

Исследование эффективности колёсного транспортно-технологического средства с применением карт подвижности

А.И. Марковнина, В.С. Макаров, В.В. Беляков, С.Е. Манянин

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Движение транспортно-технологических средств (ТТС) повышенной и высокой проходимости, а также вездеходной техники, должно быть эффективным. В данной работе рассматривается метод исследования эффективности ТТС по критерию подвижности.

Цель — повышение эффективности колёсного ТТС с использованием метода построения карт подвижности.

Методы. Используется методика определения эффективности по подвижности как показателя наиболее информативного и охватывающего наибольшее количество конфигурационных характеристик ТТС. На основании расчёта показателя эффективности по подвижности построены карты подвижности, отражающие прогнозируемую эффективность (скорость) движения ТТС в базовой и в модифицированной версиях. Объектом экспериментальных исследований выбран колёсный вездеход «Байкал М» модель ЗТМ 30081-11.

Результаты. В результате изменения конфигурационной характеристики по результатам теоретических расчётов и экспериментальных исследований подтверждена применимость методики и повышена эффективность ТТС Байкал. По результатам работы был увеличен показатель подвижности на 4,7%, а эффективность по подвижности на 3%. Проведение эксперимента подтвердило увеличение скорости преодоления препятствий.

Заключение. В результате исследования была подтверждена методика исследования эффективности, которая применима как на этапе проектирования, так и на этапе модернизации конфигурации ТТС. Изменяя расчётные характеристики, можно определить рациональную конфигурацию ТТС, не затрачивая средства на производство опытных образцов.

Ключевые слова: эффективность; транспортно-технологические средства; подвижность; бездорожье; карты подвижности.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Марковнина А.И., Макаров В.С., Беляков В.В., Манянин С.Е. Исследование эффективности колёсного транспортно-технологического средства с применением карт подвижности // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 4. С. **x-y**. DOI: 10.17816/0321-4443-686607 EDN: MOMJPX

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-686607> EDN: MOMJPX

Study of the Efficiency of a Wheeled Transport and Technological Vehicle Using Mobility Maps

Alina I. Markovnina, Vladimir S. Makarov, Vladimir V. Belyakov, Sergey E. Manyanin
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alexeev, Nizhniy Novgorod, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The motion of transport and technological vehicles (TTV) with increased and high cross-country ability, as well as all-terrain vehicles, must be efficient. This paper examines the method for studying the efficiency of TTVs based on the mobility criterion.

AIM: Improving the efficiency of wheeled TTV using the mobility map building method.

METHODS: The method for determining the efficiency by mobility as the most informative indicator covering the largest number of configuration characteristics of a TTV is used. Based on the calculation of the efficiency indicator by mobility, mobility maps that reflect the predicted efficiency (speed) of the TTV movement in the basic and modified versions were built. The object of the experimental studies was the "Baikal M" ZTM 30081-11 wheeled all-terrain vehicle. The full method is described in paper.

RESULTS: As a result of changing the configuration characteristics based on the results of theoretical calculations and experimental studies, the applicability of the method was confirmed and the efficiency of the Baikal TTV was improved. The mobility indicator was increased by 4.7%, and mobility efficiency was increased by 3%. The experiment confirmed increase of obstacles passage velocity.

CONCLUSION: As a result of the study, the method for studying the efficiency, which is applicable both at the design stage and at the stage of upgrading a TTV configuration, was approved. By changing the calculated characteristics, it is possible to determine the reasonable configuration of a TTV without costs on the production of prototypes.

Keywords: efficiency; transport and technological vehicles; mobility; off-road; mobility maps.

