

УДК (UDC) 629.1.07

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ
ПОДВИЖНОСТИ КОЛЕСНЫХ ВЕЗДЕХОДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
МНОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИMETHOD FOR CALCULATING THE INTEGRAL MOBILITY INDEX OF
WHEELED ALL-TERRAIN VEHICLES BASED ON THE MULTI-CRITERIA
OPTIMIZATION METHODМазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Макаров В.С., Бушуева М.Е.
Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Makarov V.S., Bushueva M.E.Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev (Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Аннотация. Среди существующего многообразия нередко встает проблема сравнения нескольких образцов автотракторной техники, способных выполнять свои функции в определенных условиях и при заданных режимах эксплуатации, а, следовательно, и выбора оптимального конструкторского решения. Это влечет за собой необходимость разработки методики оценки качества, которая давала бы возможность каждому рассматриваемому образцу поставить в соответствие количественный показатель, отражающий его эксплуатационные свойства и функциональные возможности. В данном исследовании авторы перед собой ставят следующую цель – разработать универсальную методику, позволяющую вычислить показатель подвижности автотракторной техники, учитывая только лишь конструкционные особенности, т.е. в условиях эксплуатации их на твердой дорожной поверхности без учета условий пересеченной местности. На основании аналитических данных, отражающих технические характеристики машин, такие как скоростные, тормозные и тяговые свойства, управляемость и маневренность, устойчивость, плавность хода, проходимость и др. строятся эмпирические критерии, затем простейшие показатели агрегируются в один интегральный с учетом весомости их вклада в показатель подвижности. Используя полученную методику были вычислены показатели подвижности для ряда моделей колесных вездеходов и приведены ранжированные ряды машин по этому показателю.

Ключевые слова: подвижность по мобильности, оценка качества, показатель подвижности, многокритериальная оптимизация, метод анализа иерархий.

Дата принятия к публикации: 15.09.2022
Дата публикации: 25.09.2022

Abstract. Among the existing variety the problem of comparison of several samples of automotive equipment capable of performing their functions under certain conditions and under the specified operating conditions often arises, and, consequently, the problem of choice of the optimal design solution. This entails the need to develop a methodology for assessing the quality, which would make it possible for each sample under consideration to match a quantitative indicator displaying its operational properties and functionality. In this study, the authors set themselves the following goal - developing a universal methodic that allows to calculate the mobility index of automotive equipment considering only the structural features, that is, in the conditions of their operation on a solid road surface without taking into account the conditions of rough terrain. Based on analytical data displaying the technical characteristics of the machines, such as speed, braking and traction properties, controllability and maneuverability, stability, smoothness, patency, etc. empirical criteria are constructed, then the simplest indicators are aggregated into integral one, taking into account the weight of their contribution to the mobility indicator. Using the obtained methodology, the mobility indicators for a number of models of wheeled all-terrain vehicles were calculated, the ranked vehicle series are given according to this indicator.

Keywords: mobility, quality assessment, mobility index, multi-criteria optimization, hierarchy analysis method.

Date of acceptance for publication: 15.09.2022
Date of publication: 25.09.2022

Сведения об авторах:

Мазунова Лариса Николаевна – старший преподаватель кафедры «Высшая математика», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
e-mail: matematixx@mail.ru.

ORCID: 0000-0003-3262-8348

Беляков Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, начальник Управления научно-исследовательских и инновационных работ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
e-mail: nauka@nntu.ru.

ORCID: 0000-0003-0203-9403

Ерофеева Лариса Николаевна – кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой «Высшая математика», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
e-mail: erofeevaln@mail.ru.

ORCID: 0000-0001-6535-1459

Макаров Владимир Сергеевич – доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
e-mail: makvl2010@gmail.com.

ORCID: 0000-0002-4423-5042

Бушуева Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, декан, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
e-mail: bme@nntu.ru.

ORCID: 0000-0002-0071-2417

Authors' information:

Larisa N. Mazunova – Senior Lecturer at the Department of «Higher Mathematics», Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
e-mail: matematixx@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3262-8348

Vladimir V. Belyakov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Research and Innovation Works, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
e-mail: nauka@nntu.ru.

ORCID: 0000-0003-0203-9403

Larisa N. Erofeeva – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of "Higher Mathematics", Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
e-mail: erofeevaln@mail.ru.

ORCID: 0000-0001-6535-1459

Vladimir S. Makarov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Construction and Road Machines", Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
e-mail: makvl2010@gmail.com.

ORCID: 0000-0002-4423-5042

Marina E. Bushueva – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Dean of the Faculty of Pre-University Training and Additional Educational Services Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
e-mail: bme@nntu.ru.

ORCID: 0000-0002-0071-2417

1. Введение

Современная автомобильная промышленность ежегодно выпускает огромное количество разнообразных транспортных средств, которые обладают различными техническими характеристиками. В соответствии с этим автомобили обладают конструктивными и эксплуатационными особенностями, носящими как количественный, так и качественный характер различий.

В настоящее время разработано много методик оценивания качества продукции [1]. Поскольку сравнение образцов происходит по нескольким критериям, в основе таких алгоритмов лежит задача многокритериальной оптимизации [2-5].

Широко применимым методом решения многокритериальных задач является метод объединения векторного критерия. Свертывание критериев может осуществляться ад-

дитивным, мультипликативным и среднестепенным способом.

