

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 658.512
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-2-166-175



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПОДВИЖНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е., Лазаревич С.В., Шетулова Т.Г.

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

Аннотация. Оценка качества сложных технических изделий является трудоемкой задачей, которая усложняется в том случае, когда оценку нужно получить на стадии проектирования или модернизации. Роль измерителя качества автотракторной техники может выполнять интегральный показатель подвижности. Термин «подвижность» в работах профессора В.В. Белякова трактуется как характеризующий способность выполнять поставленную перед транспортно-технологической машиной задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины и является наиболее общим эксплуатационным свойством, определяющим качество машины. В предыдущих работах авторов продемонстрирована разработка и применение алгоритма вычисления интегрального показателя подвижности для автомобилей различного оперативно-функционального назначения. Целью работы является разработка и применение методики оценки и повышения подвижности транспортно-технологических машин, базирующейся на полученном алгоритме многокритериальной оценки качества, который предполагает декомпозицию интегрального свойства на простейшие составляющие, а затем агрегирование эмпирических показателей посредством аддитивной свертки с учетом весовых коэффициентов критериев. Реализация алгоритма осуществлялась в среде имитационного моделирования Matlab Simulink. В статье показан результат применения полученной методики, проведен анализ возможности повышения подвижности путем внесения изменений в конструкцию транспортно-технологических средств и комплексов. В качестве объекта для исследования взят колесный снегоболотоход «Вез ЗВМ-39083». В результате были получены пороговые значения отдельных критериев, которые позволяют повысить значение интегрального показателя подвижности до заданного потребителем уровня. Разработанная методика может стать основой системы управления качеством продукции на стадии проектирования автотракторной техники.

Ключевые слова: качество, подвижность, транспортно-технологическая машина, наземные транспортно-технологические средства, автотракторная техника, интегральный показатель подвижности, весовые коэффициенты, многокритериальная оценка качества, Matlab Simulink

© Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е., Лазаревич С.В., Шетулова Т.Г., 2025

Для цитирования

Применение методики вычисления интегрального показателя подвижности с целью повышения качества наземных транспортно-технологических средств на этапе проектирования / Мазунова Л.Н., Беляков В.В., Ерофеева Л.Н., Бушуева М.Е., Лазаревич С.В., Шетулова Т.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №2. С. 166-175. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-166-175>



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

APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE INTEGRAL MOBILITY INDEX IN ORDER TO IMPROVE THE QUALITY OF GROUND TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL FACILITIES AND COMPLEXES AT THE DEVELOPMENT STAGE

Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Bushueva M. E., Lazarevich S.V., Shetulova T.G.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Assessing the quality of complex technical products is a time-consuming task, which becomes more complicated when an assessment needs to be obtained at the design or modernization stage. The integral mobility index can play the role of a quality measure for automotive equipment. The term “mobility” in the works of Professor V.V. Belyakov is interpreted as characterizing the ability to perform the task assigned to the transport and technological machine with optimal adaptability to the operating conditions and technical condition of the machine itself. In previous works authors demonstrated the development and application of an algorithm for calculating the integral mobility index for transport of various operational and functional purposes. The aim of this work is to develop and apply a methodology for evaluating and improving the mobility of transport and technological machines based on the obtained algorithm for multi-criteria quality assessment, which involves the decomposition of an integral property into the simplest components, and then aggregation of empirical indicators by means of additive convolution, taking into account the weighting coefficients of the criteria. The algorithm was implemented in the Matlab Simulink simulation environment. The article shows the result of applying the obtained methodology, analyzes the possibility of increasing mobility by making changes to the design of transport and technological facilities and complexes. The wheeled snowmobile “Вея ЗВМ-39083” was taken as an object for research. As a result, threshold values of individual criteria were obtained, which make it possible to increase the value of the integral mobility index to a predetermined level. The developed methodology can form the basis of a product quality management system at the design stage of automotive equipment.

Keywords: quality, mobility, transport and technological machine, ground transport and technological means, automotive equipment, integral mobility indicator, weighting coefficients, multi-criteria quality assessment, Matlab Simulink

For citation

Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Bushueva M. E., Lazarevich S.V., Shetulova T.G. Application of the Methodology for Calculating the Integral Mobility Index in Order to Improve the Quality of Ground Transportation and Technological Facilities and Complexes at the Development Stage. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 2, pp. 166-175. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-166-175>

Введение

В настоящее время оценка качества транспортно-технологических машин (ТТМ) на этапе проектирования или модернизации является весьма трудоемкой и малоэффективной задачей, поскольку не существует универсальной методики, позволяющей на основании совокупности оценочных показателей разрабатываемого образца определить его ожидаемое техническое качество, которое может измеряться интегральным показателем подвижности.

