

УДК 629.113

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПО СНЕГУ ПУТЕМ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖИТЕЛЕЙ

**Зезулин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В., Вахидов У.Ш.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
Нижний Новгород, e-mail: balakhnaman@gmail.com*

В статье показана актуальность движения колесных машин в условиях Крайнего Севера в Российской Федерации и приравненных к ним территорий по временным автомобильным дорогам – автозимникам. Делается вывод о параметрах опорного основания, необходимых для оценки проходимости. Приводятся критерии эффективности использования транспортных средств. Дана блок-схема методики определения эффективности колесных машин. На основании анализа существующей автомобильной техники был сформирован ряд гипотетических образцов транспортных средств различных по полной массе и максимальной мощности двигателя. Для них приведены примеры расчета показателя эффективности в зависимости от размеров движителя. Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ № 14.124.13.1869-МК «Разработка метода повышения эффективности использования транспортно-технологических машин в зимний период на основании экспериментально-теоретических исследований».

**Ключевые слова:** эффективность, колесные машины, снег, движитель

## THE METHOD OF EFFICIENCY INCREASING OF WHEELED VEHICLES IN THE SNOW BY MEANS SELECTING OF THE RATIONAL PARAMETERS OF WHEELS

**Zezyulin D.V., Makarov V.S., Belyakov V.V., Vahidov U.S.**

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: balakhnaman@gmail.com*

The article shows the relevance of the movement of wheeled vehicles in the Far North of the Russian Federation and equivalent areas on temporary roads – winter roads. It is concluded that the parameters of the support base needed to evaluate of passability are defined. The criterion of efficiency of vehicles using is given. The schematic flowchart of methodology for determining the efficiency of wheeled vehicles is shown. Based on the analysis of existing vehicles is formed a number of hypothetical models of different vehicles on the total weight and maximum engine power. For these models are examples of calculating of criterion of efficiency of for different sizes of propulsor. The Investigations were carried out with the support of «The grants of the President of the Russian Federation» № 14.124.13.1869-MK «Development of a method of efficiency increasing of transport and technological vehicles in winter on the basis of experimental and theoretical researches».

**Keywords:** efficiency, wheeled vehicles, snow, propulsor

Районы Крайнего Севера в Российской Федерации и приравненные к ним местности занимают 11 млн кв. км или почти 2/3 территории страны. Эти районы играют исключительно важную роль в национальной экономике и обороноспособности, обеспечении геополитических и стратегических интересов России. Здесь сосредоточены основные запасы природных ресурсов, добыча и переработка которых является важнейшей составной частью экономики и основой экспортного потенциала государства. Большинство видов профильной продукции Севера безальтернативно с позиции их возможного производства в других районах страны и приобретения по импорту.

Болота, сильное обводнение грунтов затрудняют строительство автомагистралей с твердым покрытием. По этим причинам почти весь (значительный) объем перевозок выполняется в зимнее время по неподготовленной местности или по временным

(односезонным) автомобильным дорогам – автозимникам.

Возрастающая потребность в увеличении интенсивности транспортного потока (в ряде регионов – до 200 тыс. тонн-нетто в год) ведет к поискам путей снижения эксплуатационных затрат (уменьшению энергозатрат) на передвижение по автозимникам, характеризующимся частыми снежными заносами (по заснеженной местности).

В научно-технической литературе, посвященной анализу передвижения транспортно-технологических машин по снегу, есть один существенный недостаток. Рассматривая возможность движения по снегу, исследователи ограничиваются максимальными преодолеваемыми глубинами снежного покрова. При этом делается вывод, что некая конкретная машина едет по снегу определенной плотности и определенной глубины. Но никто не говорит о том, а нужны ли такие показатели проходимости.

В действительности необходимо опираться на статистические данные гидрометеорологических станций. В результате обработки этих данных могут быть получены следующие необходимые параметры [13, 15]:

1. Значения глубины залегания снежного покрова в зависимости от продолжительности установившегося снежного покрова.
2. Значения плотностей снежного покрова в зависимости от продолжительности залегания установившегося снежного покрова.
3. Продолжительность залегания установившегося снежного покрова.
4. Сроки начала установившегося снежного покрова.

Зная статистические характеристики снега: плотность и глубину залегания в течение года, а также продолжительность и сроки начала сезона в разных районах рассматриваемой территории, по известным зависимостям [12, 14] можно получить параметры, необходимые для оценки подвижности, проходимости и эффективности функционирования колесных машин [4–12].

Под эффективностью следует понимать обобщающий показатель, характеризующий отношение результатов деятельности к затратам на их получение. Принимая во внимание, что создание энергоэффективной

техники соответствует приоритету развития науки и техники Российской Федерации (Федеральный закон от 28.09.2010 г. № 244), проводимое исследование является актуальным.