Поскольку эмпирические показатели вносят неравномерный вклад в обобщенный критерий, возникает необходимость определения весовых коэффициентов. Для расчёта коэффициентов весомости существуют как субъективные способы, например метод экспертных оценок, так и объективные [6]. К последним можно отнести метод регрессионных зависимостей и метод попарных сравнений, или метод анализа иерархий, разработанный Т. Саати [7]. Кроме всего прочего метод Саати может применяться для получения количественных оценок качественных показателей. Авторы считают этот метод наиболее эффективным и научно обоснованным.

2. Постановка задачи

Подвижность транспортных средств - свойство, которое может характеризовать

машину с глобальной позиции обобщения ее эксплуатационных свойств. Показатель подвижности определяет готовность транспортного средства выполнять поставленную задачу, служит количественной оценкой адаптивности к условиям эксплуатации и состоянию самой машины [8-11]. Система критериев, по которым ведется оценивание, представлена в табл. 1.

Таблица 1.

Система критериев подвижности

Критерий	Формализация
Запас тягового усилия	$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}$
Баланс мощности	$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}$
Поддержание курсовой ориентации	$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}$
Подвижность по живучести	$R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}$
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	

3. Модель вычисления показателя подвижности

Алгоритм вычисления показателя подвижности включает в себя несколько основных этапов. На первом этапе происходит отбор простейших оценочных критериев, которые вносят определенный вклад в комплексную оценку подвижности. Следует отметить, что в зависимости от вида и назначения транспортного средства состав эмпирических критериев может варьироваться. Показатели, характеризующие транспортное средство качественным образом, на этом этапе преобразуют в количественные с использованием метода анализа иерархий. Адекватность рассуждений проверяют с помощью индекса согласованности [11, 12].

Среди полного перечня эксплуатационных показателей автотракторной техники для получения показателя подвижности колесных вездеходных машин выделяют критерии технической эффективности, отра-

жающие тягово-скоростные свойства, управляемость, устойчивость, проходимость, оценки по габаритным размерам, весу и грузоподъемности. В настоящем исследовании в качестве локальных критериев ($Q_{ij}, i = \overline{1, 8}, j = \overline{1, 5}$) рассмотрены рабочий объем (л), мощность (л.с), максимальный крутящий момент (Н·м), максимальная скорость движения по шоссе и на плаву (км/ч), максимально-допустимая масса (кг), грузоподъемность (кг), диагональ машины (мм), колея (мм), дорожный просвет (мм), угол подъема (град), глубина преодолеваемого брода (м), колесная база (мм), количество колес (шт.), давление движителя на грунт (кг/см²), угол бокового крена (град), минимальный радиус поворота (м), соотношение колеи и колесной базы (%), длина (мм), ширина (мм), высота (мм).

На втором этапе производится нормировка эмпирических критериев. Путем линейного преобразования их значения приводят к шкале [0, 1]. Отдельно пересчитываются «прямые» критерии, увеличение значений которых увеличивают показатель подвижности и «обратные», увеличение которых снижают подвижность [13].

Нормированные показатели объединяются в групповые. Для колесных вездеходов все локальные критерии можно разбить на 8 групп: тягово-скоростные Q_1 , показатели профильной проходимости Q_2 , показатели опорной проходимости Q_3 , показатели устойчивости Q_4 , показатели управляемости Q_5 , показатели масс Q_6 , габаритные показатели Q_7 , показатели дискретной проходимости Q_8 . Каждая группа включает в себя от одного до пяти локальных критериев. Групповые значения вычисляются в данном случае без учета весовых характеристик.

Для повышения объективности оценки подвижности групповые значения входят в состав интегрального показателя с весовыми коэффициентами. Весовые характеристики локальных критериев в составе интегральных можно получить различными методами, в том числе на базе сравнения, основанного на принципах арифметической и геометри-

ческой прогрессий [14, 15]. В качестве метода определения весовых характеристик может быть выбран метод анализа иерархий, основанный на попарном сравнении критериев в смысле их вклада в интегральный показатель. В контексте сравнительного анализа обе группы методов были рассмотрены применительно к семейству легковых автомобилей [16].

На первом этапе применения метода анализа иерархий изображается структура проблемы в виде иерархической схемы (рис.1).

Для рассматриваемых в настоящем исследовании колесных вездеходных транспортных средств двухуровневая структура показателя подвижности представлена в

табл.2. Заметим, что одна из групп эмпирических показателей может описывать местность, на которой эксплуатируется машина. В данном исследовании эти характеристики подвижности не учитываются.

В случае двойного взвешивания сначала находят коэффициенты весомости эмпирических критериев внутри каждой группы показателей, а затем тем или иным способом рассчитывается групповой вектор весовых коэффициентов. Таким образом, глобальные весовые коэффициенты будут равны произведению весового коэффициента эмпирического критерия на весовой коэффициент локального группового показателя.