TO CITE THIS ARTICLE:

Markovnina AI, Makarov VS, Belyakov VV, Manyanin SE. Study of the Efficiency of a Wheeled Transport and Technological Vehicle Using Mobility Maps. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(4):x-y.
DOI: 10.17816/0321-4443-686607 EDN: MOMJPX

Submitted: 10.07.2025

Accepted: 03. 11.2025

Published online: 26. 11. 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Любое проектируемое транспортно-технологическое средство (ТТС) повышенной или высокой проходимости должно эффективно выполнять поставленную перед ним задачу. Существуют методики оценки эффективности, в которых учитываются, как правило, эксплуатационные свойства, например, у Бабкова В.Ф. [1] — фактическая скорость и расход топлива, у Диксона В. [2] и Бронштейна Я.И. [3] фактическая средняя скорость движения по маршруту, у Гребенщикова В.И. [4] обобщённый эксплуатационный показатель зависит от времени движения и расхода топлива за пробег. Проектируемое впервые ТТС невозможно оценить по этим методикам без создания прототипа и проведения экспериментальных исследований. В статье рассматривается эффект от применения новой методики расчёта эффективности по подвижности. Подвижность — это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее их 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. Концепция подвижности была описана профессором Беляковым В.В. в работах [5–7]. В общем виде показатель подвижности определяется следующим образом:

$$П = \lambda_m \pm \lambda_t \pm \lambda_p,$$

где λ_m — техническая оценка ТТС, λ_t — эксплуатационная оценка территории, λ_p — оценка режима движения.

Эффективность по подвижности означает, насколько быстро колёсное ТТС сможет преодолеть рассматриваемый участок и рассчитывается как отношение значения технической оценки машины к значению показателя подвижности, методика описана в работах [8, 9]:

$$П_э = \frac{\lambda_m}{П},$$

где $П_э$ — оценка эффективности по подвижности.

Для визуализации результатов строится карта подвижности — это разбитая на участки с примерно однородными условиями движения карта местности, на которую нанесены отметки, соответствующие уровню подвижности на каждом таком участке для отдельно взятой машины. На карте отображаются ландшафтные условия, включающие рельеф, и цветовые отметки, соответствующие прогнозируемой скорости движения ТТС на каждом небольшом участке независимо от направления движения. Изначальные идеи подобных карт описаны в работе Беккера [10], среди современных исследований можно выделить два основных подхода построения карт: 1 — распределение участков по модели NATO Reference Mobility Model (NRMM) [11] по методу «GO–SLOW GO–NO GO»; 2 — цветовое обозначение вертикальных препятствий по модели Digital Terrain Model of the Czech Republic of the 5th generation (DMR 5G) [12–14] непроходимых углов рельефа. Так как эффективность выражается в скорости, полученное значение $П_э$ умножается на максимально возможную техническую скорость ТТС, указанную в паспорте ТТС или на сайте производителя. Карты подвижности, построенные по показателю $П_э$ или по расчётной скорости, идентичны.

ЦЕЛЬ

Целью исследования является повышение эффективности ТТС Байкал путём проведения теоретических расчётов эффективности и экспериментальное подтверждение результатов с применением карт подвижности.

МЕТОДЫ

Полная методика описана в работах [8].

В качестве объекта исследований была выбрана колёсное ТТС «Байкал» модель ЗТМ 30081-11 с колёсной формулой 6х6 полной массой 5500 кг. Общий вид представлен на рис. 1.



a)



b)

Рис. 1. Общий вид колесного ТТС «Байкал» ЗТМ 30081-11: *a* — базовый; *b* — модифицированный.

Fig. 1. General view of the Baikal ZTM 30081-11 wheeled TTV: *a*, basic; *b*, modified.

Выбор данного транспортного средства в качестве объекта испытаний позволяет охватить широкий диапазон конструктивных параметров ТТС, влияющих на подвижность.

ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Определение параметров территории:
 - Определение геометрических особенностей территории.
 - Определение расположения объектов микрорельефа.
 - Определение расположения и размеров барьерных и дискретных препятствий.
2. Определение показателей проходимости транспортно-технологического средства:
 - Определение возможности или невозможности проезда ТТС из-за геометрических особенностей микрорельефа.
 - Определение возможности или невозможности проезда ТТС из-за физико-механических свойств материала территории.
3. Измерение максимальной безопасной скорости преодоления препятствий колёсным ТТС.