Рациональным критерием оценки эффективности колесных машин (КМ) при движении по снегу является показатель, определяемый как отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы:

$$\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_{\Gamma} g) \cdot V}{P_e},$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса перевозимого груза;  $V$  – скорость транспортного средства;  $P_e$  – потребляемая мощность двигателя машины.

Показатель эффективности характеризует, насколько меньше потребляемая мощность двигателя у более эффективной машины из двух машин с одинаковой производительностью. Таким образом, на стадии проектирования конструктор в зависимости от условий эксплуатации должен выбрать такую конфигурацию конструкции машины (рис. 1), которая обеспечит заданную производительность при минимальном потреблении энергии.

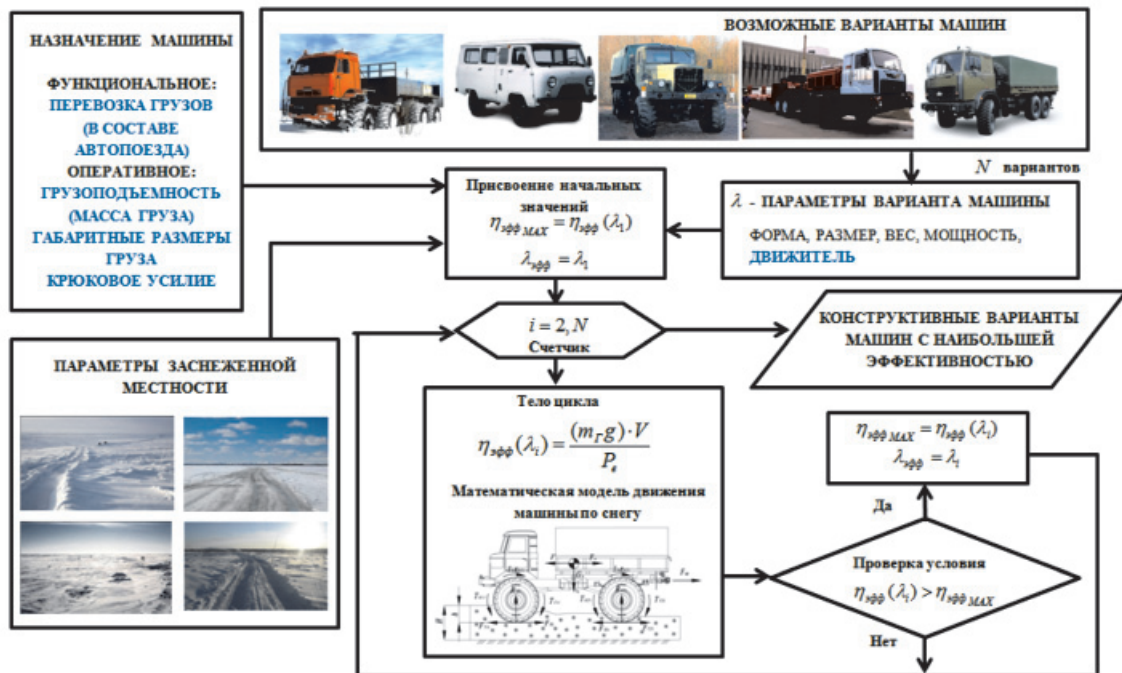


Рис. 1. Блок-схема выбора эффективной конструкции машины [9]

Наибольшее значение для колесных машин на показатель эффективности имеют параметры двигателя. На рис. 2 представлены результаты теоретических исследований эффективности колесных машин

одинаковой грузоподъемности на базе автомобиля ГАЗ-66 с различными пневмоколесными двигателями. Рассматривались ГАЗ-66, ЗВМ-3966 [1–3] и гипотетический образец КМ на арочных шинах я-186

(1300×750) при различной высоте снежного покрова. Анализ результатов расчетов показывает, что автомобиль ГАЗ-66 на шинах КИ-115А превосходит по показателю эффективности сравниваемые машины при

движении по снегу глубиной до 40–45 см. Вездеходное транспортное средство ЗВМ-3966 «СИВЕР» [1–3] обладает значительным преимуществом перед КМ на шинах я-186 вплоть до глубины снега 60–65 см.

