

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 658.512
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-170-179



ОБЗОР ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА И ПОДВИЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ, ОСНОВАННЫХ НА МЕТОДАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е.

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

Аннотация. В статье проводится анализ существующих методов, позволяющих получить числовой показатель качества технического изделия в условиях современной промышленности на этапе проектирования изделия. Задача является актуальной, поскольку количественная оценка качества дает исчерпывающую информацию об объекте с точки зрения его пригодности и целесообразности использования для решения каких-либо технологических задач и управления производством, дает возможность разработать технически сложное изделие с заранее заданными характеристиками и уровнем качества. При решении задач, посвященных оцениванию качества автотракторной техники, предлагается обоснованное применение понятия подвижности как интегрального эксплуатационного свойства транспортно-технологических машин. Среди разнообразия подходов к получению оценок качества наибольшую популярность и подтвержденную достоверность имеют интегральные показатели, вычисленные на основании методов многокритериальной оптимизации, предполагающих декомпозицию интегрального свойства на простейшие составляющие, а затем агрегирования эмпирических показателей с учетом их веса посредством аддитивной свертки. Отдельно проанализированы различные методы нахождения коэффициентов весомости, указана целесообразность их использования. Исследование показало, что существующие подходы посвящены оцениванию качества или подвижности отдельных технических изделий и классов автотракторной, но объективной, универсальной, практичной методики, с помощью которой можно будет вычислить показатель качества любой ТТМ, на сегодняшний день не существует. В статье приводятся предпосылки, способствующие разработке универсального алгоритма вычисления интегрального показателя подвижности, который может лечь в основу системы управления качеством продукции на стадии проектирования автотракторной техники.

Ключевые слова: качество, подвижность, ТТМ, автотракторная техника, интегральный показатель качества, интегральный показатель подвижности, весовые коэффициенты, многокритериальная оценка качества

© Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е., 2023

Для цитирования

Обзор подходов к оценке качества и подвижности автотракторной техники, основанных на методах многокритериальной оценки качества / Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №3. С. 170-179. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-170-179>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

OVERVIEW OF APPROACHES TO ASSESSING THE QUALITY AND MOBILITY OF AUTOMOTIVE VEHICLES AND TRACTORS BASED ON MULTI-CRITERIA QUALITY ASSESSMENT METHODS

Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Bushueva M.E.

Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper analyzes the existing methods for getting a numerical indicator of the quality of a technical product in the modern industry at the product design stage. The objective is currently relevant as the quantitative assessment of the quality provides comprehensive information about the object in terms of its suitability and feasibility of use for solving any technological problems and production management, and makes it possible to develop a technically complex product with the predetermined characteristics and quality. When solving problems dedicated to assessing the quality of automotive vehicles and tractors, we propose a reasonable application of the concept of mobility as an integral operational property of transport and technological machines. A variety of approaches to getting quality assessments include integral indicators, showing the greatest popularity and confirmed reliability, calculated by multi-criteria optimization methods assuming the decomposition of the integral property into the simplest components and then the aggregation of empirical indicators factoring into their weight by the additive convolution. The authors analyzed various methods of finding weighting coefficients, and indicated feasibility of their use. The study has showed that the existing approaches are devoted to assessing the quality or mobility of individual technical products and classes of automotive vehicles and tractors. Though there are no currently available impartial, universal and practical methods used to calculate the quality indicator of any transport and technological machine (TTM). The paper provides the prerequisites, contributing to the development of a universal algorithm for calculating the integral mobility index, which can form the basis of a product quality management system at the stage of designing automotive vehicles and tractors.

Keywords: quality, mobility, TTM, automotive vehicles and tractors, integral quality index, integral mobility index, weighting coefficients, multi-criteria quality assessment

For citation

Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Bushueva M.E. Overview of Approaches to Assessing the Quality and Mobility of Automotive Vehicles and Tractors Based on Multi-Criteria Quality Assessment Methods. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 3, pp. 170-179. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-170-179>

Введение

Оценка качества и конкурентоспособности технических объектов, в том числе автотракторной техники, является важнейшим инструментом повышения эффективности их применения. В 19 веке знаменитый британский физик, механик и инженер Уильям Томсон, лорд Кельвин (William Thomson, 1st Baron Kelvin), сказал: «Если вы можете оценить то, о чем говорите, и выразить это количественно, тогда вы что-то об этом знаете, но если вы не можете это оценить и выразить количественно, тогда ваши познания скудны и неудовлетворительны» [1]. Уже на стадиях исследований и разработки изделия стоит вести речь о его качестве. Для транспортно-технологических машин (ТТМ) оно напрямую связано с технико-эксплуатационными характеристиками, которые описываются понятием «подвижность». На этом этапе возникает необходимость управления качеством проектируемых машин. Оно может включать в себя