Испытания проводятся на грунтовых поверхностях с различным рельефом. Рассматриваемые типы препятствий: 1 — грунт с низкой несущей способностью; 2 — промоина (или овраг); 3 — холм; 4 — дискретные препятствия; 5 — водная преграда.

При проведении испытаний скорость измеряется при помощи Racelogic-VBOX. Заявленная производителем VBOX точность измерения скорости $\pm 0,1$ км/ч, точность измерения дистанции менее 50 см на километр, точность измерения ускорения 1%.

Испытания проводятся днём. При резком изменении физико-механических свойств опорной поверхности проведение экспериментов не допускается. Также не допускается какая-либо наработка объекта испытаний перед началом испытаний. Исследование проводится до тех пор, пока не будет установлена стабильно поддерживаемая скорость преодоления характерных препятствий или ТТС не потеряет подвижность. При этом водитель выбирает максимальную скорость исходя из условий безопасности.

Для проведения испытаний был выбран участок с наиболее разнообразным и подходящим под условия испытаний рельефом местности. На рис. 2 показано место проведения испытаний.



Рис. 2. Место проведения испытаний.

Fig. 2. Place of testing.

После подготовки трасс были проведены заезды по препятствиям. На рис. 3, *a* показаны фрагменты преодоления участка с плавным рельефом с грунтом с низкой несущей способностью, на рис. 3, *b* – проезд холма, 3, *c* — маневрирование и объезд дискретных препятствий, 3, *d* — преодоление водной преграды. При каждом заезде фиксировалась скорость движения. При этом скорость выбиралась водителем-испытателем максимально возможной при комфортном вождении.



a)



b)



c)



d)

Рис. 3. Фрагменты испытаний: *a* — грунт с низкой несущей способностью; *b* — холм; *c* — маневрирование; *d* — водная преграда.

Fig. 3. Parts of testing: *a*, soil with low bearing capacity; *b*, hill; *c*, maneuvering; *d*, water obstacle.

Аналогичные испытания проводились для ТТС Байкал с алюминиевым корпусом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам проездов строились таблицы, в которых отражались характеристики препятствий на местности, через которые проезжала машина. В табл. 1 приведены результаты заездов вездехода базовой конфигурации, в табл. 2 и 3 приведено сравнение расчётных и фактических скоростей вездехода в базовой и модифицированной конфигурации.

Таблица 1. Результаты замера скорости проезда препятствий

Table 1. Results of obstacles passage velocity measurements, basic configuration

Препятствие		Результаты измерений, скорость в км/ч		
		Заезд 1	Заезд 2	Заезд 3
Грунт	Устойчивый	70	65	69
	Со слабой несущей способностью	35	42	43
Промоина	Плавные съезды, ширина больше ширины машины	42	35	37
	Резкие съезды, ширина больше длины машины	30	28	29
Холм	Плавные углы въезда	62	50	54
	Резкий подъём	5,8	6	6,2
Дискретное препятствие	Маневрирование	42,1	38,7	40
Водная преграда	Преодоление вброд	6	7	6,5
	Движение на плаву	4	3,5	3,8

Таблица 2. Результаты замера скорости проезда препятствий

Table 2. Comparison of calculated and measured obstacles passage velocities, basic configuration

Препятствие		Расчётная скорость, км/ч	Фактическая скорость, км/ч	Отклонение, %
Грунт	Устойчивый	68	62	8,8
	Со слабой несущей способностью	45	40	11,2
Промоина	Плавные съезды, ширина больше ширины машины	35	38	7,9
	Резкие съезды, ширина больше длины машины	30	29	3,4
Холм	Плавные углы въезда	58	55	5,2
	Резкий подъём	7	6	14,3
Дискретное препятствие	Маневрирование	44	40,3	8,6
Водная преграда	Преодоление вброд	7	6,5	7,2
	Движение на плаву	4	3,8	5

Данные, приведённые в табл. 2, позволяют сделать вывод о том, что отклонение экспериментальных данных от теоретических для расчёта прогнозируемой возможности и скорости проезда сложного рельефа местности составили 3–15%. Разброс данных обусловлен выбором скоростного режима водителем, выбиравшим наиболее безопасную скорость преодоления препятствия, по которому проезжал впервые. Также скорость преодоления препятствий с каждым новым проездом возрастала в связи дальнейшим ознакомлением с местностью.

