

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОДВИЖНОСТИ
ПО МОБИЛЬНОСТИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ,
ОСНОВАННОЙ НА ПРИМЕНЕНИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Л.Н. Мазунова

ORCID: 0000-0003-3262-8348 e-mail: matematixx@mail.ru

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

М.А. Дубкова

ORCID: 0000-0003-3502-817X e-mail: du.mari1999@gmail.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

М.Е. Бушуева

ORCID: 0000-0002-0071-2417 e-mail: bme@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

Л.Н. Ерофеева

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

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

Проведена оценка подвижности легковых автомобилей различных классов на основании технических характеристик, заявленных производителями. Подвижность определяется как обобщенная характеристика конструкционных и эксплуатационных свойств транспортных средств. В совокупности с экономическими, эстетическими и экологическими требованиями к качеству машин, подвижность детерминирует конкурентоспособность транспортных средств как товара. В основе методики лежит метод многокритериальной оптимизации, где в качестве эмпирических критериев рассматриваются технические характеристики автомобилей, влияющие на мощность, динамичность, маневренность, проходимость. В условиях недостаточной информации о мере влияния на подвижность тех или иных параметров машины выбор весовых коэффициентов основывался на критерии Лапласа. Проведены расчеты показателя качества для 17 автомобилей. Предложенная методика дает хорошее приближение вычисленных интегральных оценок к экспертным. Полученные результаты могут быть использованы для эффективного проектирования, эксплуатации и маркетинга транспортных средств.

Ключевые слова: конкурентоспособность, подвижность по мобильности, подвижность по живучести, оценка качества ТС, показатель подвижности, многокритериальная оптимизация, векторный критерий, критерий Лапласа, нормировка критерия.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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, М.Е. Бушуева, В.С. Макаров, Л.Н. Ерофеева // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2. С. 102-112. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_2_102

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING
THE MOBILITY INDEX ON MOBILITY OF PASSENGER CARS
BASED ON APPLICATION OF MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION**

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

M.A. Dubkova

ORCID: **0000-0003-3502-817X** e-mail: **du.mari1999@gmail.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

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

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

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

Abstract. Assessment of mobility of passenger cars of various classes on the basis of technical characteristics declared by manufacturers was carried out. Mobility is defined as a generalized characteristic of structural and operational properties of vehicles. Together with economic, aesthetic and environmental requirements for the quality of vehicles, the mobility determines the competitiveness of vehicles as a commodity. Methodology is based on a multi-criteria optimization method where technical characteristics of vehicles that affect power, dynamism, maneuverability, and cross-country ability, are considered as empirical criteria. In conditions of insufficient information about a degree of influence on mobility of certain parameters of the vehicle, selection of weight coefficients was based on the Laplace criterion. Calculations of quality indicators for 17 vehicles were carried out. The proposed method gives a good approximation of calculated integral estimates to expert estimates. Results obtained can be used for effective designing, operation and marketing of vehicles.

Key words: competitiveness, movability, mobility, survivability, vehicle quality assessment, mobility index, multi-criteria optimization, vector criterion, Laplace criterion, benchmark rationing.

FOR CITATION: L.N. Mazunova, M.A. Dubkova, V.V. Belyakov, M.E. Bushueva, V.S. Makarov, L.N. Erofeeva. Development of a method for calculating the mobility index on mobility of passenger cars based on application of multi-criteria optimization. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2021. № 2. P. 102-112. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_2_102

Введение

Сложность конструкции современных автомобилей, разнообразие их эксплуатационных и потребительских свойств, различная приспособленность к режимам эксплуатации значительно усложняют задачу оценки качества автомобиля одним обобщающим показателем, благодаря которому возможно отдать предпочтение той или иной транспортной единице. Среди огромного количества предложений со стороны автопроизводителей выбор автомобиля может основываться на его всесторонней оценке, позволяющей максимально эффективно эксплуатировать машину в дальнейшем.