как мероприятия, направленные на соблюдение необходимых нормативных требований, так и на повышение отдельных количественных или качественных показателей [2]. Количественная оценка качества позволяет получить исчерпывающую информацию об объекте с точки зрения его пригодности и целесообразности использования для решения каких-либо технологических задач и управления производством. Оценка качества изделия на этапе проектирования позволяет снизить затраты на производство заведомо неконкурентоспособной продукции и дает возможность разработать технически сложное изделие с заранее заданными характеристиками и показателем качества.

Понятия «качество» и «подвижность»

С понятием «качество» продукции тесно связано понятие «конкурентоспособность», нередко эти два понятия вообще отождествляют. Однако следует помнить, что сравнивать по категории «качество» можно лишь однородные товары, а

конкурентоспособность товара включает в себя дополнительно потребительские, организационные и ценовые показатели. Применительно же к исследованиям в области конструирования и эксплуатации транспортно-технологических машин целесообразно трансформировать понятие «качество» в понятие «подвижность», наследуя при этом практически весь наработанный в области оценки качества вычислительный аппарат.

Автотракторостроение – крупная отрасль машиностроения, а эксплуатация подвижного состава транспортно-технологических машин охватывает все области производственной деятельности человека. Автотракторная техника – сложное техническое изделие, характеризующееся различными техническими, эксплуатационными, функциональными, эстетическими, эргономическими, экологическими и экономическими показателями. Для получения достоверной оценки качества необходимо исследовать и учитывать все эти критерии.

В 2000 году профессором Беляковым В.В. был определен термин «подвижность» как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин, определяющее её способность выполнять поставленную задачу

с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины, то есть возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи [3]. В соавторстве с другими исследователями в его работах был осуществлен комплексный и системный подход к раскрытию структуры подвижности. Подвижность ТТМ, включающая в себя технико-технологические и эксплуатационно-потребительские свойства транспортных средств, является неотъемлемой составляющей конкурентоспособности машин. С этой точки зрения конкурентоспособность, которая охватывает еще и экономические, эстетические и экологические характеристики, является более общей оценкой уровня качества. В основе методики получения оценки подвижности автотракторной техники профессором Беляковым В.В. предлагается метод многокритериальной оценки качества, где в качестве эмпирических критериев рассматриваются технические характеристики автомобилей, влияющие на мощность, динамичность, маневренность, проходимость (табл. 1), которые сворачиваются к единому рациональному показателю [4].

Таблица 1. Система критериев подвижности

Table 1. Mobility criteria system

Критерий	Формализация
Запас тягового усилия Q_1	$\Delta P_\varphi(\Phi_\varphi, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}$
Баланс мощности Q_2	$W_\varphi(\Phi_\varphi, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}$
Поддержание курсовой ориентации Q_3	$\Phi_R(\Phi_\varphi, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}$
Подвижность по живучести Q_4	$R_{\text{он}}(\Phi_\varphi, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}$
Интегральный показатель качества	$F(w, Q_i) = \sum_{i=1}^4 w_i \cdot Q_i$
<p>Φ_f – обобщенная функция сопротивления движению машины Φ_φ – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания Φ_R – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения $R_{\text{он}}$ – вероятность безотказной работы λ – различные параметры машины t – время эксплуатации w_i – весовые коэффициенты</p>	

Существующие методики оценки качества технических объектов

Первые попытки оценить подвижность были предприняты еще в семидесятых годах прошлого века, когда были разработаны отраслевые инструкции, касающиеся вычисления интегрального показателя качества легковых автомобилей [5]. В них выделена номенклатура показателей, по которым ведется оценивание. Система показателей оцениваемого объекта $\{X_i^o\}$ соотносится с системой показателей образца $\{X_i^m\}$, возникает система относительных показателей качества $\{Y_i^o\}$, где $Y_i^o = \frac{X_i^o}{X_i^m}$. Затем вычисляются

комплексные показатели по группам как среднее арифметическое значение в группе. Далее групповые показатели агрегируются в интегральный с учетом их веса:

$$\begin{aligned} \Pi = & K_D \Pi_D + K_K \Pi_K + K_B \Pi_B + \\ & + K_{\Delta} \Pi_{\Delta} + K_H \Pi_H, \end{aligned} \quad (1)$$

где K_D , K_K , K_B , K_{Δ} , K_H – коэффициенты весомости соответствующих комплексных показателей: динамики, комфортабельности, безопасности, эксплуатационных затрат, надежности.

