить несколько значимых групп та-

ким образом, чтобы внутригрупповые показатели не имели существенных преимуществ друг перед другом, т.е. могли быть признаны равноценными. Комплексные групповые оценки, образующие интегральный показатель, следует вводить с весовыми коэффициентами.

Математическая постановка задачи оценки конкурентоспособности и подвижности автомобиля

Среди прочих свойств, которые могут описывать техническое состояние транспортного средства, особое место отводится подвижности. Основные теоретические положения, описывающие способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью как к условиям эксплуатации, так и к состоянию самой машины, т.е. подвижность, концептуально изложены в работах [1-7]. В свете этих положений подвижность является обобщающей характеристикой транспортно-технологических машин (ТТМ), описывающей их эксплуатационные свойства. Таким образом, показатель подвижности может служить показателем качества транспортного средства, а методика интегральной оценки эффективности эксплуатации автомобилей фактически можно свести к методике оценки их подвижности. Подвижность (P) машины может быть представлена в виде обобщенной функции двух аргументов $P = f(\text{ЭП}; \text{КП})$ (рис. 1).

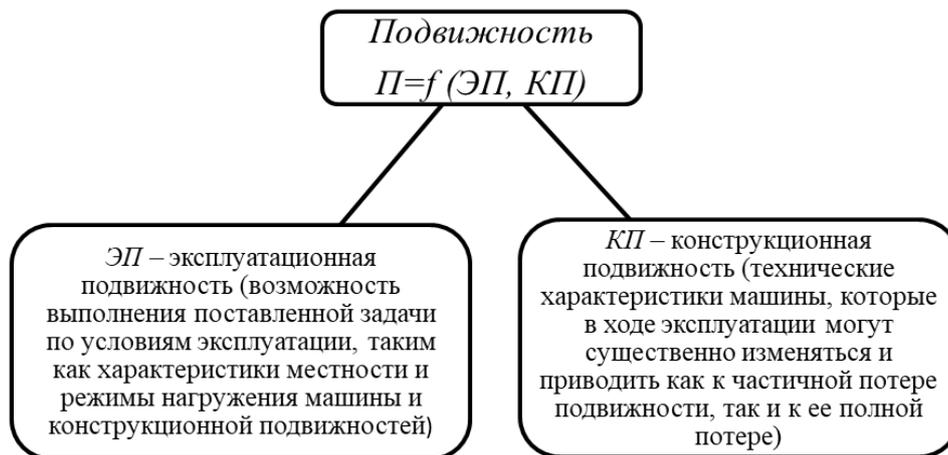


Рис. 1. Обобщенная функция подвижности

Fig. 1. Generalized mobility function

Оценку подвижности по мобильности предлагается выполнить по нескольким критериям, которые обеспечивают поддержание скорости движения и курсовой ориентации, устранение критических ситуаций.

Условие, обеспечивающее запас тягового усилия (1):

$$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Delta P_{\varphi} > 0. \quad (1)$$

Условия, отражающие баланс мощности (2):

$$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_{\varphi}, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda)]. \quad (2)$$

Поддержание курсовой ориентации (управляемости и маневренности) (3):

$$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p). \quad (3)$$

Подвижность по живучести определяется следующими условиями (4-5):

$$R_{он}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{он}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \geq R_{\eta}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t), \quad (4)$$

$$\Phi_{\varphi} \text{ при } R_{\varepsilon_n}(\Phi_{\text{ис}}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{\text{ис}}, \lambda, t), \quad (5)$$

где $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p)$, $\Delta W = W_{\text{эy}} - W_f$, остальные параметры описаны в [6].