По аналогии были проведены испытания модифицированного ТТС Байкал — материал корпуса был изменён на алюминий, что снизило полную массу на 1 тонну (меньше на 28,5%) без снижения грузоподъёмности. При рассмотрении той же выборки ТТС показатель подвижности (П) Байкала алюминиевого (БА) больше, чем у Байкала базовой конфигурации (ББ) на 4,7%, а эффективность по подвижности (П_в) больше на 3%. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты замера скорости проезда препятствий модифицированным ТТС Байкал

Table 3. Comparison of calculated and measured obstacles passage velocities, modified configuration

Препятствие		Расчётная скорость, км/ч	Фактическая скорость, км/ч	Отклонение, %
Грунт	Устойчивый	70	65	7,1
	Со слабой несущей способностью	46	43	6,5
Промоина	Плавные съезды, ширина больше ширины машины	35,8	39	8,9

Препятствие		Расчётная скорость, км/ч	Фактическая скорость, км/ч	Отклонение, %
Холм	Резкие съезды, ширина больше длины машины	33	34	3
	Плавные углы въезда	61	57	6,5
	Резкий подъём	7,6	6,5	14,5
Дискретное препятствие	Маневрирование	44	42	4,5
Водная преграда	Преодоление вброд	7	6,5	7,1
	Движение на плаву	4,3	4	7

По результатам заездов видно, что отклонение экспериментальных данных от теоретических составило также 3–15%. На рис. 4 представлен сводный график с результатами расчётных и фактических скоростей движения двух конфигураций ТТС Байкал.