Для оценки влияния изменения одного из эмпирических критериев на изменение интегрального показателя подвижности и возможности его повышения до значения эталонного образца был разработан алгоритм, реализованный в пакете визуального программирования Matlab Simulink. Входными данными для расчётов служат значения оценочных показателей, их весовые коэффициенты, интегральный показатель подвижности машины, принятой в качестве эталонной.

Разработка и совершенствование научных инструментов оценки и прогнозирования подвижности

автотракторной техники на стадии проектирования позволит разработать технически сложное изделие с заранее заданным уровнем качества, получить исчерпывающую информацию о разрабатываемой ТТМ с точки зрения ее пригодности и целесообразности использования для решения каких-либо транспортно-технологических задач.

Подвижность как характеристика технического качества ТТМ

В семидесятых годах прошлого века были разработаны отраслевые инструкции, касающиеся вычисления интегрального показателя качества легковых автомобилей. В дальнейшем они легли в основу работ отечественных ученых. Кроме этого, качество технических объектов оценивалось с помощью показателей эффективности, коэффициента желательности, вычисляемого с помощью функции Харрингтона. Большое количество работ, посвященных оценке технического качества объектов по конкурентоспособности, принадлежат профессору Х.А. Фасхиеву [1-4]. В исследованиях И.А. Плиева

и А.Н. Вержбицкого построена методика оценки качества автотранспорта многоцелевого и двойного назначения [5-7]. Оценка производилась по критериям подвижности, проходимости, производительности, живучести.

В целом методы имеют два основных недостатка. Либо они не в полной мере описывают техническое качество машины, либо ориентированы на оценку качества машины по конкурентоспособности [8].

Для обобщенной оценки качества ТТМ используют критерий конкурентоспособности, так как он включает в себя широкий круг показателей. Качество легковых автомобилей целесообразно измерять его конкурентоспособностью, включающей в себя потребительские характеристики, такие как эстетичность, эргономичность, экологичность, безопасность. Однако вездеходная техника эксплуатируется в тяжелых условиях, осложненных геоклиматическими факторами, слабой несущей способностью поверхности движения, сложностью рельефа местности и сезонностью изменения интенсивности осадков, поэтому наиболее значимым свойством будет служить способность выполнять поставленную задачу в заданных условиях эксплуатации. Свойство подвижности, которому посвящено данное исследование, стоит на более высокой ступени иерархической лестницы показателей, характеризующих конструкцию и техническое состояние ТТМ (рис. 1). В связи с этим работа призвана решить не экономическую, а техническую задачу.

В работах профессора В.В. Белякова подвижность интерпретируется как обобщенная функция эксплуатационных и конструкционных свойств транспортно-технологических машин [9-16], на основе которой вы-

строена система оценочных показателей. С помощью декомпозиции интегрального свойства подвижности на групповые критерии оценочный показатель представим в виде упорядоченного графа. Иерархическая структура свойств (рис. 2) позволяет разработать многокритериальную систему оценки качества транспортно-технологических средств и комплексов по подвижности. Получение оценок подвижности представляет собой, с одной стороны, сложную техническую задачу, а с другой – задачу математического моделирования.

Для расширения номенклатуры измерителей технико-эксплуатационных свойств наземных транспортно-технологических средств (НТТС) был предложен перевод вербальных характеристик подвижности в количественные показатели на основе метода анализа иерархий [17]. В качестве примера получена количественная оценка типа энергетической установки в смысле его влияния на подвижность.

Для разработки системы оценочных показателей произведена классификация ТТМ по функциональному назначению. Это позволило сформировать иерархическую структуру интегрального свойства подвижности с учетом особенностей эксплуатации и режима работы ТС и построить систему векторов весовых коэффициентов. Общий вид интегрального показателя подвижности описывается скалярным произведением вектора групповых нормированных критерии и вектора весовых коэффициентов, который зависит от типа местности и режима работы НТТС. Наилучшее приближение расчетных показателей к экспертным оценкам позволяет получить методику, основанную на многокритериальности с учетом степени важности критерии [18].