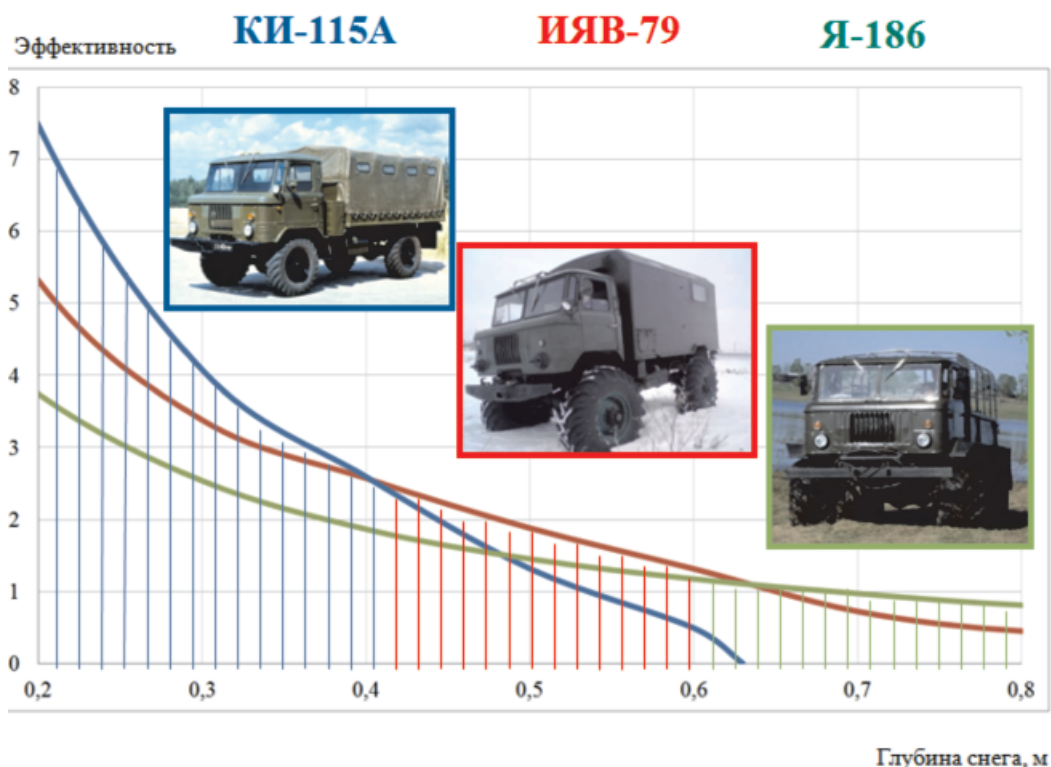
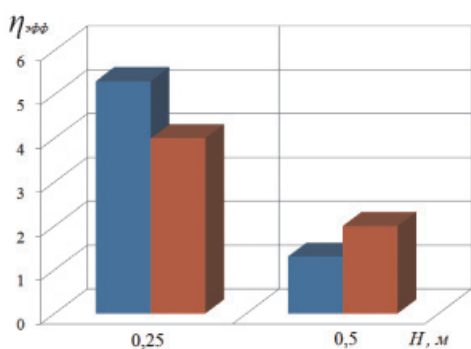


Рис. 2. Сравнение эффективности автомобилей ГАЗ-66, ЗВМ-3966 и гипотетический образец КМ на шинах я-186 на различной высоте снежного покрова (крайнее фото на рисунке – АПП «Крепыши» на арочных колесах я-170)

Рассмотрим физический смысл показателя эффективности на примере (рис. 3 и 4).



■ – ЗВМ – 3966 СБХ «СИВЕР»; ■ – автомобиль ГАЗ-66

Рис. 3. Гистограмма эффективности колесных машин при движении по снегу различной глубины

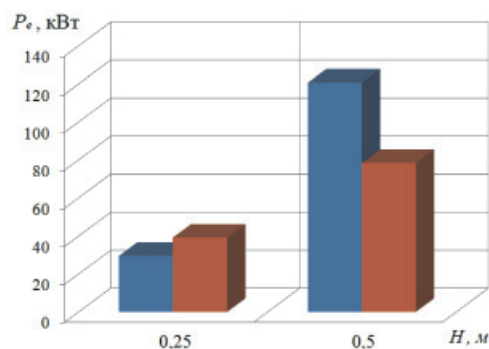


Рис. 4. Гистограмма потребной мощности колесных машин при движении по снегу различной глубины

На глубине снега 0,25 м транспортная эффективность ГАЗ-66 выше, чем у ЗВМ-3966 на 1,3 (рис. 3). При этом потребная для движения в данных условиях мощность

автомобиля ГАЗ-66 (со скоростью  $V = 8$  м/с) составляет 29,62 кВт, что на 9,62 кВт меньше, чем у сравниваемой КМ (рис. 4). На глубине 0,5 м значения показателей

эффективности следующие (при  $V = 8$  м/с):  $\eta_{\text{эфф}}$  (ГАЗ-66) = 1,3;  $\eta_{\text{эфф}}$  (ЗВМ-3966) = 2. Величины потребляемой мощности при  $H = 0,5$  м составляют 120,74 кВт для ГАЗ-66 и 78,48 кВт для ЗВМ-3966. Разница в потребляемых мощностях составляет 42,26 кВт, что при удельном расходе топлива  $g_e = 286,00$  г/кВт·ч будет равно попутному перерасходу топлива в 51,2 л/100 км.