С помощью данной методики можно получить количественные показатели качества автотранспорта, позволяющие сравнивать рассматриваемые образцы. К недостаткам метода можно отнести неполный охват рассматриваемых технических характеристик автомобилей, например отсутствие оценивания по экологическим критериям, а также достоверность значений весовых коэффициентов.

Несколько иной подход к оцениванию качества продукции рассмотрен в исследовании Григорьева М.А. и Долецкого В.А. [6]. Авторами предложена методика вычисления интегрального показателя технико-экономической оценки качества двигателя за полный срок его службы. Показатель качества вычисляется как отношение полезного эффекта от потребления к суммарным затратам на создание и эксплуатацию рассматриваемого образца. Рассчитанный таким образом показатель позволяет выявить основные пути повышения качества двигателя с точки зрения его технико-экономической эффективности. Ис-

следователями предложены следующие мероприятия: увеличение мощности и коэффициента ее использования, увеличение первичного и межремонтных ресурсов, увеличение приспособляемости двигателя к автомобилю, снижение веса двигателя, уменьшение расходов на его изготовление, снижение расхода топлива и масла, обеспечение его эксплуатационной надежности, снижение вибраций, шума и токсичности. К сожалению, метод непригоден к получению показателя технического качества на этапе разработки нового изделия, а также не учитывает условия его эксплуатации.

Первые оценки интегрального показателя качества автомобилей многоцелевого назначения (АМН) были получены по формуле

$$Q = \frac{K_v \cdot K_o \cdot K_{\text{ЭКВ}} \cdot K_{\text{СП}}}{S}, \quad (2)$$

где K_v – коэффициент совершенства по средней скорости; K_o – комплексный показатель надежности; $K_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный показатель оценки условий труда водителя; $K_{\text{СП}}$ – коэффициент учета специфических свойств машины; S – суммарные затраты на достижение результата использования автомобиля [7].

В рассмотренном выше методе учитывается ограниченный набор критериев, к тому же представляет определенную сложность вычисление некоторых коэффициентов.

Для сравнительного анализа технических средств, а именно для решения многокритериальной задачи оптимизации автоматизированных средств управления испытаниями космических аппаратов по их собственным техническим характеристикам, в исследовании [8] предложена методика, основанная на построении обобщенной функции желательности Харрингтона.

Выстраивается система частных критериев. Частным показателям качества рассматриваемого продукта присваиваются числовые значения по формуле $f_i = e^{-e^{-X_i}}$, предварительно исходные показатели приводятся к шкале $[-2; 5]$, поскольку она является промежутком эффективных значений на шкале частных показателей. Затем частные значения по формуле среднего геометрического агрегируются в обобщенный коэффициент желательности: $F = \sqrt[n]{f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_n}$, здесь n – количество эмпирических показателей. Анализ качества исследуемого образца про-

водится по шкале Харрингтона. Он дает возможность оценить текущее состояние качества продукции, а также указать пути улучшения ее технического состояния.

Методом Харрингтона не могут быть сравнены изделия, не имеющие какой-либо характеристики, которая присутствует в товарах-конкурентах. Кроме того, здесь не учитывается вклад каждого параметра в обобщенный показатель ввиду отсутствия весовых коэффициентов. Таким образом, методика не обладает универсальностью и достаточной точностью, поэтому применительна лишь к однородной продукции, обладающей одинаковым набором характеристик.

Большое количество работ профессора Фасхиева Х.А. посвящены исследованиям в области качества и конкурентоспособности продукции [9-13]. Качественные и количественные подходы оценки качества товара легли в основу агрегатно-декомпозиционной методики, благодаря которой может быть вычислен интегральный показатель, позволяющий сравнивать объекты и выстраивать их в ранжированный ряд. Методика применялась исследователем для оценки качества и конкурентоспособности различного рода продукции автомобилестроения, а также решения задач принятия решения по нескольким критериям выбора.