Полученная совокупность условий (2)-(5) с ограничениями эквивалента системе оптимизационных условий (6):

$$\Phi_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \Phi_f(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \rho(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, R(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}. \quad (6)$$

Краткий обзор методов, применяемых нахождения оценки конкурентоспособности автомобильной техники

Логично предположить, что невозможно адекватно сравнить несколько альтернативных вариантов по какому-либо единственному показателю. Кроме того, довольно редко показатели сравниваемых альтернатив можно представить в виде ранжированного ряда и вслед за этим получить рейтинговый список опытных образцов. Таким образом, для сравнения нескольких альтернативных решений требуется решать многокритериальные задачи, такие как (6), которые различными методами можно преобразовать в однокритериальные. От задачи векторной оптимизации по частным критериям переходят к специально сконструированной скалярной функции, где частные критерии уже являются аргументами этой функции. Свертывание или объединение векторного критерия может осуществляться аддитивным и мультипликативным образом, при этом оперируют как самими эмпирическими критериями, так и отношениями их к базовым показателям. Для свертки критериев также применяют графический метод «радара» или «профилей» [8]. Среди перечисленных методик стоит выделить последний подход, поскольку он является достаточно наглядным и простым в применении, позволяет получить оценку посредством объединения большого количества характеристик объекта. Однако и в нем присутствуют недостатки, главный из которых – равная значимость локальных критериев [9]. Возникает следующая задача: разработать метод, который позволил бы учитывать важность тех или иных показателей. Среди таковых к объективным, но не универсальным, можно отнести методы параметрических регрессионных зависимостей, предельных и номинальных значений, метод эквивалентных соотношений, а также субъективный экспертный метод определения значимости.

В работах [10, 11] рассматривается несколько групп методов расчета весовых коэффициентов локальных критериев в составе интегральных, здесь же проводится достаточно глубокий сравнительный анализ каждого подхода. На базе парного сравнения критериев существует несколько групп методов: на основе фиксированного, плавающего и экспоненциального предпочтения показателей друг над другом, а также с использованием формальных способов описания зависимости по принципу арифметической и геометрической прогрессии, метод Черчмена-Акоффа и базового критерия.

В условиях, когда необходимо определить веса анализируемых показателей при осуществлении оценки, широко применяется правило Фишберна. Согласно этому правилу, все эмпирические критерии Q_i , $i = \overline{1, n}$ следует записать в упорядоченный ряд по мере убывания их важности $Q_1 > Q_2 > \dots > Q_n$ и задать уровень превосходства n , отражающий, на сколько наиболее важный критерий доминирует над наименее важным. В этом случае расчет весовых коэффициентов можно выполнить по формуле:

$$w_i = \frac{2(n - i + 1)}{n(n + 1)}, \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

поскольку считается, что коэффициенты веса образуют убывающую арифметическую прогрессию.

Метод Фишберна также применим при частичном порядке ранжирования критериев и наличии информации относительно интервалов возможных значений коэффициентов. В этом случае применяются модифицированные формулы Фишберна. В работе [12] коэффициенты

весомости рассчитываются с использованием научно обоснованного метода анализа иерархий (МАИ) [13]. Данный подход базируется на иерархическом представлении целевой задачи, которая лежит в вершине структуры, а элементы, отражающие суть обобщенного критерия, являются составляющими уровней иерархии. Эта структура отражает понимание проблемы лицом, принимающим решение. Промежуточные звенья цепи – это критерии, выражающиеся как количественными, так и качественными характеристиками. Каждый элемент иерархии может представлять всевозможные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты факторы различной природы (материальные и нематериальные).

Эффективность применения МАИ имеет доказанную практическую значимость, т.к. широко применяется в экономике при оценке качества различной продукции. Методика, основанная на попарном сопоставлении критериев, была также применена для оценки технического уровня полноприводных автомобилей многоцелевого назначения [14]. МАИ обеспечивает перевод качественной информации в количественную, для чего была разработана вербально-числовая шкала, в которой представлено соответствие степени предпочтения показателей друг над другом различным числовым характеристикам. Ценность метода заключается также в том, что подобной обработке могут подвергаться и комплексные групповые показатели. К недостаткам классического подхода можно отнести наличие субъективного экспертного сравнения при составлении матрицы попарных сравнений, посредством которой дальнейшем вычисляют сами весовые коэффициенты.