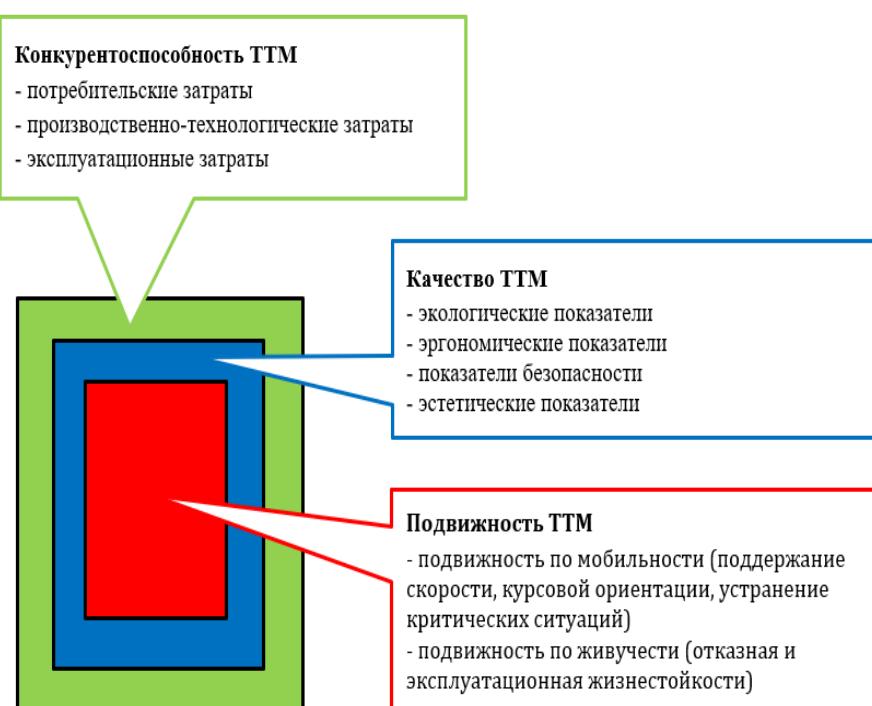


Рис. 1. Взаимосвязь интегральных показателей конкурентоспособности, качества и подвижности ТТМ
Fig. 1. The interrelation of integral indicators of competitiveness, quality and mobility of TTM



Рис. 2. Структура верхних уровней иерархии интегрального показателя подвижности вездеходной техники
Fig. 2. Structure of the upper levels of the hierarchy of the integral index of mobility of all-terrain vehicles

С помощью разработанной методики были вычислены интегральные показатели подвижности легковых автомобилей, вездеходной техники. Опираясь на вычисленные значения интегрального показателя, была получена оценка подвижности колесных вездеходов [19]. Это позволило сравнивать несколько образцов агротракторной техники, произведенной как на различных предприятиях, так и внутри одного производства. При расчётах использовались весовые коэффициенты критерии, соответствующие движению транспортных средств по дорогам с твердым покрытием.

Математическая модель анализа изменения интегрального показателя подвижности

Поскольку одна из задач настоящего исследования заключается в построении методики, позволяющей на этапе проектирования и модернизации транспортно-технологических средств и комплексов вносить изменения в конструкцию с целью ее совершенствования, возникает необходимость разработки алгоритма, позволяющего проводить анализ возможности внесения таких изменений.

Для проведения анализа изменения интегрального показателя подвижности при изменении одного из эмпирических критерии был разработан алгоритм (рис. 3). Входными данными для расчётов служат вектор эмпирических показателей Q , вектор весовых коэффициентов W , вектора максимальных и минимальных значений параметров Q_{\max} и Q_{\min} , значение интегрального показателя подвижности эталонного образца $F_{\text{эт}}$. Процесс получения интегрального показателя исследуемой модели машины описан в преды-

дущих работах авторов [19, 20]. В настройках анализа требуется выбрать варьируемый параметр, шаг изменения параметра Δt с учетом направления нормировки, задать длительность имитации.

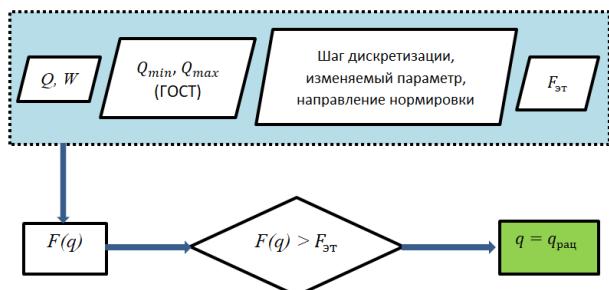


Рис. 3. Схема анализа изменения интегрального показателя подвижности ТТМ
Fig. 3. The scheme of the analysis of changes in the integral index of mobility of TTM

Алгоритм реализован в пакете визуального программирования Matlab Simulink. На одной координатной плоскости выводится график зависимости интегрального показателя подвижности опытного образца от одного из оценочных параметров q_i , совмещенного с показателем подвижности эталонного образца, который считается постоянным. Графически определяется точка, соответствующая шагу имитации t^* , на котором значение интегрального показателя подвижности опытного образца достигает значения интегрального показателя эталонного образца и которой соответствует рациональное значение изменяемого параметра $q_{\text{рац}}$. Тогда $q_{\text{рац}} = q_0 + \Delta t \cdot t^*$, где

q_0 – начальное значение варьируемого показателя. На выходе получены графические зависимости интегрального показателя подвижности от эмпирических критериев, позволяющие находить пороговое значение аргумента, при котором интегральный показатель достигает заданного уровня.