Первоначально рассматривалось шесть групп показателей: функциональные, эксплуатационно-технологические, эксплуатационно-экономические, эргономические, экологические, стоимостные. Каждой группе экспертным путем назначались весовые коэффициенты. Внутри групп параметры объединялись также со своими коэффициентами веса, то есть каждый простейший показатель подвергался двойному взвешиванию. Далеко не полный перечень свойств, описываемых в работе, в достаточной мере даёт адекватную характеристику лишь узкому классу автотракторной техники – легковым автомобилям.

Предложенный профессором Фасхиевым Х.А. алгоритм, в основе которого лежит метод многокритериальной оптимизации и который может быть адаптирован к любому классу автотракторной техники, базируется на следующих принципах.

Во-первых, строится иерархическая структура оценочных показателей нескольких уровней. Например, для грузового автомобиля число технико-эксплуатационных показателей самого последнего уровня составляет 224. Перечень показателей допускает расширение в связи с различ-

ными целями оценок качества. С другой стороны, для снижения трудоемкости задачи рекомендуется рассматривать наиболее значимые характеристики оцениваемого объекта.

Оценку качества предлагается вести в два этапа [11]. Сначала графическим методом «профилей» определяются коэффициенты качества объекта, который характеризуется небольшим числом показателей. Профиль представляет собой оценочное поле, разделенное на $(n-1)$ частей, где n – число выбранных показателей. Площадь этого поля отражает численно качество рассматриваемого объекта. Профиль позволяет измеряемые в разных единицах показатели качества объекта наглядно представить на оценочном поле. Также коэффициент качества может быть получен аналитически без построения оценочного поля, используя формулу

$$K = \frac{0,5 \cdot Y_1 + Y_2 + \dots + 0,5 \cdot Y_n}{n-1}, \quad (3)$$

где Y_1, Y_2, \dots, Y_n – расчетные величины. При этом если с ростом показателя качество объекта улучшается, то расчетная величина вычисляется по формуле

$$Y_i = \frac{\Pi_i - \Pi_{i\min}}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}, \quad (4)$$

если же увеличение показателя влечет за собой снижение качества объекта, расчетная величина вычисляется по формуле

$$Y_i = \frac{\Pi_{i\max} - \Pi_i}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}. \quad (5)$$

Здесь $\Pi_{i\max}$, $\Pi_{i\min}$ и Π_i – максимальные, минимальные и текущие значения i -го показателя изделия, которое подвергается оценке. Если описывается довольно сложный объект, то множество предварительно преобразованных по формулам показателей предлагается разбить на группы и внутри каждой группы объединить методом «профилей».

На втором этапе групповые показатели агрегируются в интегральный с учетом коэффициентов весомости на основании аддитивной свертки критериев:

$$K_{\text{ИИТ}} = \sum_{i=1}^m w_i \cdot K_i. \quad (6)$$

Методы нахождения весовых коэффициентов критериев

Вопрос о получении коэффициентов весомости давно стоял перед исследователями в области решения многокритериальных задач. Экспертный метод назначения весовых коэффициентов «грешит» субъективностью. Для нивелирования такой погрешности в работе [14] использовали методы математической статистики. Достоверность мнений экспертов предлагалось проверить с помощью коэффициента конкордации.

Особое внимание профессором Фасхиевым уделено исследованию различных методов нахождения весовых коэффициентов [11]. Наиболее эффективным был назван метод анализа иерархий, разработанный американским математиком Т. Саати (Thomas L. Saaty) в 1972 году. В настоящее время он представляет собой неотъемлемую часть теории принятия решений при рассмотрении многокритериальных задач для получения весовых коэффициентов критериев. В основе метода лежит декомпозиция конечного критерия на простые составляющие, которые потом подвергаются попарному сравнению согласно разработанной шкале предпочтений [15]. Процесс сравнения выполняется лицом, принимающим решение, или экспертом. Метод учитывает неопределенность задачи, неоднократно успешно применялся в исследованиях, посвященных решению многокритериальных задач с доказанной достоверностью.

Особое внимание в области исследования подходов к расчёту весовых коэффициентов уделено в работах Постникова В.М. и Спиридонова С.Б. [16-18]. Ими рассмотрены и систематизированы различные методики вычисления коэффициентов весомости эмпирических критериев, входящих в состав интегрального показателя. Рассмотрены возможности получения весовых коэффициентов с учетом фиксированной, плавающей и настраиваемой оценки предпочтения критериев друг над другом, для чего разработаны шкалы с разными уровнями градаций. Показано, что в первом случае коэффициенты являются членами арифметической прогрессии, во втором – членами геометрической прогрессии. Практическая ценность разработок заключается в том, что получены простые аналитические выражения для вычисления весовых коэффициентов. Таким образом, наработан определенный потенциал, позволяющий в зависимости

от поставленной задачи всегда подобрать соответствующий адекватный метод вычисления коэффициентов веса.