Далее производится проверка согласованности рассуждений, проводимых для полученных весовых коэффициентов. Под согласованностью подразумевается то, что при наличии основного массива необработанных данных все другие данные логически могут быть получены из них. Проверка основана на вычислении так называемого *отношения согласованности (ОС)* (8):

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}, \quad (8)$$

где ИС – индекса согласованности, СИ – случайный индекс для матрицы того же порядка. Значение ОС, меньшее или равное 0,10, считают приемлемым.

Вычисление обобщенного показателя конкурентоспособности

Данная работа является продолжением исследований, приведенных в [15], поэтому в краткой форме следует изложить основные полученные результаты.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации (6) была построена скалярная функция F , которая является обобщенным критерием качества (9):

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^n w_i \tilde{Q}_i, \quad (9)$$

где $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_n\}$ – вектор частных критериев, $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – весовые коэффициен-

ты относительной важности частных критериев $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Для оценки подвижности метод подробно описан в работах [16-19].

Предварительно значения частных критериев при помощи положительных линейных преобразований приводятся к единому безразмерному виду – шкале [0, 1].

Таблица 1.

Нормированные равновесные критерии и обобщенный векторный критерий F_1 без учета весовых характеристик [15]

Table 1.

Normalized equilibrium criteria and generalized vector criteria F_1 without taking into weighting characteristics [15]

Модель а/м	\bar{Q}_1	\bar{Q}_2	\bar{Q}_3	\bar{Q}_4	\bar{Q}_5	\bar{Q}_6	\bar{Q}_7	\bar{Q}_8	\bar{Q}_9	F_1	Ранжирование
Volkswagen Polo 1.6 MPI AT Exclusive 2020	0,03	0,10	0,08	0,76	0,14	0,25	1,00	0,37	0,39	0,377	9
Lada Vesta 1.6 CVT Exclusive 2019	0,03	0,10	0,09	0,63	0,09	0,00	1,00	0,45	0,31	0,315	14
Hyundai Solaris 1.6 AT Elegance 2020	0,03	0,10	0,13	0,74	0,23	0,28	1,00	0,28	0,31	0,370	10
Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD Ultimate 2020	0,19	0,07	0,24	0,60	0,20	0,31	0,92	0,50	0,03	0,343	11
Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+ 2019	0,11	0,23	0,22	0,63	0,33	0,15	0,75	0,65	0,23	0,376	8
Toyota RAV4 Престиж 2,0 CVT 4WD M20A-FKS 2020	0,12	0,23	0,24	0,84	0,26	0,25	0,75	0,61	0,48	0,422	6
Kia Sportage Luxe+ 2,0 6AT 4WD, G4NA-5R	0,09	0,23	0,24	0,44	0,17	0,13	0,92	0,49	0,33	0,332	12
Audi Q7 3.0 55 TFSI quattro 2015	0,50	0,55	0,98	0,66	0,97	1,00	0,17	0,98	1,00	0,656	1
BMW X5 XDRIVE40D 2015	0,82	0,55	0,90	1,00	1,00	0,83	0,04	0,74	0,60	0,654	3
MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC 2015	0,80	0,55	0,64	0,97	0,83	0,69	0,42	0,67	0,66	0,630	4
RANGE ROVER SPORT SDV8 2015	1,00	1,00	1,00	0,35	0,86	0,50	0,29	0,78	0,82	0,636	2
VOLVO XC90 D5 AWD INSCRIPTION 2015	0,36	0,22	0,64	0,54	0,67	0,50	0,79	1,00	0,72	0,517	5
Kia Ceed 1.4T DCT Premium+ (08.2018 - 02.2020)	0,18	0,02	0,20	0,91	0,52	0,44	0,92	0,19	0,17	0,414	7
Mazda 3 2.0 Skyactiv-G 6AT Active	0,13	0,23	0,24	0,71	0,51	0,54	0,50	0,05	0,00	0,318	13

Для критериев, которые максимизируются, преобразование имеет вид (10):

$$\tilde{Q}_i = \frac{Q_i - Q_i^-}{R_i} (\beta - \alpha) + \alpha \tag{10}$$

и для критериев, которые минимизируются (11):

$$\tilde{Q}_i = \frac{Q_i^+ - Q_i}{R_i} (\beta - \alpha) + \alpha \tag{11}$$

при этом $R_i = Q_i^+ - Q_i^-$ - размах критерия Q_i , $i = \overline{1, n}$.