Применение методики для оценки влияния конструкционных решений

Имитационная модель, построенная в пакете визуального программирования Matlab Simulink, позволяет оценить степень влияния оценочных показателей, а следовательно, и изучить степень влияния на подвижность изменений, вносимых в конструкцию транспортно-технологической машины на стадии проектирования или модернизации.

В качестве объекта для исследования взят колесный снегоболотоход «Вея ЗВМ-39083» с бензиновым двигателем ЗМЗ 40911.10 (рис. 4), выпускаемый ООО «Завод вездеходных машин».

В работе [19] проводилась оценка подвижности выпускаемой вездеходной техники как в целом по стране, так и внутри одного производства. В частности, вычислялась подвижность модельного ряда, разрабатываемого на ООО «Завод вездеходных машин». Интегральный показатель исследуемого образца, вычисленный по значениям эмпирических критериев,

Таблица 1. Значения эмпирических критериев автомобиля «Вея ЗВМ-39083»

Table 1. Values of empirical criteria of the vehicle «Вея ЗВМ-39083»

Порядковый номер критерия	Обозначение	Расшифровка	Значение критерия	Направление оптимизации критерия
1	Q_{11}	Рабочий объем, л	2,693	max
2	Q_{12}	Мощность, л.с	112	max
3	Q_{13}	Максимальный момент, Н·м	219,5	max
4	Q_{63}	Максимально допустимая масса, кг	3300	min
5	Q_{14}	Максимальная скорость движения по шоссе, км/ч	50	max
6	Q_{15}	Максимальная скорость движения на плаву, км/ч	2,5	max
7	Q_{21}	Колея, мм	1800	max
8	Q_{22}	Дорожный просвет, мм	600	max
9	Q_{23}	База, мм	3040	min
10	Q_{24}	Угол подъема (с полной нагрузкой), град	35	max
11	Q_{25}	Глубина преодолеваемого брода, м	1,5	max
12	Q_{31}	Количество колес, шт.	4	max
13	Q_{32}	Давление движителя на грунт, кг/см ²	0,272	min
14	Q_{33}	Давление воздуха в шине	0,15	min
15	Q_{41}	Боковой крен (без нагрузки), град	20	max
16	Q_{51}	Минимальный радиус поворота (по колее наружного переднего колеса), м.	7	min
17	Q_{52}	Соотношение колесной базы и колеи	1,69	min
18	Q_{61}	Снаряженная масса без груза, кг	2600	min
19	Q_{62}	Грузоподъемность, кг	700	max
20	Q_{71}	Длина, мм	5250	min
21	Q_{72}	Ширина, мм	2500	min
22	Q_{73}	Высота, мм	2750	min
23	Q_{81}	Диагональ машины, мм	5814,85	min
24	Q_{34}	Наружный диаметр шины, мм	1300	-
25	Q_{35}	Ширина профиля шины, мм	700	-

представленных в табл. 1, составлял 1,482 при общем разбросе значений от 0,9 до 1,8.



Рис. 4. Снегоболотоход «Вея ЗВМ-39083»

Fig. 4. Snowmobile «Вея ЗВМ-39083»

Варьируя различными параметрами машины, можно увеличивать подвижность. В рамках данной статьи ограничимся результатами изменения нескольких оценочных параметров. Ниже представлены графики изменения интегрального показателя подвижности (рис. 5-7). В качестве эталонного взято полученное в экспериментальных исследованиях значение $F_{\text{эт}}=1,5$.