Анализ существующих методик оценки качества автомобилей

Существует ряд методик оценки качества автомобилей. Например, компания «*Strategic Vision*» [1,2], специализирующаяся на изучении поведения покупателей и факторах их лояльности, с 1995 г. проводит собственное исследование «качества удовлетворенности» новыми автомобилями. В основе методики – результаты опроса почти 50 000 владельцев, которые приобрели машины в течение первых трех месяцев текущего года. На основе оценок покупателей по объемному списку критериев, затрагивающих не только характеристики и качество моделей, но и удовлетворенность ожиданий клиента, формируется показатель качества (*Total Quality Index*). С 1968 г. частная американская маркетингово-информационная компания «*J.D. Power*» [3] самостоятельно проводит исследования по оценке удовлетворенности потребителей, в том числе, в сфере автомобильной промышленности. Оценка качества проводится по следующему алгоритму: учитывается число проблем, возникшее среди 100 единиц трехлетних автомобилей за последний год у первого владельца (*PP100 – Problems per 100 Vehicle*) *Initial Quality Study*.

Методика Нова-Си (*NOVA-C*) [4] – аудит нового автомобиля с точки зрения потребителя. Данная форма проверки включает в себя оценку новых автомобилей на стадии сдачи в сбытовые подразделения, сравнительные тесты с автомобилями других марок. Анализ каждого образца осуществляется на результатах контроля качества изделия на стадии производства, результатов дорожных тестов, обработки информации о мнении потребителей по результатам анкетирования. Аудит *NOVA-C* направлен на оценку конкурентоспособности автомобилей. Он позволяет определить позицию продукции как в данном сегменте машин, так и на рынке в целом. Здесь учитываются дизайн, конструкция, ходовые качества и т.д.

Разработанные теории и методики не охватывают всех существующих проблем данной области знаний. Исследования большей частью посвящены методам оценки по экономическим показателям, которые зачастую не учитывают особенности конструкции и оценивают транспортное средство по ликвидности производства автотранспортного средства. Иногда рассматривается интегральный показатель проходимости, но не учитывается экономическая составляющая процесса эксплуатации и производства, мало изучено экологическое воздействие автотранспортных средств на окружающую среду. Существуют работы в области взаимодействия движителя с опорным основанием. По некоторым эксплуатационным и нормативно-техническим показателям имеются лишь отдельные критерии.

Математическая модель оценки качества автомобилей

Любое транспортное средство можно описать различными свойствами, классифицируемыми по нескольким категориям. Инженер рассматривает транспортное средство как не-

кую конструкцию с характерными для нее свойствами. Экономист обращает внимание на различные показатели эффективности и производительности, а простой обыватель в значительной мере осуществляет свой выбор по субъективным характеристикам: стоимости, эстетичности, престижности. В совокупности все эти требования можно назвать конкурентоспособностью товара, т.е., уровнем его экономических, технических и эксплуатационных параметров, который позволяет выдержать конкуренцию с аналогами на рынке. Конкурентоспособность – интегральный показатель, который обусловлен двумя комплексными составляющими: качеством и ценой товара. В связи с этим, методология оценки эффективности эксплуатации автомобилей должна опираться не только на критерии экономической эффективности, включающие в себя производительность и энергоэффективность, но и на критерии технической и экологической эффективности, а также эстетические требования (рис. 1).



Рис. 1. Требования, формирующие оценку качества ТС

Fig. 1. Requirements that form the vehicle quality assessment

Важнейшим свойством, характеризующим транспортные средства (ТС), является подвижность, концепция которой фундаментально изложена в [5-11]. Подвижность определяется как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее ее способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины, т.е., возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи. Это множество свойств, которое определяется требованиями практически всех групп.