С точки зрения подвижности наиболее конкурентоспособной будет машина с наибольшей величиной оценки (9).

Ранее проводилась оценка подвижности легковых автомобилей различных классов. В качестве эмпирических показателей рассматривались технические характеристики автомобилей, влияющих на мощность, динамичность, маневренность, проходимость. Компоненты вектора \bar{Q} : Q_1 – максимальный крутящий момент (Н·м), Q_2 – объем двигателя (см³), Q_3 – мощность (л. с.), Q_4 – расход топлива в городском цикле (л на 100 км), Q_5 – время разгона до 100 км/ч (с), Q_6 – максимальная скорость (км/ч), Q_7 – радиус разворота (м), Q_8 – клиренс (мм), Q_9 – объем багажника (л). При этом для достижения оптимального значения векторного критерия (7) частные критерии $Q_1 - Q_3, Q_6, Q_8, Q_9$ должны принимать максимальные значения, а Q_4, Q_5, Q_7 – минимальные, т.е. они подвергаются нормировке соответствующим образом. Значения всех весовых коэффициентов в этом случае будут равны между собой. В табл.1 представлены характеристики моделей, которые были рассмотрены и оценены экспертами. Вычисление показателя подвижности и конкурентоспособности нескольких образцов автомобильной техники производилось по фиксированному количеству и эмпирических критериев. Автомобиль, для которого значение функции F_1 наибольшее, считается обладателем наилучшего показателя подвижности среди рассматриваемых автомобилей. В соответствии с обобщенным показателем было произведено ранжирование рассматриваемых образцов.

Таблица 2.

Групповые неравновесные критерии и обобщенные векторные критерии F_2 и F_3 с учетом весовых характеристик

Table 2.

Group non-weighted criteria and generalized vector criterion F_2 and F_3 according to weighting characteristics

Средние групповые показатели	\bar{G}_1	\bar{G}_2	\bar{G}_3	\bar{G}_4	\bar{G}_5	F_2	F_3	Ранжирование
Весовые коэффициенты по МАИ [19]	0,1	0,329	0,192	0,315	0,064			
Весовые коэффициенты по формуле Фишберна	0,133	0,333	0,200	0,267	0,067			
Volkswagen Polo 1.6 MPI AT Exclusive 2020	0,67	0,00	0,46	0,64	0,24	0,373	0,369	8
Lada Vesta 1.6 CVT Exclusive 2019	0,66	0,01	0,27	0,43	0,20	0,269	0,272	13
Hyundai Solaris 1.6 AT Elegance 2020	0,61	0,03	0,45	0,59	0,19	0,355	0,351	10
Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD Ultimate 2020	0,64	0,17	0,44	0,39	0,04	0,327	0,334	12
Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+ 2019	0,75	0,12	0,34	0,43	0,22	0,329	0,337	11
Toyota RAV4 Престиж 2,0 CVT 4WD M20A-FKS 2020	0,67	0,13	0,38	0,75	0,34	0,441	0,431	7
Kia Sportage Luxe+ 2,0 6AT 4WD, G4NA-5R	0,63	0,12	0,33	0,14	0,27	0,228	0,246	14
Audi Q7 3.0 55 TFSI quattro 2015	0,49	0,73	0,78	0,48	0,77	0,638	0,643	3
BMW X5 XDRIVE40D 2015	0,44	0,85	0,66	1,00	0,57	0,802	0,779	1
MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC 2015	0,43	0,70	0,65	0,95	0,60	0,737	0,715	2
RANGE ROVER SPORT SDV8 2015	0,47	1,00	0,53	0,00	0,91	0,536	0,563	4
VOLVO XC90 D5 AWD INSCRIPTION 2015	0,51	0,47	0,63	0,30	0,46	0,449	0,460	6
Kia Ceed 1.4T DCT Premium+ (08.2018 - 02.2020)	0,50	0,14	0,58	0,86	0,08	0,485	0,465	5
Mazda 3 2.0 Skyactiv-G 6AT Active	0,33	0,14	0,52	0,55	0,11	0,357	0,347	9