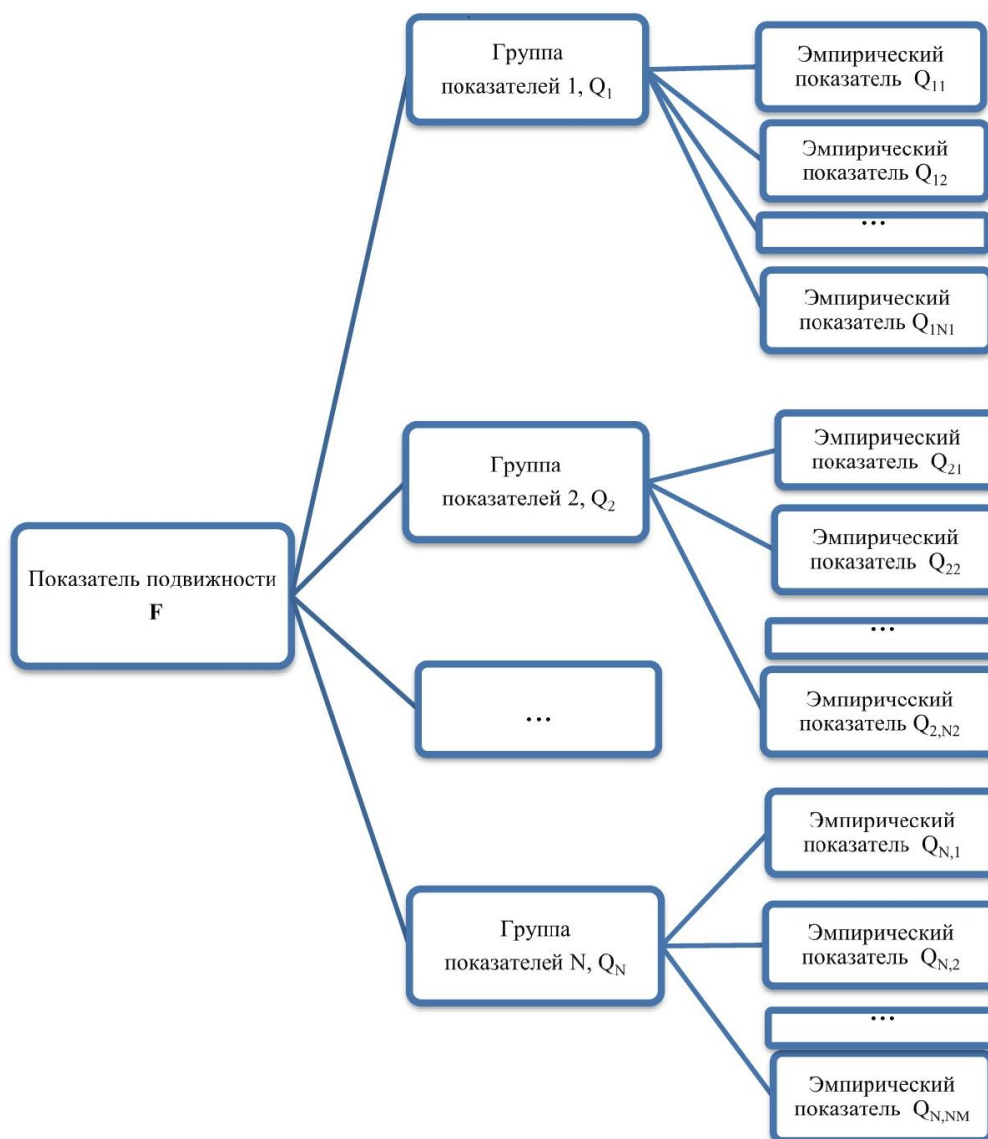


Рис.1. Иерархическая структура интегрального показателя подвижности

Таблица 2

Структура интегрального показателя подвижности

Обозначение	Эмпирические показатели	Направление оптимизации показателей	Групповые показатели
Q ₁₁	Рабочий объем, л	max	Тягово-скоростные свойства, Q ₁
Q ₁₂	Мощность, л.с	max	
Q ₁₃	Максимальный момент, Нм	max	
Q ₁₄	Максимальная скорость движения по шоссе, км/ч	max	
Q ₁₅	Максимальная скорость движения на плаву, км/ч	max	
Q ₂₁	Колея, мм	max	Профильная проходимость, Q ₂
Q ₂₂	Дорожный просвет, мм	max	
Q ₂₃	База, мм	min	
Q ₂₄	Угол подъема (с полной нагрузкой), град	max	
Q ₂₅	Глубина преодолеваемого брода, м	max	
Q ₃₁	Количество колес, шт	max	Опорная проходимость, Q ₃
Q ₃₂	Давление движителя на грунт, кг/см ²	min	
Q ₃₃	Давление воздуха в шине	min	
Q ₄₁	Боковой крен (без нагрузки), град	max	Устойчивость, Q ₄
Q ₅₁	Минимальный радиус поворота (по колее наружного переднего колеса), м	min	Управляемость, Q ₅
Q ₅₂	Соотношение колесной базы и колеи	min	
Q ₆₁	Снаряженная масса без груза, кг	min	Показатели масс, Q ₆
Q ₆₂	Грузоподъемность, кг	max	
Q ₇₁	Длина, мм	min	Габаритные показатели, Q ₇
Q ₇₂	Ширина, мм	min	
Q ₇₃	Высота, мм	min	
Q ₈₁	Диагональ машины, мм	min	Дискретная проходимость, Q ₈

Обобщенный показатель подвижности строится как аддитивная функция локальных (групповых) критериев с учетом коэффициентов весомости их вклада в интегральный показатель $F(w, \tilde{Q}_i) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \tilde{Q}_i$. В приведенной формуле $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_n\}$ – вектор частных (групповых) критериев, $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – вектор весовых коэффициентов относительной важности частных

критериев, сумма компонентов которого равна единице $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Матрица попарных сравнений для получения весовых характеристик групповых показателей методом анализа иерархий приведено в табл. 3. Каждый элемент матрицы представляет собой отношение веса i -го группового показателя к весу j -го показателя. Последний столбец таблицы содержит компоненты весового вектора.