Обзор методов оценки подвижности автомобилей многоцелевого назначения и военной техники

Двухступенчатая методика оценки качества автотранспорта многоцелевого назначения была разработана Плиевым И.А. и Вержбицким А.Н. [19]. В 1999 году ими была представлена методика, основанная на декомпозиции интегрального критерия на простейшие свойства и показатели в виде иерархического графа, в вершине которого стоит показатель технического уровня автомобилей многоцелевого назначения. В вершинах следующего уровня иерархической структуры лежат групповые показатели, характеризующие подвижность, проходимость, производительность, живучесть. Каждой группе присвоен коэффициент весомости.

Интегральный показатель качества рассчитывался по формуле

$$V = \prod_{j=1}^n \left[\prod_{i=1}^k \left(\frac{P_i}{P_{i0}} \right)^{m_{ij}} \right]^{m_j}, \quad (7)$$

где P_i – значение i -го показателя оцениваемой модели; P_{i0} – значение i -го показателя базовой модели; m_{ij} – весовой коэффициент i -го показателя j -й группы; m_j – весовой коэффициент j -й группы.

Трудности в выборе базового образца, а также субъективность нахождения весовых коэффициентов групповых показателей можно отнести к недостаткам этого метода. Кроме того, набор характеристик не описывает достоверно все свойства модели. Методика получила дальнейшее продолжение.

В исследовании 2010 года Плиевым И.А. [20, 21] был расширен спектр рассматриваемых показателей, число групп доведено до шести. Выделены наиболее значимые характеристики для автомобилей многоцелевого назначения: базовые свойства, безопасность, подвижность, надежность, технологичность, специальные свойства. Были получены интегральные показатели качества для трёх семейств автомобилей многоцелевого назначения: «Мустанг», «Мотовоз» и «Га-

раж». Также было отмечено, что методика становится применимой для оценки автомобилей «двойного назначения», если из номенклатуры показателей исключить характеристики группы «Специальные свойства».

Весовые коэффициенты локальных критериев получены методом Саати, для чего построена четырехуровневая система критериев, где наверху находится интегральный показатель. Промежуточные звенья иерархической структуры занимают составные критерии (групповые показатели), самый нижний уровень состоит из простейших критериев, по которым ведется сравнение альтернативных вариантов.

Разработанный метод оценки технического уровня полноприводных автомобилей, имеющих отношение к автомобилям многоцелевого назначения и автомобилям «двойного назначения», имеет практическую значимость, так как позволяет сравнивать модели по качеству, а также выделить основные группы показателей, на которые следует обратить внимание при конструировании модели.

Применительно к оценке качества военной автомобильной техники (ВАТ) разработана иерархическая номенклатура оценочных показателей [22]. Все свойства сравниваемых объектов были разделены на две группы: эксплуатационно-экономические свойства и боевые свойства. Группа эксплуатационно-экономических свойств включает в себя весь спектр свойств, присущий машине в течение всего жизненного цикла. Группа боевых свойств содержит свойства, необходимые для оценки объекта ВАТ, используемого в боевых условиях. Разработанная номенклатура свойств предназначена для сравнения военной техники типа MRAP. Особую ценность исследование имеет в связи с возможностью получения необходимых значений критериев уже на стадии проектирования. На основании представленной номенклатуры свойств можно вычислить интегральный показатель подвижности образцов ВАТ, однако подобная методика в исследовании не описана.

Метод декомпозиции, а затем агрегирования показателей с учетом их веса был применен для описания свойств и структуры системы характеристик при оценке технического уровня двигателей образцов бронетанкового вооружения и техники [23]. Предложенный метод отражает специфику работы двигателя в процессе реальной эксплуатации и позволяет проводить исследования

по выбору рациональных вариантов конструктивных параметров двигателей для модернизируемых и перспективных образцов военной техники.