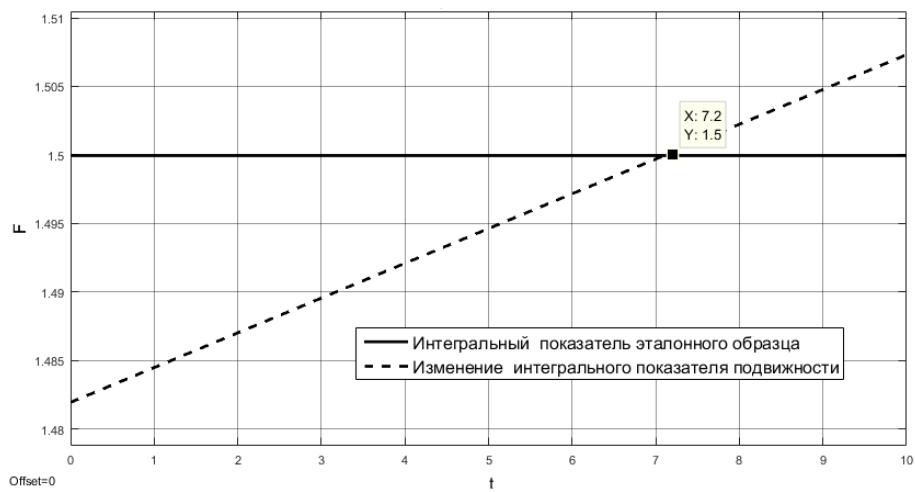


Рис. 5. График изменения интегрального показателя подвижности за счет уменьшения давления движителя на грунт (Q_{32})

Fig. 5. Graph of changes in the integral mobility index due to a decrease in the pressure of the propulsor on the ground (Q_{32})

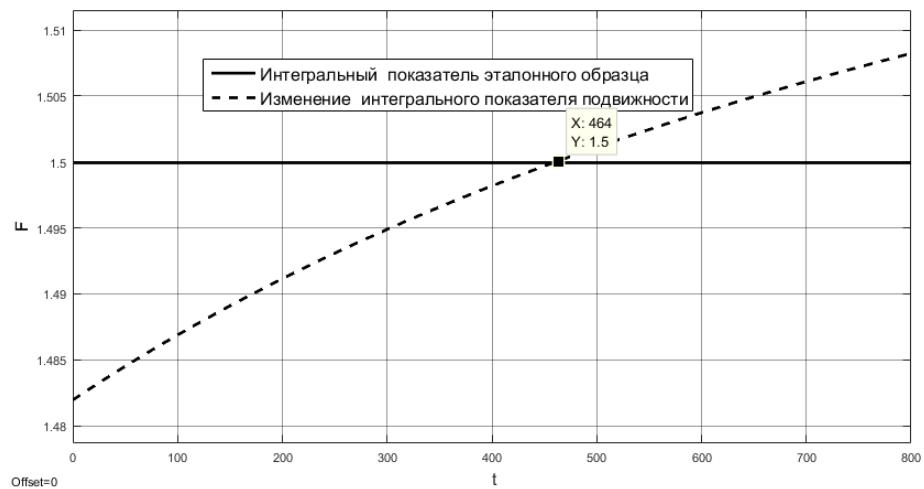


Рис. 6. График изменения интегрального показателя подвижности за счет увеличения наружного диаметра шины (Q_{34})

Fig. 6. Graph of changes in the integral mobility index due to an increase in the outer diameter of the tire (Q_{34})

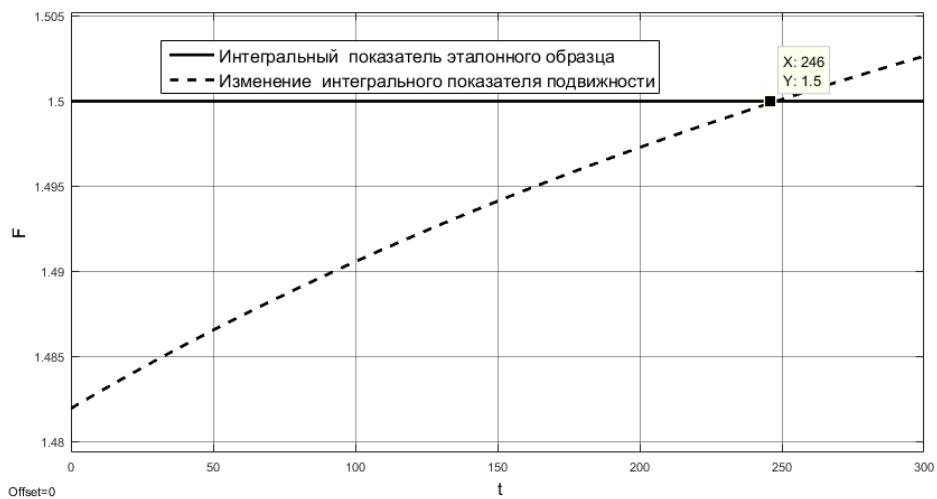


Рис. 7. График изменения интегрального показателя подвижности за счет увеличения ширины профиля шины (Q_{35})

Заданного значения $F_{\text{нт}}=1,5$ показатель подвижности достигает при уменьшении давления движителя на грунт до $0,2 \text{ кг/см}^2$. На дорогах с твердой опорной поверхностью во избежание быстрого износа и разрушения дорожного покрытия существует верхний предел ограничений на среднее давление колеса в контакте, составляющий $0,6 \text{ МПа}$, для автомобилей повышенной проходимости рекомендуемые значения удельных давлений значительно ниже [21]. Уменьшение давления движителя на грунт можно обеспечить увеличением размеров шин. Это приводит также к улучшению проходимости и увеличению дорожного просвета.