Таблица 3

Определение весовых характеристик групповых показателей методом анализа иерархий

Группы показателей	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Весовые коэффициенты
Q ₁	1,000	0,111	0,111	0,200	0,200	2,000	9,000	0,111	0,026
Q ₂	9,000	1,000	1,000	1,800	1,800	18,000	81,000	1,000	0,233
Q ₃	9,000	1,000	1,000	1,800	1,800	18,000	81,000	1,000	0,233
Q ₄	5,000	0,556	0,556	1,000	1,000	10,000	45,000	0,556	0,129
Q ₅	5,000	0,556	0,556	1,000	1,000	10,000	45,000	0,556	0,129
Q ₆	0,500	0,056	0,056	0,100	0,100	1,000	4,500	0,056	0,013
Q ₇	0,111	0,012	0,012	0,022	0,022	0,222	1,000	0,012	0,003
Q ₈	9,000	1,000	1,000	1,800	1,800	18,000	81,000	1,000	0,233

Принципиальная схема вычисления интегрального показателя подвижности, характеризующего конструкционные и эксплуатационные качества транспортного средства, приведена на рис. 2. Семейства рассматриваемых автомобилей целесообразно оценивать по группам сходных по типу и назначению транспортных средств, в силу различий номенклатуры показателей и весовых характеристик.

4. Анализ результатов

Опираясь на описанную методику, были вычислены интегральные показатели подвижности вездеходных машин с колесным движителем. Рассматривались линейки вездеходов производства ООО «Завод вездеходных машин», ООО «Трансмаш», «Трэкол», ООО «Мег Вест», семейство вездехо-

дов «Русак» и другие образцы машин. В качестве исходных данных, или эмпирических критериев, взяты технические характеристики транспортных средств, заявленные производителями. В данной работе при получении оценки подвижности класс вездеходной техники не учитывался, наряду с тяжелой вездеходной техникой рассматривались и легкие машины.

Реализация алгоритма осуществлялась в среде электронных таблиц MS Excel, что позволяет оперативно вносить изменения и дополнения, а также дает возможность наглядного представления результатов как в цифровом, так и графическом отображении.

Весовые коэффициенты существенно влияют на распределение машин по показателю подвижности (рис. 3 - 4).