На основании вышеупомянутых подходов к многокритериальной оценке качества [9-13, 19-21] авторами настоящего исследования была предложена методика оценки подвижности ряда легковых автомобилей и вездеходной техники [24, 25]. Методики отличались друг от друга набором эмпирических критериев, для каждого класса строилась своя иерархическая структура интегрального показателя подвижности. В работах также проведен сравнительный анализ результатов применения различных методов нахождения весовых коэффициентов [26] и приведена методика преобразования качественных характеристик в количественные показатели, что позволяет значительно расширить систему эмпирических критериев [27].

Выводы и направления дальнейших исследований

Вопрос оценки качества продукции, в том числе образцов автотракторной техники, с давних пор интересовал исследователей, поскольку был продиктован необходимостью решить ряд технических и экономических задач. Еще в начале прошлого века академик Крылов А.Н. попытался оценить и выбрать лучший проект по совокупности свойств военных кораблей [28]. В настоящее время к оценке качества автотракторной техники разработано множество подходов, которые имеют свои преимущества и недостатки, главным из которых является узкая специализация методик, ориентированных на определенный класс машин. Кроме того, при оценивании и сравнении образцов автотракторной техники на этапе проектирования целесообразно использовать интегральный показатель подвижности [4, 29].

Профессором Беляковым В.В. разработана концептуальная парадигма, обуславливающая понятие подвижности мобильных наземных транспортных средств. Подвижность в совокупности с экономическими, эргономическими, экологическими показателями и показателями безопасности характеризует конкурентоспособность, качество объектов как товара. Подходы к исследованию качества являются наиболее обобщенным и могут применяться к любым образцам ТТМ, поскольку иерархическая структура показателей содержит в себе наиболее полную номенклатуру. Среди прочих методов получения оценки подвижности ав-

тотракторной техники предлагается метод многокритериальной оценки качества, позволяющий охватывать достаточное количество критериев. Проанализированы и рекомендованы к применению различные методы нахождения весовых коэффициентов. Таким образом, существуют все предпосылки для разработки объективной, универсальной, практичной методики, с помощью которой можно будет вычислить показатель качества любой ТТМ, вопрос о необходимости построения которой остается актуальным. Полученный алгоритм может служить основой системы управления качеством продукции на стадии проектирования автотракторной техники.

Список источников

1. Миронов Б.Н., Степанов З.В. Историк и математика. Л.: Наука, 1975. 184 с.
2. Михеева Е.Н., Сероштан М.В. Управление качеством: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: Дашков и Ко, 2017. 532 с.
3. Беляков В.В. Оценка подвижности транспортно-технологических систем // «АВТО-НН-2000»: материалы международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2000 г. Н. Новгород: НГТУ, 2000. С. 339-357.
4. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева и др. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3(100). С. 145-174.
5. Инструкция. И37.001.017-75. Интегральная оценка конкурентоспособности легковых автомобилей с учетом технического уровня. М.: Минавтопром, 1975.
6. Григорьев М.А., Долецкий В.А. К вопросу технико-экономической эффективности двигателей и управления их качеством // Автомобильная промышленность. 1976. №3. С. 1-3.
7. Володин А.Н. Технико-экономическая оценка эффективности машин многоцелевого назначения // Грузовик. 1999. №7. С. 25-27.
8. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. 2012. №1(1). С. 25-28.
9. Фасхиев Х.А. Обеспечение конкурентоспособности изделия на этапе разработки // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16. №5(50). С. 173-184.
10. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Методика оценки качества автомобилей // Экономическое возрождение России. 2006. №2(8). С. 57-62.
11. Фасхиев Х.А. Интеллектуальная поддержка ранжирования объектов по конкурентоспособности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18. №3(64). С. 210-224.
12. Фасхиев Х.А., Костин И.М. Технико-экономическая оценка грузовых автомобилей при разработке. Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2002. 480 с.
13. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Методика оценки качества автомобилей // Маркетинг в России и за рубежом. 2005. №4. С. 86-100.
14. Сероштан М.В., Михеева Е.Н. Качество непродовольственных товаров. М.: Дашков и Ко, 2010.
15. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
16. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Выбор весовых коэффициентов локальных критериев на основе принципа арифметической прогрессии // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. №9. С. 237-249.
17. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. №6. С. 267-287.
18. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Расчёт весовых коэффициентов критериев на основе принципа геометрической прогрессии // Аспирант и соискатель. 2022. №5(132). С. 21-26.
19. Плиев И.А., Вержбицкий А.Н. Методика оценки качества технического уровня АТС многоцелевого назначения // Автомобильная промышленность. 1999. №11. С. 34-36.
20. Плиев И.А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. №3(62). С. 46-49.
21. Плиев И.А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. №5(64). С. 50-54.
22. Морозов А.В. Комплексное сравнение объектов военной автомобильной техники типа MRAP на стадии проектирования // Журнал автомобильных инженеров. 2015. №1(90). С. 40-45.
23. Метод оценки технического уровня двигателей образцов бронетанкового вооружения и техники / А.В. Олейников, А.И. Макоклюев, Л.Г. Дулатина и др. // Наука и военная безопасность. 2022. №1(28). С. 17-21.
24. 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.
25. Методика вычисления интегрального показателя подвижности колесных вездеходов на основе метода многокритериальной оптимизации / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, Л.Н. Ерофеева и др. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. №3. С. 211-222.
26. Сравнительный анализ методов многокритериальной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимо-