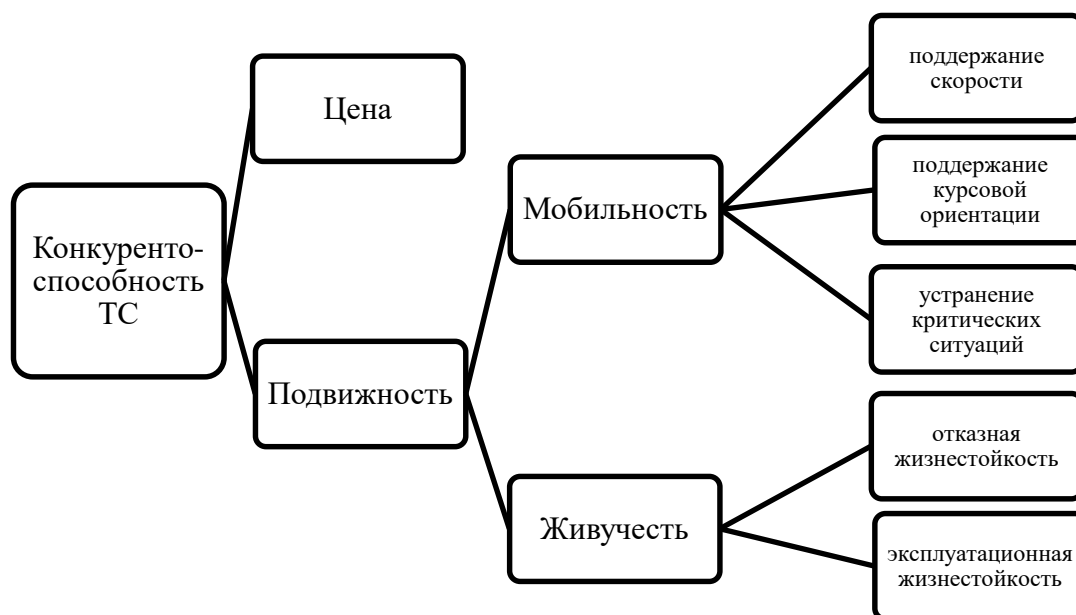


Рис. 2. Иерархия комплексного свойства конкурентоспособности ТС

Fig. 2. Hierarchy of complex property of vehicle competitiveness

Таким образом, разработку методики интегральной оценки эффективности эксплуатации автомобилей фактически можно свести к методике оценки их подвижности. Подвижность (П) машины можно рассматривать как обобщенную функцию эксплуатационной и конструкционной подвижностей: $P = f(\text{ЭП}; \text{КП})$. Возможность выполнения поставленной задачи по условиям эксплуатации (характеристики местности и режимы нагружения машины) относят к эксплуатационной подвижности (ЭП). Технические характеристики машины, которые в ходе эксплуатации могут существенно изменяться и приводить как к частичной потере подвижности, так и к ее полной потере, относят к конструкционной подвижности (КП). С другой стороны, подвижность включает подвижность по мобильности (способности к движению в каких-либо условиях) и подвижность по живучести (обеспечение работоспособности в условиях износа и функционирования в различных природно-климатических условиях и сферах деятельности) (рис. 2). Для обеспечения подвижности по мобильности требуется обеспечить поддержание скорости движения, курсовой ориентации и устранение критических ситуаций. Оценка мобильности выполняется по нескольким критериям. Во-первых, по запасу тягового усилия (1):

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

во-вторых, по балансу мощности (2):

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

в-третьих, по курсовой ориентации (управляемости и маневренности) (3):

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

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

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

$$\Phi_{\varphi} \text{ при } R_{en}(\Phi_{ue}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{ue}, \lambda, t). \quad (5)$$

Критерии построены в зависимости от параметров взаимодействия движителя с полотном пути Φ_{φ} , Φ_f и с учетом других характеристик $\lambda \equiv \xi(\lambda_{\kappa}, \lambda_{\gamma}, \lambda_p)$, где λ_{κ} – параметры машины, включая параметры движителя; λ_{γ} – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути; λ_p – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые. Здесь ΔP_{φ} – запас силы тяги, W_{φ} – мощность, реализуемая движителем по сцеплению, $\Delta W = W_{\text{эв}} - W_f$ – запас мощности по двигателю, $W_{\text{эв}}$ – мощность энергетической установки, W_f – мощность сопротивлений, Φ_R – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения, R_{on} – вероятность безотказной работы, R_{η} – предельная вероятность безотказной работы техники в оптимальных (заданных для расчета) условиях работы и технологии изготовления машины; R_{en} – вероятность работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии, Φ_{ue} – обобщенная функция интенсивности аварийного или поражающего воздействия, R_{γ} предельная вероятность работоспособности техники после заданной (в расчетах) интенсивности аварийного или поражающего воздействия, t – время работы или воздействия в соответствии с рассматриваемым типом надежности.