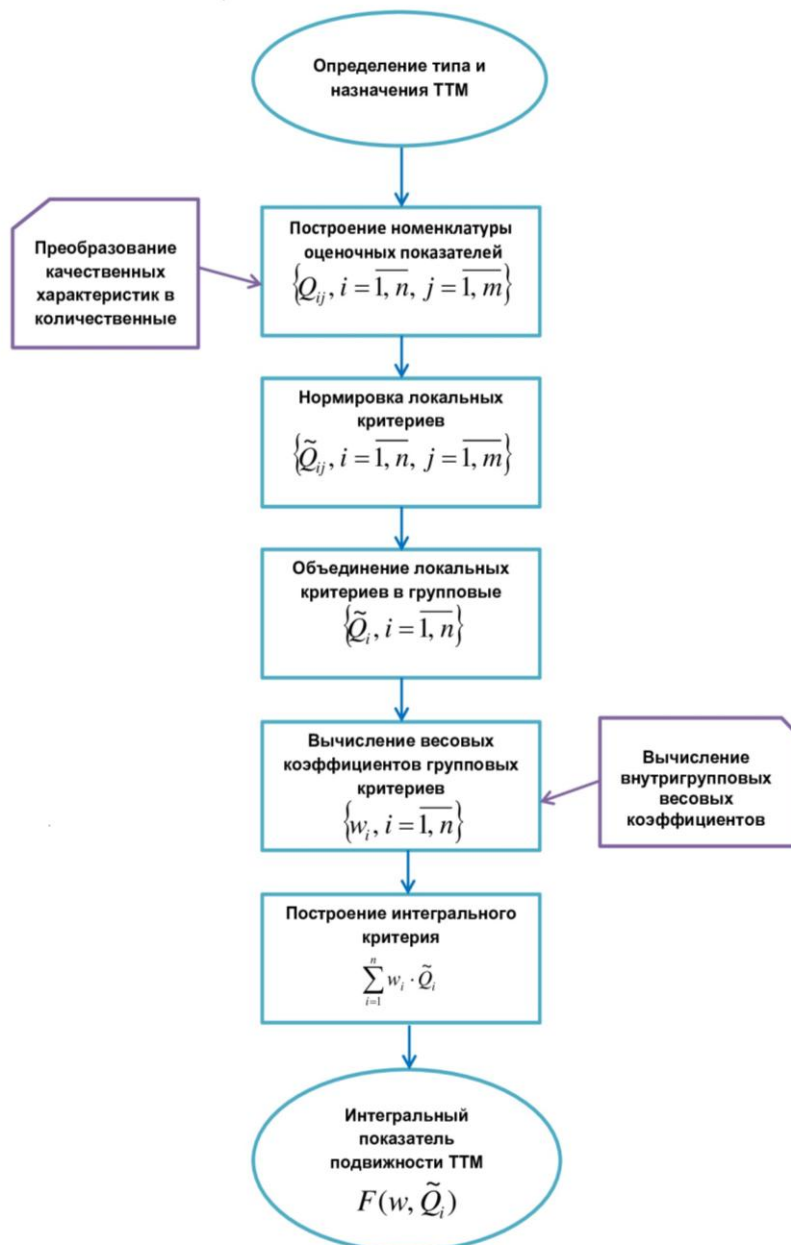


Рис.2. Алгоритм вычисления интегрального показателя подвижности

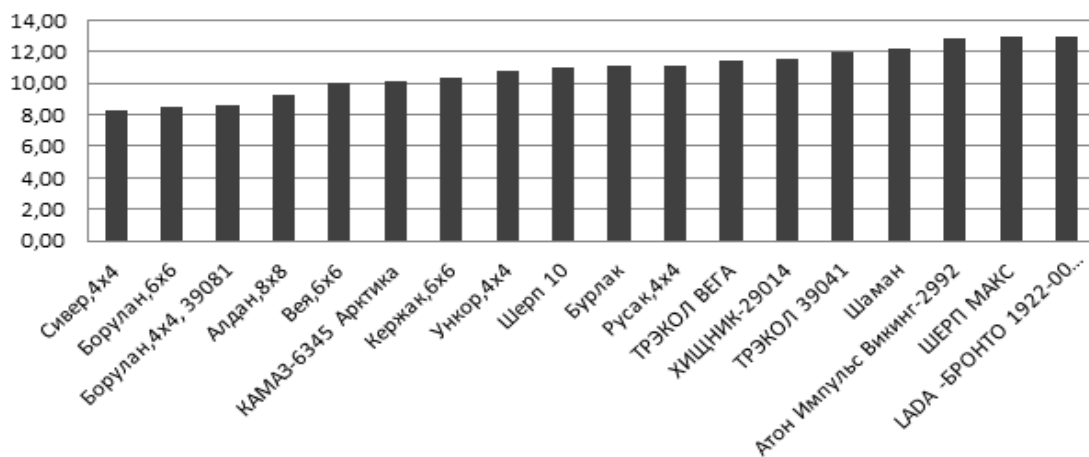


Рис. 3. Ранжированный ряд машин по показателю подвижности, вычисленному без учета весовых коэффициентов

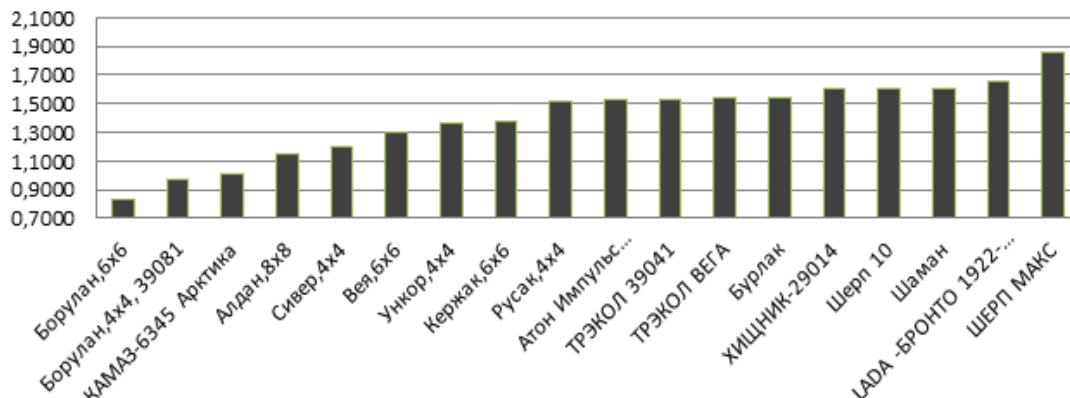


Рис. 4. Ранжированный ряд машин по показателю подвижности, вычисленному с учетом весовых коэффициентов

Полученные результаты позволяют выстраивать машины в ранжированный ряд и сравнивать различные модификации внутри

какого-либо одного производства (рис. 5 - 9), так и в целом по рассматриваемой совокупности.