сти характеристик / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, В.С. Макаров и др. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. №1(136). С. 125-136.

27. Преобразование качественных характеристик автотранспортных средств в количественные показатели с применением метода анализа иерархий / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, В.С. Макаров и др. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. №1(140). С. 97-106.
28. Прохоров Ю.К. Управление качеством: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 144 с.
29. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности и конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем: учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2001. 271 с.

References

1. Mironov B.N., Stepanov Z.V. *Istorik i matematika* [Historians and mathematics]. Leningrad: Nauka, 1975, 184 p. (In Russ.)
2. Mikheeva E.N., Seroshtan M.V. *Upravlenie kachestvom: Uchebnik* [Quality management: textbook]. Moscow: Dashkov and Co., 2017, 532 p. (In Russ.)
3. Belyakov V.V. Assessing mobility of transport and technological systems. «AVTO-NN-2000»: *materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [AUTO-NN-2000: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University, 2000, pp. 339-357. (In Russ.)
4. Belyakov V.V., Belyaev A.M., Bushueva M.E. et al. The concept of mobility of ground transport and technological machines. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. 2013;(3(100)):145-174. (In Russ.)
5. Instruction 137.001.017-75. *Integralnaya otsenka konkurentosposobnosti legkovykh avtomobilei s uchetom tekhnicheskogo urovnya* [An integral assessment of competitiveness of light vehicles, factoring into an engineering level]. Moscow: Minavtoprom, 1975. (In Russ.)
6. Grigorev M.A., Doletsky V.A. On the issue of the feasibility study on motors and their quality management. *Avtomobilnaya promyshlennost* [Automotive Industry]. 1976;(3):1-3. (In Russ.)
7. Volodin A.N. A technical and economic assessment of efficiency of multi-purpose vehicles. *Gruzovik* [Trucks]. 1999;(7):25-27. (In Russ.)
8. Pichkalev A.V. Generalized Harrington's desirability function for the comparative analysis of technical facilities. *Issledovaniya naukograda* [Studies of the Science City]. 2012;(1(1)):25-28. (In Russ.)
9. Faskhiev Kh.A. Ensuring competitiveness of products at the engineering stage. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Ufa State Aviation Technical University]. 2012;16(5(50)):173-184. (In Russ.)