Представленную систему критериев (2)-(5) с ограничивающими условиями можно свести к более обоснованной системе целевых функций (6):

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

Здесь Φ_{φ} – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания; Φ_f – обобщенная функция сопротивления движению машины; v – скорость

движения машины; $\rho = R_{\Pi}/B$ – относительный радиус поворота, где B – колея машины; R – вероятность безотказной работоспособности машины как функция $R(R_{OH}; R_{ЭН})$ отказной и эксплуатационной надежности; λ – конструкционные (λ_K), эксплуатационные ($\lambda_Э$) и режимные (λ_P) параметры и характеристики машины и процесса ее движения.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации (6) используется метод свертывания векторного критерия с учетом относительной важности частных критериев оптимальности. Применительно к оценке подвижности метод подробно описан в [12-15]. Это достигается путем построения скалярной функции F , являющейся обобщенным критерием оптимальности. Рассмотрим аддитивную функцию (7):

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^n w_i \tilde{Q}_i, \quad (7)$$

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

Предварительно частные критерии нормализуются, т.е. приводятся к единому безразмерному виду. Приведение критериев к шкале $[\alpha, \beta]$ возможно при помощи положительных линейных преобразований. Для критериев, которые максимизируются, преобразование имеет вид (8):

$$\tilde{Q}_i = \frac{Q_i - Q_i^-}{R_i} (\beta - \alpha) + \alpha \quad (8)$$

и для критериев, которые минимизируются (9):

$$\tilde{Q}_i = \frac{Q_i^+ - Q_i}{R_i} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (9)$$

при этом $R_i = Q_i^+ - Q_i^-$ – размах критерия Q_i , $i = \overline{1, n}$. В рассматриваемом ниже примере критерии приводятся к шкале $[0, 1]$.

С точки зрения подвижности, наиболее конкурентоспособной будет та машина, у которой оценка (7) наибольшая. На данном этапе исследования нет достаточной информации о том, в какой мере влияют на подвижность те или иные параметры машины. В теории принятия решений в условиях полной неопределенности существует критерий Лапласа, который основан на принципе недостаточного обоснования и согласно которому все состояния системы являются равновероятными. В связи с этим, не нарушая общности рассуждений, прием значения всех весовых коэффициентов $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ равными единице, поскольку нет оснований утверждать, что они различны.

Расчет качества автомобилей

В данной работе проводилась оценка подвижности легковых автомобилей различных классов. В качестве эмпирических критериев рассматривались технические характеристики автомобилей, влияющих на мощность, динамичность, маневренность, проходимость. Вектор \bar{Q} , включает в себя следующие компоненты: 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 должны нормироваться соответствующим образом.

Таблица 1.

Фрагмент таблицы с исходными характеристиками

Table 1.

Fragment of table with original characteristics

Модель автомобиля	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
Volkswagen Polo 1.6 MPI AT Exclusive 2020	155	1598	110	8,7	11,8	190	5,2	170	530
Lada Vesta 1.6 CVT Exclusive 2019	152	1598	113	9,6	12,2	170	5,2	178	480
Hyundai Solaris 1.6 AT Elegance 2020	155	1591	123	8,9	11,2	192	5,2	160	480
Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD Ultimate 2020	250	1498	150	9,8	11,4	195	5,3	183	310
Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+ 2019	200	1997	144	9,6	10,5	182	5,5	200	430
Toyota RAV4 Престиж 2,0 CVT 4WD M20A-FKS 2020	206	1986	149	8,2	11	190	5,5	195	580
Kia Sportage Luxe+ 2,0 6AT 4WD, G4NA-5R	192	1999	150	10,9	11,6	180	5,3	182	491
Audi Q7 3.0 55 TFSI quattro 2015	440	2995	333	9,4	6,1	250	6,2	235	890
BMW X5 XDRIVE40D 2015	630	2993	313	7,1	5,9	236	6,35	209	650
MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC 2015	620	2987	249	7,3	7,1	225	5,9	202	690
RANGE ROVER SPORT SDV8 2015	740	4367	339	11,5	6,9	210	6,05	213	784
VOLVO XC90 D5 AWD INSCRIPTION 2015	350	1969	249	10,2	8,2	210	5,45	237	721
Kia Ceed 1.4T DCT Premium+ (08.2018 - 02.2020)	242	1353	140	7,7	9,2	205	5,3	150	395
Mazda 3 2.0 Skyactiv-G 6AT Active	213	1997	150	9,1	9,3	213	5,8	135	295
Chery Tiggo 8	250	1971	170	11,5	10	200	-	190	408
GAC GS5	235	1495	137	8,5	12,8	180	-	180	364
Skoda Karoq	250	1395	150	8,3	9,2	199	-	163	404

В табл. 1 представлены характеристики моделей, принимавших участие в сравнительных тестдрайвах. Для Skoda Karoq, Chery Tiggo 8, GAC GS5 не представлены радиусы разворота, а величина объема багажника получена по результатам замеров [16], поэтому целесообразно сравнивать их только между собой.