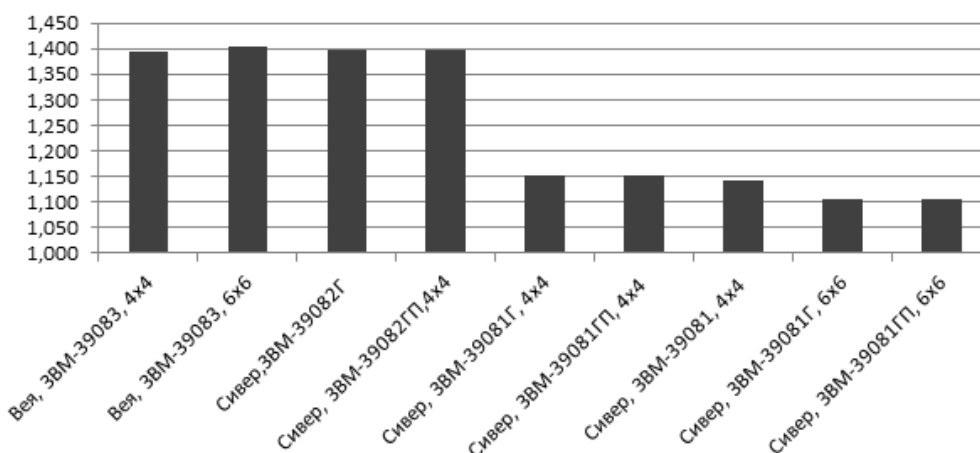


Рис. 5. Распределение машин ООО «ЗВМ» по показателю подвижности

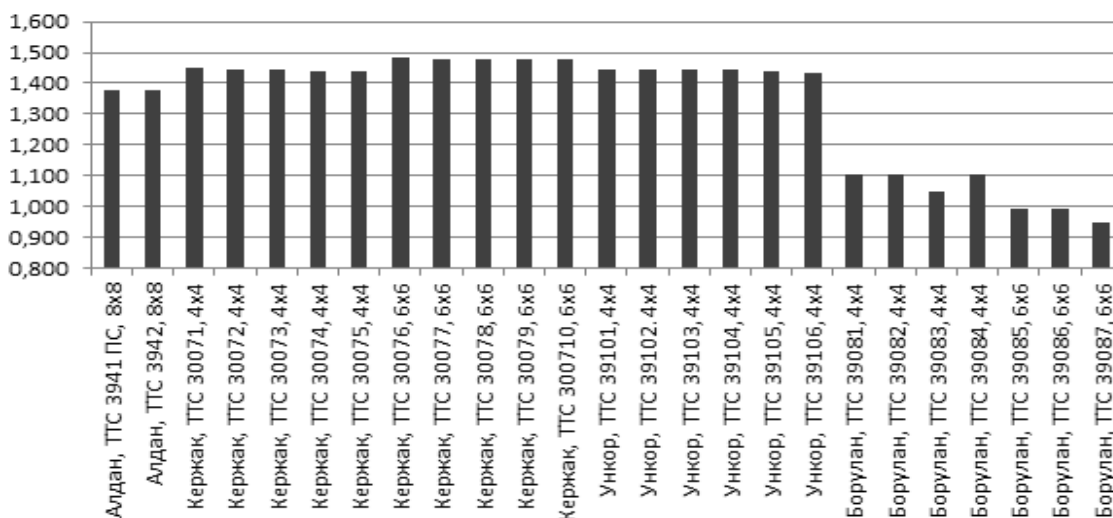


Рис. 6. Распределение машин ООО «Трансмаш» по показателю подвижности

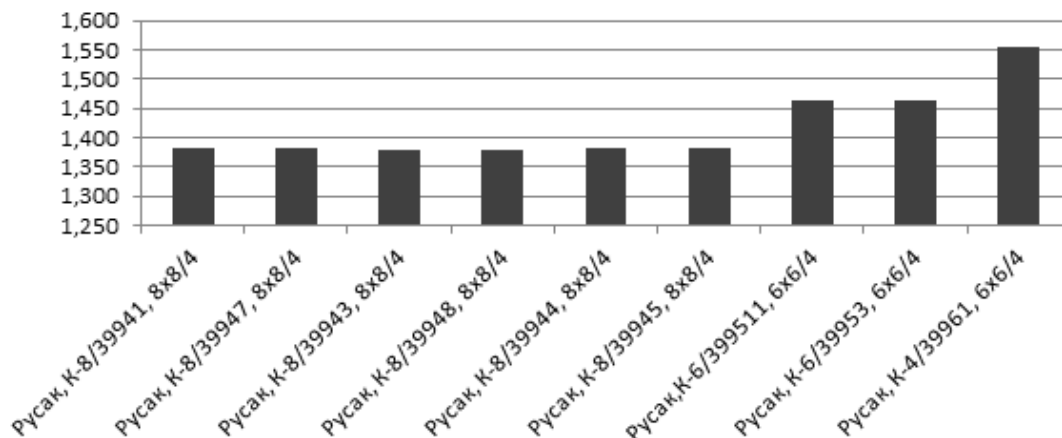


Рис. 7. Распределение машин ООО «Русак» по показателю подвижности

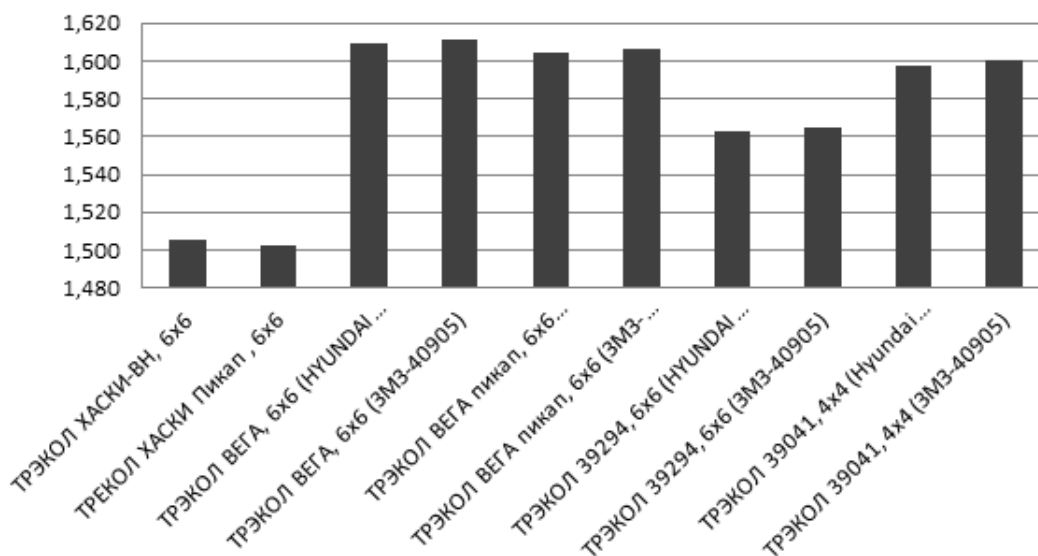


Рис. 8. Распределение машин ООО «Трэкол» по показателю подвижности

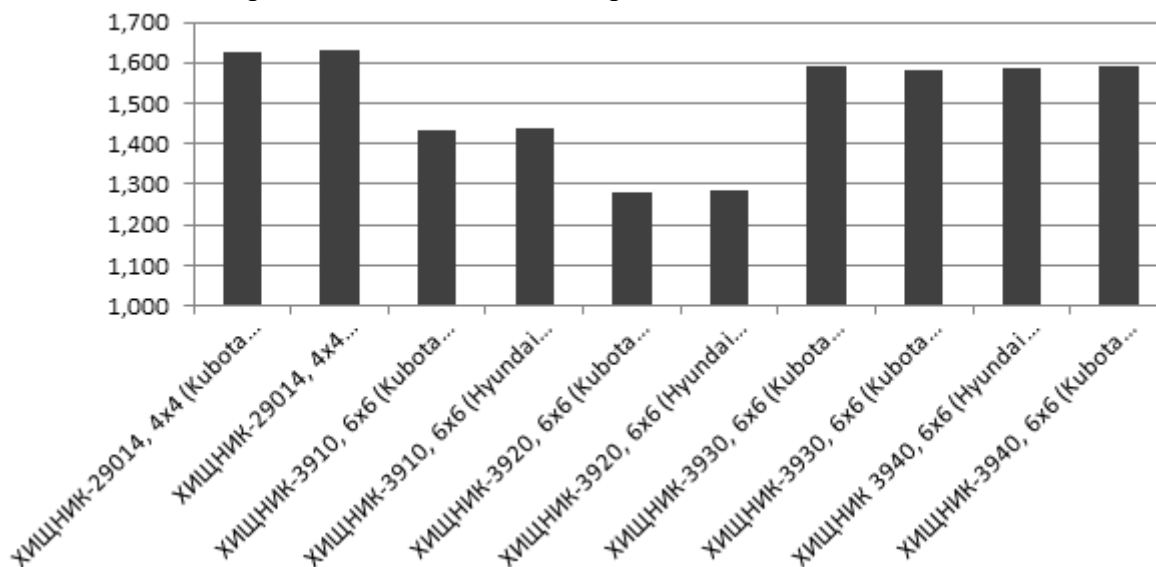


Рис. 9. Распределение машин ООО «Мег Вест» по показателю подвижности

Приведенные выше диаграммы представлены без учета разделения машин по группам: малые, средние и большие вездеходы, что вызывает некоторую нечеткость в интерпретации результатов.

5. Заключение

Предложенная методика позволяет вычислить интегральный показатель подвижности транспортно-технологических машин на основании аналитических данных, представляющих собой технические характеристики машин, с использованием весовых коэффициентов, отражающих наиболее значимые с точки зрения потребителя свойства. С помощью вычисленных показателей можно сравнивать несколько образцов автотрактор-

ной техники с учетом их назначения и условий эксплуатации как в условиях одного предприятия-производителя, так и между производителями-конкурентами. Полученные результаты дают возможность вносить конструктивные изменения на этапе проектирования с целью оптимизации стоимости транспортных операций и снижения неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

В основу дальнейшего совершенствования данной методики может быть положено предварительное разделение вездеходов на группы по классам и назначению, а также создание наиболее полной иерархической классификации номенклатуры оценочных показателей. Это значительно повысит объективность оценочных показателей.

Список литературы

1. Фасхиев Х. А. Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей // Методы менеджмента качества. 2001. № 3. С. 24–28; № 4. С. 21–26.
2. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Решение задачи оценки подвижности автотракторной техники с помощью многокритериальной оптимизации // «Информационные системы и технологии» (ИСТ-2001): тезисы докл. Всеросс. научно-техн. конф., посвященной 65-летию факультета информационных систем и технологий НГТУ, Н. Новгород 20 апреля 2001 г. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2001. С. 167-168.
3. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2001. 271 с.
4. Беляков В.В. Многокритериальная оценка подвижности автотракторной техники // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001: Тр. междунар. научно-техн. конф., 27-29 июня 2001 г. СПб, 2001. С. 95-99.
5. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Четыре многокритериальных задачи для оценки подвижности автотракторной