Заданного значения $F_{\text{нт}}=1,5$ показатель подвижности достигает при увеличении наружного диаметра шины до 1764 мм и при увеличении ширины профиля шины до 946 мм .

Ниже представлены результаты повышения показателя подвижности за счет улучшения частных критериев опорной проходимости (табл. 2).

Важным условием, улучшающим опорно-цепную проходимость автомобиля, является снижение давления движителя на грунт. В случае колесных транспортно-технологических машин этот эффект достигается путем снижения их максимально допустимой массы и увеличением площади пятна контакта с опорной поверхностью за счет повышения ширины и диаметра колеса, а также использованием шин низкого давления. Изменение в конструкции, такое как изменение геометрии деталей, материалов, конструктивные особенности могут оказать разнообразное влияние на крутящий момент. Структура интегрального показателя подвижности позволяет оценить это влияние на качество машины. Вопрос технической оценки возможности внесения предлагаемых изменений в конструкцию сводится к различным компоновочным, прочностным или эксплуатационным решениям.

Расчеты доказывают теоретическую возможность увеличения подвижности за счет изменения наружного диаметра и профиля шины, а также снижения давления движителя на грунт. Поскольку существующий ряд производимых шин низкого давления имеет фиксированные дискретные характеристики, целесообразно варьировать двумя параметрами одновременно,

Таблица 2. Параметры анализа увеличения интегрального показателя подвижности за счет изменения частных критериев

Table 2. Parameters of the analysis of an increase in the integral mobility index due to changes in particular criteria

Порядковый номер критерия	Начальное значение критерия q_0	Шаг изменения критерия Δt	Исходное значение интегрального показателя подвижности	Интегральный показатель подвижности эталонного образца	Рациональное значение шага имитации t^*	Рациональное значение параметра $q_{\text{рац}}$
13	0,272	-0,01	1,482	1,5	7,2	0,2
24	1300	1	1,482	1,5	464	1764
25	700	1	1,482	1,5	246	946

пересчитывая интегральный показатель подвижности для каждой модели шины. В данном случае при использовании шин $28,1R26$ Бел-44 МОР 122В с размерными характеристиками $1700 \times 750-26$ " расчетное значение интегрального показателя подвижности достигает заданного уровня и составит 1,502.

Заключение

На основе метода многокритериальной оценки качества построен алгоритм вычисления интегрального показателя подвижности путем свертки взвешенного векторного критерия. Построена математическая модель оценки степени влияния изменений, вносимых в конструкцию транспортно-технологической машины, на изменение интегрального показателя подвижности, а также разработана методика повышения показателя подвижности наземных транспортно-технологических средств, позволяющая на стадии проектирования или модернизации повысить качество машины до заданного уровня подвижности.

С помощью разработанной методики проведен анализ возможного улучшения подвижности путем внесения изменений в конструкцию транспортно-технологических средств и комплексов на примере снегоболотохода «Вея ЗВМ-39083». Расчеты проводились в среде имитационного моделирования Matlab Simulink. Проанализировано влияние изменения критериев различных групп показателей, описывающих подвижность ТТМ. В частности, способность снегоболотохода выполнять поставленную задачу можно повысить путем улучшения опорной проходимости, изменения при этом наружный диаметр и ширину профиля шин, давление движителя на грунт. Полученные данные показывают, что интегральный показатель подвижности транспортного средства быстрее возрастает при изменении эмпирических критериев, имеющих наибольшие весовые коэффициенты. В иерархической системе оценочных показателей присутствуют критерии, за счет которых невозможно увеличение интегрального показателя до заданного уровня, поскольку пределы изменения оценочных показателей ограничены максимально и минимально возможными значениями.