Таблица 2.

Фрагмент таблицы с нормированными критериями и обобщенным векторным критерием

Table 2.

Fragment of table with original characteristics with normalized criteria and generalized vector criterion

Модель автомобиля	\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
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	3,14
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	2,70
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	3,10
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	3,06
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	3,30
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	3,77
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	3,04

Продолжение табл. 2.

Модель автомобиля	\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
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	6,82
BMW X5 XDRIVE40D 2015	0,82	0,55	0,90	1,00	1,00	0,83	0,04	0,74	0,60	6,47
MERCEDES-BENZ GLE 350D 4MATIC 2015	0,80	0,55	0,64	0,97	0,83	0,69	0,42	0,67	0,66	6,23
RANGE ROVER SPORT SDV8 2015	1,00	1,00	1,00	0,35	0,86	0,50	0,29	0,78	0,82	6,60
VOLVO XC90 D5 AWD INSCRIPTION 2015	0,36	0,22	0,64	0,54	0,67	0,50	0,79	1,00	0,72	5,43
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	3,54
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	2,90
Chery Tiggo 8	0,19	0,22	0,32	0,35	0,41	0,38	-	0,56	0,19	2,62
GAC GS5	0,17	0,07	0,19	0,79	0,00	0,13	-	0,47	0,12	1,92
Skoda Karoq	0,19	0,04	0,24	0,82	0,52	0,36	-	0,31	0,18	2,67

Таким образом, с целью оценки подвижности нескольких образцов автомобильной техники для всех рассматриваемых случаев выбрано одинаковое количество и тип оценочных параметров. Образец автотехники, для которого значение функции F наибольшее, будет обладателем наилучшего показателя подвижности среди рассматриваемых машин (рис. 3).

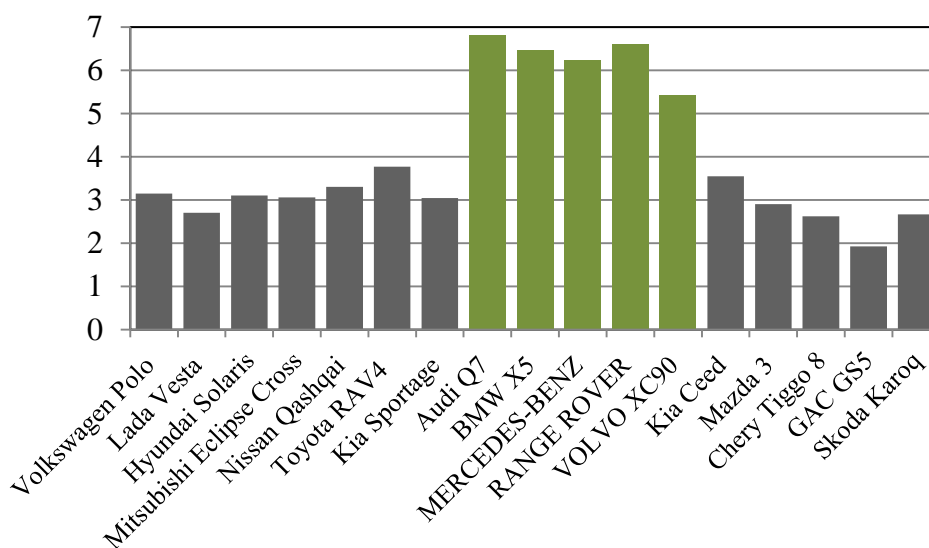


Рис. 3. Распределение легковых автомобилей по показателю качества F

Fig. 3. Distribution of passenger cars as per quality indicator F

Сравнение расчетного показателя качества с экспертными оценками

Интерес представляют те образцы, которые уже подвергались экспертному сравнению. Например, в 2018 г. в журнале «Колеса» [17] приводился сравнительный тест двух компактных кроссоверов. В очном соперничестве участвовали два очень непохожих автомобиля в топовой комплектации – *Mitsubishi Eclipse Cross 1.5T CVT 4WD Ultimate* и *Nissan Qashqai 2.0 CVT 4WD LE+*. По итогам сравнительных тестов и мнения опрашиваемых лучшим был признан автомобиль *Nissan Qashqai*. В приведенных расчетах показатель подвижности у автомобиля *Nissan Qashqai* также получился выше, чем у *Mitsubishi Eclipse Cross* (рис. 4а). В том же журнале сравнивались базовые модификации *Toyota RAV4* и *Kia Sportage* [18].