Во втором варианте показатель конкурентоспособности вычисляется учетом коэффициентов весомости, для этого все оценочные параметры распределены на пять групп: размерные G_1 (Q_8, Q_{10}), силовые G_2 (Q_1, Q_3), динамические G_3 (Q_5, Q_6, Q_7), экономические G_4 (Q_4), комплектационные G_5 (Q_9, Q_2). Расчет показателя F_2 производился с применением весовых коэффициентов, определенных методом анализа иерархий в работе [20]. Дополнительно проведена проверка согласованности рассуждений при нахождении весовых коэффициентов на основании оценки согласованности: $ИС=0,088$; $ОС=0,078$, что считается приемлемым значением. При вычислении показателя F_3 учет значимости групповых критериев основывался на формуле Фишберна (7). При этом предпочтительность групповых критериев выглядит следующим образом: $G_2 > G_4 > G_3 > G_1 > G_5$.

Внутри группы каждый комплексный показатель \tilde{G}_i , $i = \overline{1,5}$ рассчитывается как среднее арифметическое входящих в нее показателей (табл. 2).

Таким образом, показатели конкурентоспособности рассматриваемых автомобилей, вычисленные с учетом взвешенных групповых технических характеристик, выстраивают образцы в абсолютно одинаково ранжированные ряды. Сравнивая результаты методик вычисления показателя качества (рис. 2), можно наблюдать для каждой исследуемой единицы незначительные отклонения значений обобщенного критерия.