References

1. Faskhiev H.A. Analiz metodov otsenki kachestva i konkurentosposobnosti gruzovykh avtomobiley. *Metody menedzhmenta kachestva*, 2001, No.3, pp. 24–28; No.4. pp. 21–26. (In Russian)
2. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. Reshenie zadachi otsenki podvizhnosti avtotraktornoy tekhniki s pomoshchyu mnogokriterialnoy optimizatsii. *Proceedings of the Informacionnye sistemy i tekhnologii*, N. Novgorod, 2001, pp. 167-168. (In Russian)
3. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya v zadachah podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnyh tekhnicheskikh sistem*. N. Novgorod, 2001. 271 p. (In Russian)
4. Belyakov V.V. *Mnogokriterialnaya otsenka podvizhnosti avtotraktornoy tekhniki. Proceedings of the International Conference INTERSTROYMEKH-2001*, Saint Petersburg, 2001, pp. 95-99. (In Russian)
5. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. *Chetyre mnogokriterialnykh zadachi dlya otsenki podvizhnosti avtotraktornoy tekhniki. Sistemy obrabotki informatsii i upravleniya*, 2001, No.8, pp. 106-113. (In Russian)
6. Faskhiev H.A. *Opredelenie vesomosti*

техники // Системы обработки информации и управления: межвуз. сб. науч. тр. 2001. Вып. 8. С. 106-113.

6. Фасхиев Х. А. Определение весомости показателей качества автомобилей и их компонентов // Грузовик. 2008. № 5. С.23 – 27.

7. Саати Т. Принятие решения. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.

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. 2003. Т. 5. С.3-25.

9. Беляков В.В., Беляев А.М., Бушуева М.Е. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3 (100). С. 145-174.

10. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Голышев Е.Ю. Оценка подвижности транспортно-технологических машин // Колесные машины: сб. тр. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. С. 29-30.

11. Плиев И.А. Оценка технического уровня семейства автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. №3 (62), №5 (64).

12. Плиев И.А., Вержбицкий А.Н. Методика оценки технического уровня АТС многоцелевого назначения // Автомобильная промышленность. 1999. №11. С. 34 - 36.

13. Мазунова Л. Н., Дубкова М.А., Беляков В.В., Бушуева М.Е., Макаров В.С., Ерофеева Л.Н. Разработка методики вычисления показателя подвижности по мобильности легковых автомобилей, основанной на применении многокритериальной оптимизации // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2(133). С. 102-112.

14. Постников В. М., Спиридонов С. В. 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.

15. Постников В. М., Спиридонов С. В. Методы выбора весовых коэффициентов

pokazateley kachestva avtomobiley i ih komponentov. *Gruzovik*, 2008, No.5, pp. 23 – 27. (In Russian)

7. Saati T. *Prinyatie resheniya. Metod analiza ierarhiy*. Moscow, 1989. 316 p. (In Russian)

8. Belyakov V.V. Podvizhnost i konkurentosposobnost transportno-tehnologicheskikh mashin. *Izvestiya Akademii inzhenernykh nauk RF im. akad. A.M. Prohorova*, 2003, Vol. 5, pp. 3-25. (In Russian)

9. Belyakov V.V., Belyaev A.M., Bushueva M.E. Kontsepsiya podvizhnosti nazemnykh transportno-tehnologicheskikh mashin. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2013, No.3, pp. 145-174. (In Russian)

10. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Golyshev E.Yu. Otsenka podvizhnosti transportno-tehnologicheskikh mashin. *Kolesnye mashiny: sb. tr. MGTU im N.E. Baumana*, 2003, pp. 29-30. (In Russian)

11. Pliev I.A. Otsenka tekhnicheskogo urovnya semeystva avtomobiley mnogotselevogo naznacheniya na osnove metoda analiza ierarhiy. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*, 2010, No.3 (62), No.5 (64). (In Russian)

12. Pliev I.A., Verzhbickij A.N. Metodika otsenki tekhnicheskogo urovnya ATS mnogocelevogo naznacheniya. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 1999, No.11, pp. 34 - 36. (In Russian)

13. Mazunova L.N. Dubkova M.A., Belyakov V.V., Bushueva M.E., Makarov V.S., Erofeeva L.N. *Razrabotka metodiki vychisleniya pokazatelya podvizhnosti po mobilnosti legkovykh avtomobiley, osnovannoy na primenenii mnogokriterialnoy optimizatsii* [Developing a method of calculating a mobility index for passenger cars based on the application of multi-objective optimization]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2021, No.2(133), pp. 102-112. (In Russian)

14. Postnikov V.M., Spiridonov V.M. Vybor vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev na osnove printsipa arifmeticheskoy progressii. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*, 2015, No. 9, pp. 237-249. (In Russian)

локальных критериев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 6. С. 267-287.

16. Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Макаров В.С., Бушуева М.Е., Ерофеева Л.Н., Аникин А.А., Наумов В.Н. Сравнительный анализ методов многокритериальной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимости характеристик // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1(136). С. 125-136.

15. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. Metody vybora vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*, 2015, No.6, pp. 267-287. (In Russian)

16. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Makarov V.S., Bushueva M.E., Erofeeva L.N., Anikin A.A., Naumov V.N. *Sravnitelnyy analiz metodov mnogokriterialnoy otsenki konkurentosposobnosti i podvizhnosti avtotraktornoy tekhniki s uchetom vesovoy znachimosti kharakteristik* [Comparative analysis of methods of multi-criteria assessment and mobility of automotive equipment, taking into account the weight significance of characteristics]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2022, No.1(136), pp. 125-136. (In Russian)