Предпочтения экспертов были отданы автомобилю *Toyota RAV4*, что соответствует расчетным значениям, полученным в работе: вычисленный показатель подвижности для этого а/м заметно превышает показатель машины-конкурента (рис.4 б). В сравнении близких по техническим характеристикам и цене *Mazda 3* в средней комплектации *Active* и топового *Kia Ceed*, голоса экспертов в своем большинстве отданы *Kia Ceed*, что также подтверждается вычисленными показателями подвижности (рис. 4 в). В рейтинге, составленном журналом «За рулем» [19] расположились два китайских паркетника и популярный европейский кроссовер в следующем порядке *Skoda Karoq*, *Chery Tiggo 8*, *GAC GS5*. А по данным табл. 2 их показатели подвижности равны соответственно 2,67, 2,62, 1,92, что опять же свидетельствует об адекватности построенной оценки (рис. 4г).

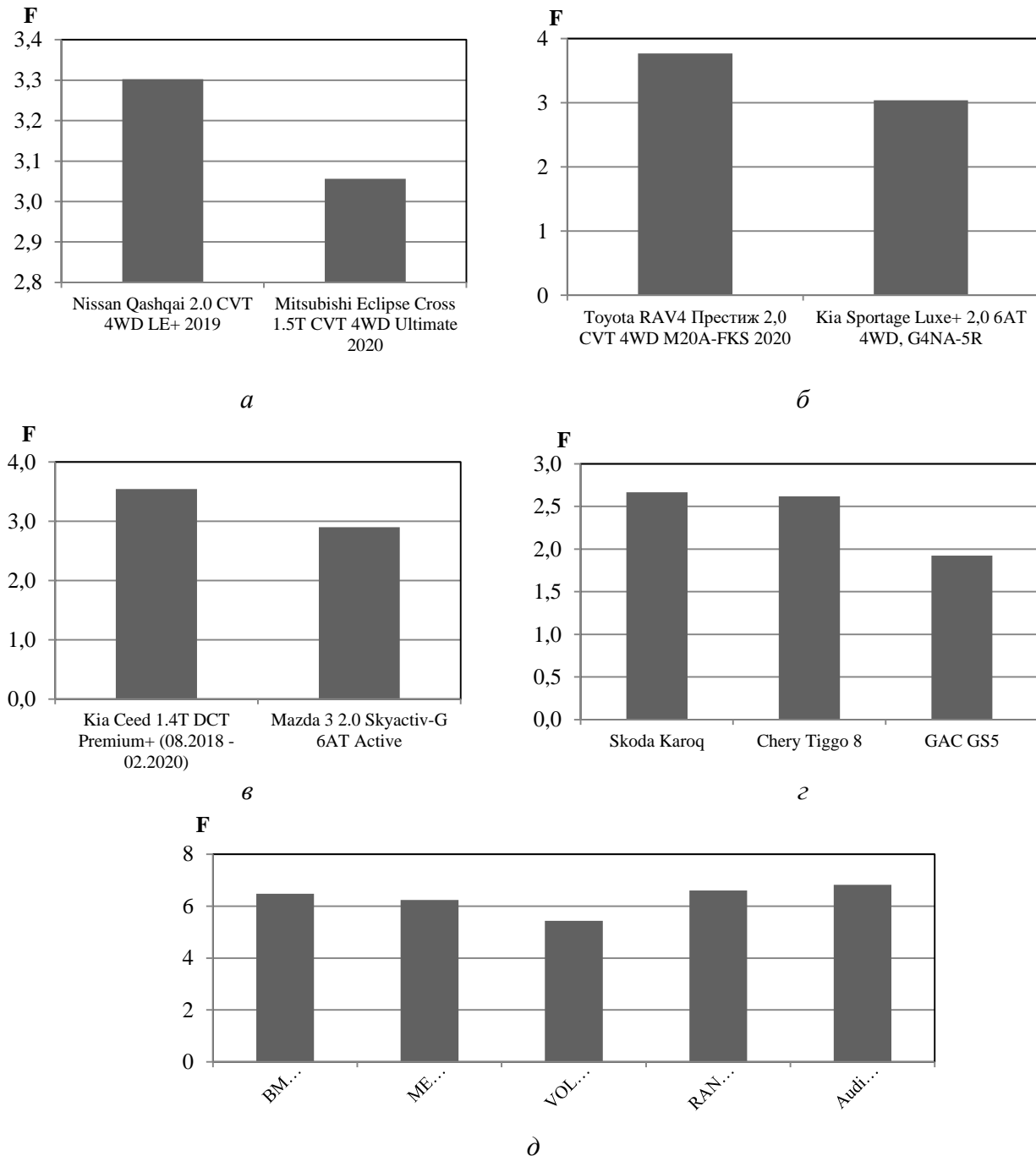


Рис. 4. Сравнение вычисленных показателей качества и экспертных оценок

Fig. 4. Comparison of calculated quality indicators and expert assessments

Выводы

Представленная методика может служить основой для определения показателя подвижности легковых автомобилей. Не все проведенные рейтинг-тесты совпадают с ранжированием исследуемых образцов по вычисленному показателю подвижности (рис. 4д). Это может быть связано с тем, что оценка была проведена, во-первых, по ограниченному количеству параметров, заявленных в общедоступных прайс-листах. Во-вторых, не было произведено оценивание по многим качественным характеристикам, которые не имеют количественные оценки (например, тип двигателя, тип трансмиссии, число передач). В-третьих, экспертная оценка потребителей могла быть обусловлена соотношением «цена – качество», а стоимость автомобиля в приведенном исследовании при вычислении интегрального показателя не учитывалась. Отдельно следует отметить, что не производилось оценивание по эстетическим показателям. Их оценка вызывает, пожалуй, наибольшую трудность, поскольку может быть проведена на основе вероятностных оценок по результатам опросов потребителей или экспертов, и здесь нельзя избежать субъективности оценивания.

Дальнейшее усовершенствование существующей методики оценки подвижности предполагает разработку иерархической классификации номенклатуры показателей качества, наиболее полно характеризующих изделие. В состав оценочных показателей рекомендуется ввести только наиболее весомые с точки зрения потребителя; разработать алгоритм преобразования качественных характеристик в количественные. Тем самым круг параметров, по которому будет вычисляться оценка, значительно расширится, определение значения коэффициентов весомости групп показателей возможно, например, методом анализа иерархий [20, 21].