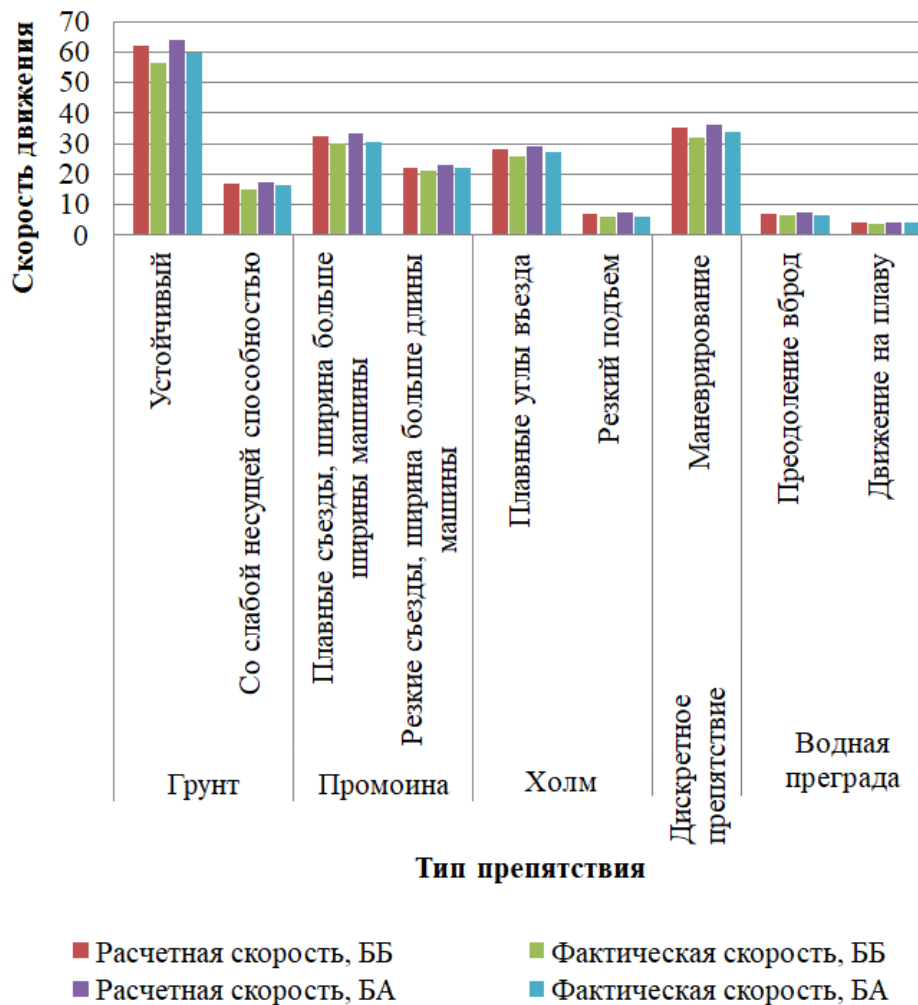


Рис. 4. Сравнение расчётной и фактической скоростей колёсных ТТС Байкал различных конфигураций.

Fig. 4. Comparison of calculated and measured velocities of different configurations of the Baikal wheeled TTV.

Для визуализации результатов на рис. 5 представлены карты подвижности для двух конфигураций ТТС Байкал.

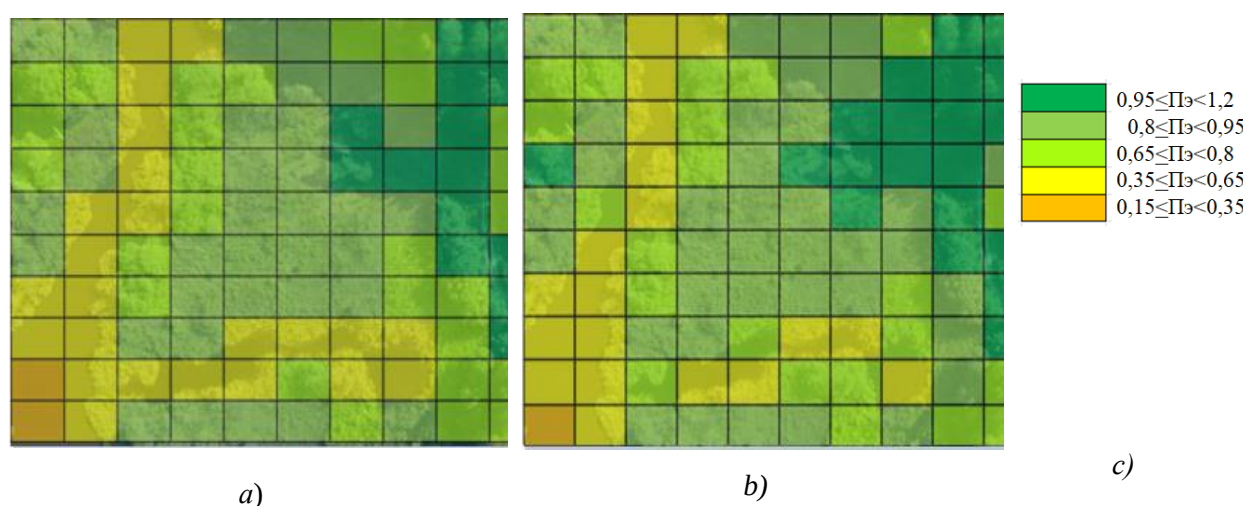


Рис. 5. Карта подвижности: а — ТТС Байкал базовой конфигурации; б — ТТС Байкал модифицированный; в — расшифровка карты.

Fig. 5. Mobility map: a, the Baikal TTV, basic configuration; b, the Baikal TTV, modified configuration; c, map legend.

ОБСУЖДЕНИЕ

По полученным картам можно увидеть незначительные различия в цветовой окраске участков территории. Чем большее количество конфигурационных характеристик изменяется, тем заметнее будут различия карт подвижности. Если необходимо изменить слишком большое количество таких характеристик, то может идти речь не о модификации существующей конфигурации, а о создании принципиально новой. На данном этапе методика не может дать ответ, где находится граница модификаций и начинается этап проектирования нового ТТС.