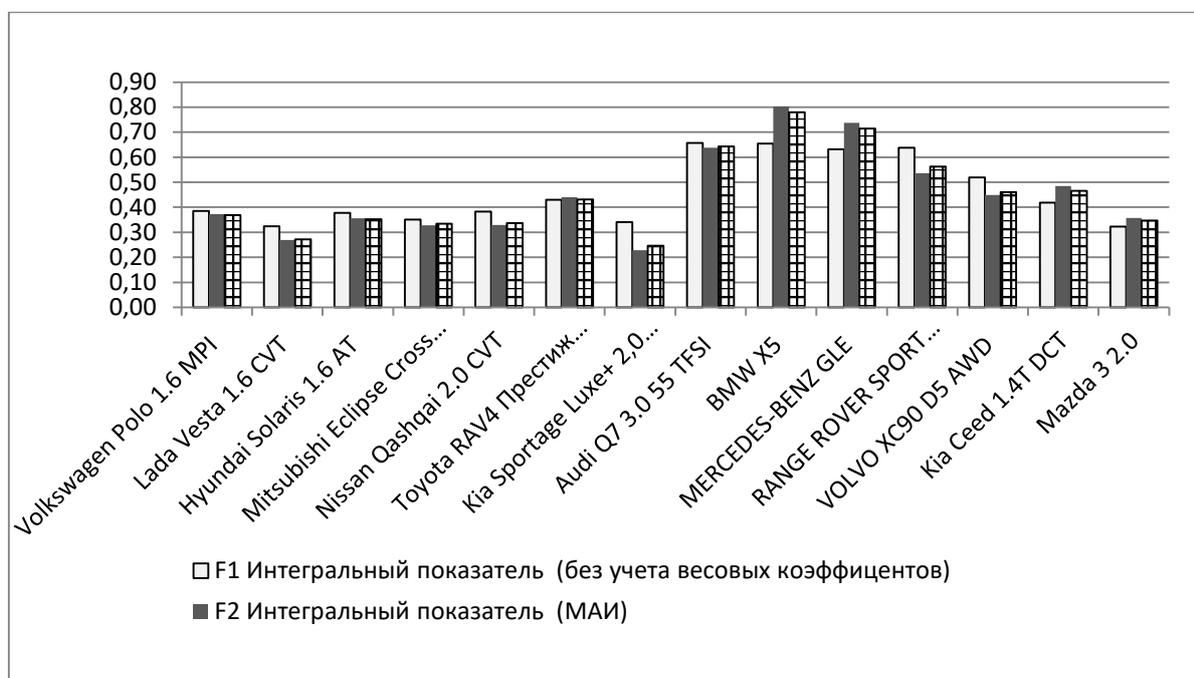


Рис. 2. Сравнение показателей качества F_1 , F_2 и F_3

Fig. 2. Comparison of quality indicators F_1 , F_2 и F_3

Таблица 3.

Сравнение расчетных и экспертных оценок

Table 3.

Comparison of calculations and expert estimates

Модель а/м	Рейтинг по показателю F1 (без учета весовых коэффициентов)	Рейтинг по показателям F2 и F3 (с учетом весовых коэффициентов)	Рейтинг экспертов	Субъективная балльная оценка экспертов по группам автомобилей	Источник
Volkswagen Polo 1.6 MPI AT Exclusive 2020	1	1	1	8,6	Журнал «За рулем», 2020 [21]
Lada Vesta 1.6 CVT Exclusive 2019	3	3	2	8,5	
Hyundai Solaris 1.6 AT Elegance 2020	2	2	3	8,2	
Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+ 2019	1	1	1	734	Колеса.ру, 2018 [22]
Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD Ultimate 2020	2	2	2	270	
Toyota RAV4 Престиж 2,0 CVT 4WD M20A-FKS 2020	1	1	1	844	Колеса.ру, 2020 [23]
Kia Sportage Luxe+ 2,0 6AT 4WD, G4NA-5R	2	2	2	686	
BMW X5 XDRIVE40D 2015	3	1	1	44	Автомобили.ру, 2016 [24]
MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC 2015	4	2	2	43	
RANGE ROVER SPORT SDV8 2015	2	4	3	42	
Audi Q7 3.0 55 TFSI quattro 2015	1	3	3	42	
VOLVO XC90 D5 AWD INSCRIPTION 2015	5	5	4	39	
Kia Ceed 1.4T DCT Premium+ (08.2018 - 02.2020)	1	1	1	636	Колеса.ру, 2019 [25]
Mazda 3 2.0 Skyactiv-G 6AT Active	2	2	2	506	

В табл. 3 представлены результаты сравнения рейтингов экспертов [21-25] и рейтингов, составленных на основании сравнения интегральных показателей, вычисленных по различным методикам. Методика расчета показателя качества с учетом весовых коэффициентов даёт максимально приближенный к экспертному мнению результат, что подтверждает ее объективность и практическую применимость.

Выводы

При проведении исследования было рассмотрено два метода вычисления интегрального показателя качества. В первом случае обобщенный критерий аккумулировался из равновесных частных критериев. Такая оценка конкурентоспособности приближает к экспертным значениям. Вторая методика оценки уровня качества сравниваемых образцов базируется на первоначальном расчете групповых комплексных показателей качества, объединенных общим признаком, и дальнейшем объединении в обобщенный критерий с учетом коэффициентов весомости групп.

Вектор весовых коэффициентов был найден двумя различными вариациями метода анализа иерархий, который состоит в декомпозиции задачи оценивания на более простые составные части и дальнейшей последовательной обработкой экспертных мнений по парным сравнениям. В первом случае для получения числовых значений применялась вербально-числовая шкала, во втором случае использовалась аналитическая зависимость показателей важности критериев. Проверка экспертных оценок на непротиворечивость осуществляется посредством сравнения индекса согласованности со значением случайной согласованности.