Работа проведена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – докторов наук МД-226.2020.8.

Библиографический список

1. Авто-центр / Источник <https://www.autocentre.ua> // [Электронный ресурс]. – Режим доступа/ <https://www.autocentre.ua/ua/avtopravo/avtobiznes/vw-nazvan-samym-kachestvennym-brendom-oprosu-strategic-vision-82969.html>.
2. **Кузнецов, Д.О.** Методы оценки качества автомобилей с точки зрения потребителей / Д.О. Кузнецов // Вестник ТГУ. – Тамбов, 2009 Вып. 6 (74) С. 67-70.
3. Легковые автомобили на IronHorse / Источник: <https://auto.ironhorse.ru/> © IronHorse.ru // [Электронный ресурс]. – Режим доступа/ https://auto.ironhorse.ru/jd-power-2018-initial-quality_23353.html.
4. Информационное агентство REGNUM/ Источник: <https://regnum.ru/> // [Электронный ресурс]. – Режим доступа/ <https://regnum.ru/news/65136.html>.
5. **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.
6. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // 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.
7. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // Колесные машины: сб. тр. / МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2003. С. 29-30.
8. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин // 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 С3-25.
9. **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.

10. **Беляков, В.В.** Управление подвижностью транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции / НГТУ. – Н. Новгород, 2000 С. 392-396.
11. **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.
12. **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.
13. **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.
14. **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.
15. **Барахтанов, Л.В.** Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств: учебник / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, А.Н. Блохин / Н. Новгород, 2012 – 475 с.
16. Автомобильный журнал «За рулем» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.zr.ru/content/articles/926446-za-chto-platim>.
17. Автомобильный журнал «Колеса» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.kolesa.ru/test-drive/dva-i-poltora-sravnitelnyj-test-mitsubishi-eclipse-cross-i-nissan-qashqai>.
18. 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>.
19. Автомобильный журнал «За рулем» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://www.zr.ru/content/articles/926448-za-chto-platim/>
20. **Саати, Т.** Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
21. **Саати, Т.** Аналитическое планирование. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

*Дата поступления
в редакцию: 18.01.2021*