Остаётся недоработанным вопрос о применении методики в текущем состоянии к рассмотрению на заснеженной местности. Снег, как полотно пути, описывается иными математическими моделями, на практике он иначе взаимодействует с движителем, поэтому при расчётах без адаптации методики могут быть допущены незначительные погрешности. Незначительность обусловлена тем, что физико-механическое свойство грунта рассматривается не напрямую, а само взаимодействие движителя с грунтом — величина коэффициента сцепления и т.д.

Методика расчёта эффективности по подвижности и методика проведения эксперимента показали свою применимость на практике и при модификации существующей модели вездеходного ТТС. Была достигнута цель — повышение эффективности, выраженная в увеличении скорости преодоления участков местности без дорог. Несмотря на то, что значения скоростей приведены для условий при хорошей погоде, степень увеличения скорости будет сохраняться на том же уровне и для ухудшенных погодных условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании были проанализированы подходы к определению эффективности проектируемого, модернизируемого или эксплуатирующегося колёсного транспортно-технологического средства. По предложенной методике, охватывающей широкий спектр конфигурационных характеристик, произведён расчёт эффективности базовой конфигурации выбранного ТТС и модифицированной. Проведённый эксперимент показал правдоподобность теоретических расчётов. Сравнение теоретических расчётов и экспериментальных данных, что отклонение экспериментальных данных от теоретических составили 3–15%. При этом разброс обусловлен субъективными причинами, связанными с восприятием и принятием решения водителем. Представленные карты подвижности отражают уровень подвижности ТТС Байкал в хороших условиях: ясная погода, сухой грунт. В результате влияния различных погодных явлений уровень подвижности будет

снижаться. По результатам работы по увеличению эффективности ТТС Байкал сделан вывод, что уменьшение полной массы ТТС «Байкал» на 1 т (28,5%) без снижения грузоподъёмности увеличило показатель подвижности на 4,7%, а эффективность по подвижности на 3%. Проведение эксперимента подтвердило увеличение скорости преодоления препятствий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.И. Марковнина — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, разработка математической модели, написание текста и редактирование статьи; В.С. Макаров — сбор и анализ литературных источников, графическая обработка результатов исследования; В.В. Беляков — курирование исследования, обзор литературы, обзор и анализ литературных источников; С.Е. Манянин — организация экспериментальных исследований. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. Ранее опубликованные сведения (текст, изображения) авторы не использовали при создании настоящей работы.

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании данной статьи не были использованы технологии генеративного искусственного интеллекта.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.I. Markovkina: literature review, collection and analysis of literary sources, development of a mathematical model, writing the text and editing the manuscript; V.S. Makarov: collection and analysis of literary sources, graphical processing of research results; V.V. Belyakov: study supervision, literature review, review and analysis of literary sources; S.E. Manyanin: organization of experimental studies. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Babkov VF, Birulya AK, Sidenko VM. *Cross-country ability of wheeled vehicles on soil*. Moscow:

Avtotransizdat; 1959.