Список источников

1. Фасхиев Х.А. Обеспечение конкурентоспособности изделия на этапе разработки // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16, № 5(50). С. 173-184.
2. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Методика оценки качества автомобилей // Экономическое возрождение России. 2006. № 2(8). С. 57-62.
3. Фасхиев Х.А. Интеллектуальная поддержка ранжирования объектов по конкурентоспособности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18, № 3 (64). С. 210-224.
4. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Методика оценки качества автомобилей // Маркетинг в России и за рубежом. 2005. № 4. С. 86-100.
5. Плиев И.А., Вержбицкий А.Н. Методика оценки качества технического уровня АТС многоцелевого назначения // Автомобильная промышленность. 1999. № 11. С. 34.
6. Плиев И.А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. № 3(62). С. 46-49.
7. Плиев И.А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. № 5(64). С. 50-54.
8. Обзор подходов к оценке качества и подвижности автотракторной техники, основанных на методах многофункциональной оценки качества / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, Л.Н. Ерофеева, М.Е. Бушуева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21, № 3. С. 170-179.
9. Беляков В.В., Гольышев Е.Ю. Оценка подвижности транспортно-технологических машин / НГТУ. Н. Новгород, 2002. Деп. в ВИНИТИ 10.01.02. №28-В 2002
10. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Гольышев Е.Ю. Оценка подвижности транспортно-технологических машин // 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.
11. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Гольышев Е.Ю. Оценка подвижности транспортно-технологических машин // Колесные машины: сб. тр. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2003. С. 29-30.
12. Беляков В.В. Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин // Известия Академии инженерных наук РФ имени акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. Москва; Н. Новгород: НГТУ, 2003. Т. 5. С. 3-25.
13. 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.
14. 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.
15. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Многофункциональная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем: учеб. пособие / НГТУ. Н. Новгород, 2001. 271 с.
16. Беляков В.В. Многофункциональная оценка подвижности автотракторной техники // Интерстроймех-2001: труды международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 г. / СПбГТУ. СПб., 2001. С. 95-99.
17. 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. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_97. EDN JOIWBI.
18. Сравнительный анализ методов многофункциональной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимости характеристик / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1(136). С. 125-136. DOI 10.46960/1816-210X_2022_1_125.
19. Методика вычисления интегрального показателя подвижности колесных вездеходов на основе метода многофункциональной оптимизации / Л.Н. Мазунова, В.В. Беляков, Л.Н. Ерофеева [и др.] // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 3. С. 211-222.
20. Разработка методики вычисления показателя подвижности по мобильности легковых автомобилей, основанной на применении многофункциональной оптимизации / Л.Н. Мазунова, М.А. Дубкова, В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2(133). С. 102-112.
21. Кравец В.Н. Теория автомобиля: учебное пособие. Н. Новгород: НГТУ, 2007. 368 с.

References

1. Fashkiev H.A. Ensuring product competitiveness at the development stage. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviationskogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Ufa State Aviation Technical University], 2012;16(50):173-184. (In Russ.)
2. Fashkiev H.A., Krahmaleva A.V. Car quality assessment methodology. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii* [The economic revival of Russia]. 2006;(2(8)):57-62. (In Russ.)
3. Fashkiev H. A. Intellectual support for ranking objects by competitiveness. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviationskogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Ufa State Aviation Technical University], 2014;18(3(64)):210-224. (In Russ.)
4. Fashkiev H.A., Krahmaleva A.V. Car quality assessment methodology. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and abroad], 2005;4:86-100. (In Russ.)
5. Pliev I.A., Verzhbitskiy A.N. Methodology for assessing the quality of the technical level of a multipurpose MTS. *Avtomobilnaya promyshlennost* [The automotive industry], 1999;(11):34 - 36. (In Russ.)
6. Pliev I.A. Assessment of the technical level of multi-purpose vehicle families based on the hierarchy analysis method. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], 2010;(3(62)):46-49. (In Russ.)