10. Faskhiev Kh.A., Krakhmaleva A.V. A car quality assessment procedure. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii* [Economic Revival of Russia]. 2006;(2(8)):57-62. (In Russ.)
11. Faskhiev Kh.A. Intelligent support of the object ranking by competitiveness. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Ufa State Aviation Technical University]. 2014;18(3(64)):210-224. (In Russ.)
12. Faskhiev Kh.A., Kostin I.M. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka gruzovykh avtomobilei pri razrabotke* [A feasibility study on trucks at the engineering stage]. Naberezhnye Chelny: Kama Polytechnic Institute, 2002, 480 p. (In Russ.)
13. Faskhiev Kh.A., Krahmaleva A.V. A car quality assessment procedure. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and abroad]. 2005;(4):86-100. (In Russ.)
14. Seroshtan M.V., Mikheeva E.N. *Kachestvo neprodovolstvennykh tovarov* [Quality of non-food goods]. Moscow: Dashkov and Co., 2010. (In Russ.)
15. Saaty T.L., Kearns K. *Analiticheskoe planirovanie* [Analytical planning]. Moscow: Radio i Svyaz, 1991, 224 p. (In Russ.)
16. Postnikov V.M., Spiridonov V.M. Choosing weighting coefficients of local criteria by an arithmetic progression principle. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Journal of Bauman Moscow State Technical University]. 2015;(9):237-249. (In Russ.)
17. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. Methods of choosing weighting coefficients of local criteria. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Journal of Bauman Moscow State Technical University]. 2015;(6):267-287. (In Russ.)
18. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. Calculating weighting coefficients of criteria by a geometric progression principle. *Aspirant i soiskatel* [Postgraduate Students and External Postgraduate Students]. 2022;(5(132)):21-26. (In Russ.)
19. Pliev I.A., Verzhbitsky A.N. The procedure for assessing the quality of an engineering level of multi-purpose vehicles. *Avtomobilnaya promyshlennost* [Automotive Industry]. 1999;(11):34-36. (In Russ.)
20. Pliev I.A. Assessing an engineering level of families of multi-purpose vehicles by the analytic hierarchy process. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2010;(3(62)):46-49. (In Russ.)
21. Assessing an engineering level of families of multi-purpose vehicles by the analytic hierarchy process. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2010;(5(64)):50-54. (In Russ.)
22. Morozov A.V. A comprehensive comparison of military vehicles of MRAP type at the engineering stage. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2015;(1(90)):40-45. (In Russ.)
23. Oleinikov A.V., Makoklyuev A.I., Dulatina L.G. et al.

- The method for assessing an engineering level of motors of samples of armament of armored fighting vehicles and machines. *Nauka i voennaya bezopasnost* [Science and Military Security]. 2022;(1(28)):17-21. (In Russ.)
24. Mazunova L.N., Dubkova M.A., Belyakov V.V. et al. Developing a procedure of calculating a mobility index for passenger cars based on a multi-objective optimization. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. 2021;(2(133)):102-112. (In Russ.)
25. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N. et al. Developing a procedure of calculating a mobility index for all-wheel drive vehicles based on a multi-objective optimization. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific and Technical Journal of Bryansk State University]. 2022;(3):211-222. (In Russ.)
26. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Makarov V.S. et al. A comparative analysis of methods of multi-criteria assessment of competitiveness and mobility of automotive vehicles and tractors, factoring into indicator weight. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. 2022;(1(136)):125-136. (In Russ.)
27. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Makarov V.S. et al. Transforming qualitative characteristics of vehicles into quantitative indicators by the analytic hierarchy process. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. 2023;(1(140)):97-106. (In Russ.)
28. Prokhorov Yu.K. *Upravlenie kachestvom: Uchebnoe posobie* [Quality management: study guide]. Saint Petersburg: ITMO University, 2007, 144 p. (In Russ.)
29. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya v zadachakh podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh system: ucheb. posobie* [Multi-criteria optimization in problems of mobility, competitiveness of automotive vehicles and tractors and diagnostics of complex technical systems: study guide]. Nizhny Novgorod: Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, 2001, 271 p. (In Russ.)

Поступила 30.05.2023; принята к публикации 01.06.2023; опубликована 25.09.2023
Submitted 30/05/2023; revised 01/06/2023; published 25/09/2023

Мазунова Лариса Николаевна – старший преподаватель, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия.
Email: matematixx@mail.ru. ORCID 0000-0003-3262-8348

Беляков Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, начальник управления научно-исследовательских и инновационных работ НГТУ им. Р.Е. Алексева, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия.
Email: nauka@nntu.ru. ORCID 0000-0003-0203-9403

Ерофеева Лариса Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой «Высшая математика», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия.
Email: erofeevaln@mail.ru. ORCID 0000-0001-6535-1459

Бушуева Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, декан факультета довузовской подготовки и дополнительных образовательных услуг, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия. Email: bme@nntu.ru. ORCID 0000-0002-0071-2417

Larisa N. Mazunova – Senior Lecturer, Institute of Transport Systems, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: matematixx@mail.ru. ORCID 0000-0003-3262-8348

Vladimir V. Belyakov – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Directorate for Research and Innovation, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: nauka@nntu.ru. ORCID 0000-0003-0203-9403

Larisa N. Erofeeva – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of the Further Mathematics Department, Institute of Transport Systems, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: erofeevaln@mail.ru. ORCID 0000-0001-6535-1459

Marina E. Bushueva – PhD (Eng.), Associate Professor, Dean of the Department of Pre-University Training and Further Educational Services, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia. Email: bme@nntu.ru. ORCID 0000-0002-0071-2417