На основании технических характеристик автомобилей, влияющих на мощность, динамичность, маневренность, проходимость были вычислены показатели качества для ряда транспортных средств по двум представленным методикам. Сравнительный анализ показал, что ранжирование автомобилей по всем показателям дает приблизительно один и тот же результат. Однако методика вычисления с применением весовых коэффициентов для групп эмпирических критериев позволяет получить наиболее точное приближение расчётных значений к экспертным оценкам. При этом нахождение весовых коэффициентов методом Фишберна вносит значительный вклад в повышение объективности оценок.

Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Е.Ю. Гольшев // 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, М.Е. Бушуева, Е.Ю. Гольшев // Проблемы качества и эксплуатации автотракторных средств: материалы II международной научно-технической конференции (21-23 мая 2002 г.) / ПГАСА. – Пенза, 2002. Ч. 1. С. 23-31.
3. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, Е.Ю. Гольшев // Колесные машины: сб. тр. / МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2003. С. 29-30.
4. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин / В.В. Беляков // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: НГТУ, 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 НГТУ. – Н. Новгород, 2000. С. 339-357.
6. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева // 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. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. С. 167-168.
8. **Фасхиев, Х.А.** Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей / Х.А. Фасхиев // Методы менеджмента качества. 2001. № 3. С. 24-28; № 4. С. 21-26.
9. **Фасхиев, Х.А.** Определение весовости показателей качества автомобилей и их компонентов / Х.А. Фасхиев // Грузовик. 2008. № 5. С.23-27.
10. **Постников, В.М.** Выбор весовых коэффициентов локальных критериев на основе принципа арифметической прогрессии / В. М. Постников, С. Б. Спиридонов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 9. С. 237-249.
11. **Постников, В.М.** Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 6. С. 267-287.
12. **Фасхиев, Х.А.** Интеллектуальная поддержка ранжирования объектов по конкурентоспособности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18. № 3(64). С. 210-224.

13. **Саати, Т.** Принятие решения. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
14. **Плиев, И.А.** Оценка технического уровня семейства автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий / И.А. Плиев // Журнал автомобильных инженеров. 2010 №3 (62), №5 (64).
15. **Мазунова, Л.Н.** Разработка методики вычисления показателя подвижности по мобильности легковых автомобилей, основанной на применении многокритериальной оптимизации / Л.Н. Мазунова, М.А. Дубкова, В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2(133). С. 102-112.
16. **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.
17. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оценка подвижности автотракторной техники / В.В. Беляков // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001: тр. международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 г. / СПбГТУ. – СПб., 2001 С. 95-99.
18. **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. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. Вып. 8. С. 106-113.
19. **Барахтанов, Л.В.** Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств: учебник / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, А.Н. Блохин / Н. Новгород, 2012. – 475 с.
20. **Фасхиев, Х.А.** Методика оценки качества автомобилей / Х.А. Фасхиев, А.В. Крахмалева // Экономическое возрождение России. 2006. № 2(8). С. 57-62.
21. Автомобильный журнал «За рулем» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.zr.ru/content/articles/926446-za-chto-platim>.
22. Автомобильный журнал «Колеса» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.kolesa.ru/test-drive/dva-i-poltora-sravnitelnyj-test-mitsubishi-eclipse-cross-i-nissan-qashqai>.
23. Автомобильный журнал «Колеса» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://yandex.ru/turbo/kolesa.ru/s/test-drive/gryaznye-bryuki-infernalnye-zvuki-sravnitelnyy-test-toyota-rav4-i-kia-sportage>.
24. Автомобильный журнал «Автомобили ру» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://automobili.ru/tests/group/an-ostrich-race/>
25. Автомобильный журнал «Колеса» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.kolesa.ru/test-drive/ottenki-serosti-i-put-gedonista-sravnitelnyu-test-drayv-kia-ceed-i-mazda-3>

*Дата поступления
в редакцию: 29.11.2021*