7. Pliev I.A. Assessment of the technical level of multi-purpose vehicle families based on the hierarchy analysis method. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], 2010;(5(64)):50-54. (In Russ.)
8. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Bushueva M.E. Review of approaches to assessing the quality and mobility of automotive equipment based on multicriteria quality assessment methods. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2023;21(3):170-179. (In Russ.)
9. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Golyshov E.Yu. Assessment of mobility of transport and technological machines. Novgorod: NSTU. 10.01.02. №28-B 2002.
10. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Golyshov E.Yu. Assessment of mobility of transport and technological machines. *Problemy kachestva i eksploatatsii avtotraktornyh sredstv: materialy II mezhunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Problems of quality and operation of motor vehicles: Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference]. Penza: PSUAC, 2002, p. 1, pp. 23-31. (In Russ.)
11. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Golyshov E.Yu. Assessment of mobility of transport and technological machines. *Kolesnye mashiny: sb. tr.* [Wheeled vehicles: Proceedings]. Moscow: Bauman MSTU, 2003, pp. 29-30. (In Russ.)
12. Belyakov V.V., Gulyaev Yu.V. Mobility and competitiveness of transport and technological machines. *Izvestiya Akademii inzhenernyh nauk RF im. akad. A.M. Prohorova. Transportno-tehnologicheskie mashiny i kompleksy* [Proceedings of the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation named after Academician A.M. Prokhorov. Transport and technological machines and complexes]. Moscow, N.Novgorod: NSTU, 2003, vol. 5, pp. 3-25. (In Russ.)
13. Belyakov V.V. Assessment of mobility of transport and technological machines. *AUTO-NN-2000: materialy mezhunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [AUTO-NN-2000: Proceedings of the International scientific and technical conference]. N. Novgorod: NSTU, 2000, pp. 339-357. (In Russ.)
14. Belyakov V.V., Belyaev A.M., Bushueva M.E. The concept of mobility of ground transportation and technological machines. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of the NSTU named after R.E. Alekseev], 2013;(3):145-174. (In Russ.)
15. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. Mnogokriterialnaya optimizatsiya v zadachah podvizhnosti, konkuren-tosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnyh tekhnicheskikh system: ucheb. posobie [Multicriteria optimization in problems of mobility, competitiveness of automotive equipment and diagnostics of complex technical systems: textbook]. N. Novgorod: NSTU, 2001, 271 p. (In Russ.)
16. Belyakov V.V. Multi-criteria assessment of the mobility of tractor equipment. *INTERSTROYMEKH-2001: tr. mezhdu-narodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [INTERSTROYMEKH-2001: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Saint Petersburg: SPbSTU, 2001, pp. 95-99. (In Russ.)
17. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Makarov V.S., Mazunova A.P., Erofeeva L.N., Bushueva M.E. Transformation of qualitative characteristics of motor vehicles into quantitative indicators using the hierarchy analysis method. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev], 2023;(1(140)):97-106. (In Russ.)
18. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Makarov V.S., Bushueva M.E., Erofeeva L.N., Anikin A.A., Naumov V.N. Comparative analysis of methods of multi-criteria assessment of competitiveness and mobility of automotive equipment, taking into account the weight significance of characteristics. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev], 2022;(1(136)):125-136. (In Russ.)
19. Mazunova L.N., Belyakov V.V., Erofeeva L.N., Makarov V.S., Bushueva M.E. A method for calculating the integral mobility index of wheeled all-terrain vehicles based on the multi-criteria optimization method. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University], 2022;(3):211-222. (In Russ.)
20. Mazunova L.N., Dubkova M.A., Belyakov V.V., Bushueva M.E., Makarov V.S., Erofeeva L.N. Development of a methodology for calculating the mobility index for passenger car mobility based on the application of multi-criteria optimization. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev], 2021;(2(133)):102-112. (In Russ.)
21. Kravets V.N. *Teoriya avtomobilya: Uchebnoe posobie* [The theory of the car: Textbook]. N. Novgorod: NSTU, 2007, 368 p. (In Russ.)

Поступила 12.09.2024; принята к публикации 08.11.2024; опубликована 30.06.2025
Submitted 12/09/2024; revised 08/11/2024; published 30/06/2025

Мазунова Лариса Николаевна – старший преподаватель,

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 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,

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

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

Бушуева Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, декан ФДП и ДОУ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.
Email: bme@nntu.ru. ORCID 0000-0002-0071-2417

Лазаревич Светлана Валерьевна – кандидат филологических наук, доцент, заведующая кафедрой «Иностранные языки», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.
Email: s.lazarevich@nntu.ru. ORCID 0000-0001-6950-0327

Шетулова Татьяна Гавриловна – кандидат филологических наук, доцент, доцент кафедры «Иностранные языки», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.
Email: dmitriy3057@yandex.ru. ORCID 0009-0003-4770-7150

Larisa N. Mazunova – Senior teacher,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: matematixx@mail.ru. ORCID 0000-0003-3262-8348

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

Larisa N. Erofeeva – PhD (Physico-Mathematical Sciences), Associate Professor,
Head of Department of Higher Mathematics,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: erofeevaln@mail.ru. ORCID 0000-0001-6535-1459

Marina E. Bushueva – PhD (Eng.), Associate professor, Dean of the FP-UT and DL,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: bme@nntu.ru. ORCID 0000-0002-0071-2417

Svetlana V. Lazarevich – PhD (Philological Sciences), Associate professor,
Head of Department of Foreign Languages,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: s.lazarevich@nntu.ru. ORCID 0000-0001-6950-0327

Tatiana G. Shetulova – PhD (Philological Sciences), Associate professor,
Associate professor of Department of Foreign Languages,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.
Email: dmitriy3057@yandex.ru. ORCID 0009-0003-4770-7150