2. Barakhtanov LV, Belyakov VV, Kravets VN. *Cross-country ability of a vehicle*. N. Novgorod: NSTU; 1996. EDN: TMBQDX
3. Bronstein YaI, Bukharin NA, Buyanov VM, et al. *Cross-country ability of a vehicle*. Leningrad: Voenizdat; 1959.
4. Grebenshchikov VI. Study of cross-country ability of a vehicle on soft soils. *Automobile industry*. 1956;(10):12–15.
5. Belyakov VV, Belyaev AM, Bushueva ME, et al. The concept of mobility of ground transport and technological machines. *"Proceedings of NSTU"*. 2013;(3(100)):145–175. EDN: REANDH
6. Belyakov VV, Belyaev AM, Goncharov KO, et al. Modeling an atlas of mobility maps of ground transport and technological vehicles using the example of the Nizhny Novgorod region. Safety of vehicles in operation. In: *Collection of materials of the 79th international scientific and technical conference*. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. R.E. Alekseeva; 2012:135–139. EDN: VJVNBT
7. Belyakov VV, Galkin DA, Zaitsev AS, et al. Evaluation of the efficiency of special vehicles when driving on snow. In: *Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev*. 2012;(2(95)):156–166. EDN: PCYNFF
8. Markovnina AI, Belyakov VV, Vakhidov USh, et al. Evaluation of the interaction of a vehicle with a road surface in the concept of mobility. *Forestry Bulletin*. 2025;29(1):162–171. doi: 10.18698/2542-1468-2025-1-162-171
9. Markovnina AI, Makarov VS, Klyushkin AA, Belyaev DM. Evaluation of the efficiency of using wheeled vehicles. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2023;34:98–103. doi: 10.26160/2474-5901-2023-34-98-103
10. Bekker MG. *Introduction to the theory of terrain-vehicle systems*. Moscow: Mashinostroenie, 1973.
11. Patent USA No 6860346 / March 1, 2005. Burt IT, Papanikolopoulos NP. *Adjustable diameter wheel assembly, and methods and vehicles using the same*.
12. Dohnal F, Hubacek M, Simkova K. Detection of Microrelief Objects to Impede the Movement of Vehicles in Terrain. *International Journal of Geo-Information, ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2019;8:101. doi: 10.3390/ijgi8030101
13. Rybansky M, Brenova M, Cermak J, et al. Vegetation structure determination using LIDAR data and the forest growth parameters. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2016;37. doi: 10.1088/1755-1315/37/1/012031
14. Rybansky M, Rada J, Dohnal F. The Impact of the Accuracy of Terrain Surface Data on the Navigation of Off-Road Vehicles. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021;10(3):06. doi: 10.3390/ijgi10030106

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

*** Марковнина Алина Ивановна**,
ассистент кафедры «Строительные и
дорожные машины»;
адрес: Россия, 603155, Нижний Новгород,
ул. Минина, д. 24;
ORCID: 0009-0000-7971-0424;
eLibrary SPIN: 2873-7519;
e-mail: a.markovnina@nntu.ru

Соавторы:
Макаров Владимир Сергеевич,
д-р техн. наук,
профессор кафедры «Строительные и
дорожные машины»;
ORCID: 0000-0002-4423-5042;
eLibrary SPIN: 9834-6239;
e-mail: makvl2010@gmail.com

Беляков Владимир Викторович,
д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры «Строительные и

*** Alina I. Markovnina**,
Assistant of the Building and Road Machines
Department;
address: 24 Minina st, Nizhny Novgorod,
Russia, 603155;
ORCID: 0009-0000-7971-0424;
eLibrary SPIN: 2873-7519;
e-mail: a.markovnina@nntu.ru

Co-Authors:
Vladimir S. Makarov,
Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Building and Road Machines
Department;
ORCID: 0000-0002-4423-5042;
eLibrary SPIN: 9834-6239;
e-mail: makvl2010@gmail.com

Vladimir V. Belyakov,
Dr. Sci. (Engineering), professor,
Professor of the Building and Road Machines

дорожные машины»;
ORCID: 0000-0003-0203-9403;
eLibrary SPIN: 3944-4416;
e-mail: belyakov@nntu.ru
Манянин Сергей Евгеньевич,
д-р техн. наук,
доцент кафедры «Строительные и дорожные
машины»
ORCID: 0009-0003-0245-0638;
eLibrary SPIN: 3186-9362;
e-mail: sergmanian@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Department;
ORCID: 0000-0003-0203-9403;
eLibrary SPIN: 3944-4416;
e-mail: belyakov@nntu.ru
Sergey E. Manyanin,
Dr. Sci. (Engineering),
Assistant professor of the Building and Road
Machines Department;
ORCID: 0009-0003-0245-0638;
eLibrary SPIN: 3186-9362;
e-mail: sergmanian@yandex.ru