Более подробно влияние параметров двигателей на эффективность рассмотрено в работах [5, 8–10]. Также при анализе эффективности транспортных средств сна-

чала необходимо исследовать зависимости между мощностью и полной массой машины, массой перевозимого груза и полной массой машины.

На основании анализа существующих транспортных машин для северных автоперевозок можно заключить, что данные о соотношении мощности двигателя и полной массы машины (рис. 5, а), а также данные о соотношении массы перевозимого груза и полной массы машины (рис. 5, б) могут быть аппроксимированы линейными зависимостями.

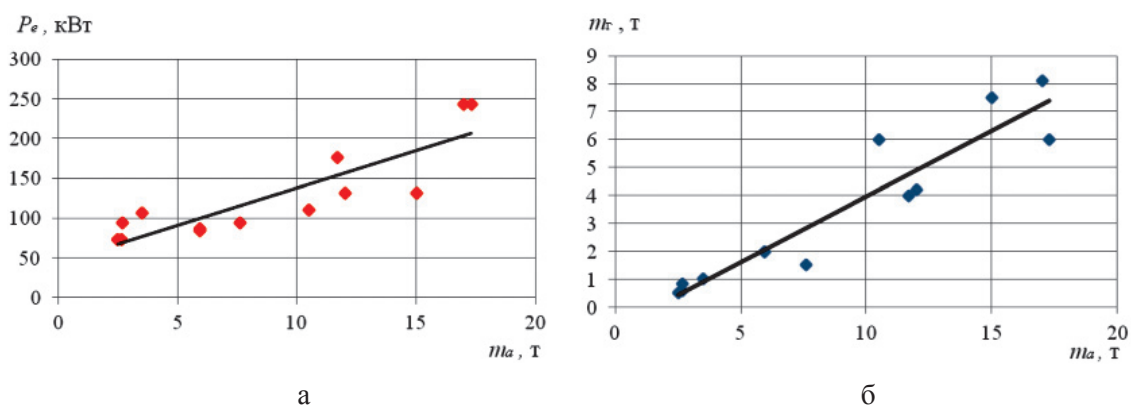


Рис. 5. Результаты анализа существующих транспортных машин для северных автоперевозок:

а – зависимость мощности двигателя от полной массы машин;

б – зависимость между полной массой машины и массой перевозимого груза

На основании анализа был сформирован ряд гипотетических образцов автомобилей со следующими основными параметрами:

- 1) полная масса  $m_a = 2,5$  т, максимальная мощность двигателя  $P = 65$  кВт;
- 2) полная масса  $m_a = 6,5$  т, максимальная мощность двигателя  $P = 90$  кВт;
- 3) полная масса  $m = 11$  т, максимальная мощность двигателя  $P_e = 150$  кВт;
- 4) полная масса  $m = 16$  т, максимальная мощность двигателя  $P_e = 210$  кВт.

В соответствии с этим можно проводить поиск рациональных (с точки зрения эффективности) параметров двигателей по категориям полных масс колесных машин, а не по их классам грузоподъемности, а в качестве характеристик энергетических установок брать усредненные для каждой категории мощности двигателей машин и на основании этих данных получать скоростные характеристики.

На рис. 6 представлены примеры поверхностей, характеризующих изменение эффективности в зависимости от диаметра колеса при разных коэффициентах ширины шины. Данный подход позволяет охватить весь диапазон возможных конструктивных параметров пневмоколесных двигателей.

## Выводы

Разработана методика выбора конструктивных параметров двигателей на основе расчетной оценки эффективности движения колесных машин по снегу. В качестве критерия оценки эффективности колесных машин при движении по снегу выбран показатель, определяемый как отношение транспортной производительности к соответствующей потребляемой мощности двигателя.

Проведены расчетные исследования по оценке влияния параметров пневмоколесных двигателей на показатели эффективности машин при движении по снегу, по результатам которых выданы рекомендации по выбору целесообразных геометрических параметров с точки зрения повышения эффективности исследуемых классов машин, сведенные в табл. 1. Установлено, что для каждого из исследуемых классов КМ существует высота снежного покрова  $H$ , после которой увеличение размеров шины ведет к повышению эффективности  $\eta_{\text{эфф}}$ , т.е. при данной высоте снега большей эффективностью обладает колесная машина с более высокими показателями проходимости. Причем наблюдается некоторая закономерность смещения этой высоты снега в сторону увеличения при уменьшении плотности снега и при увеличении массы машины.



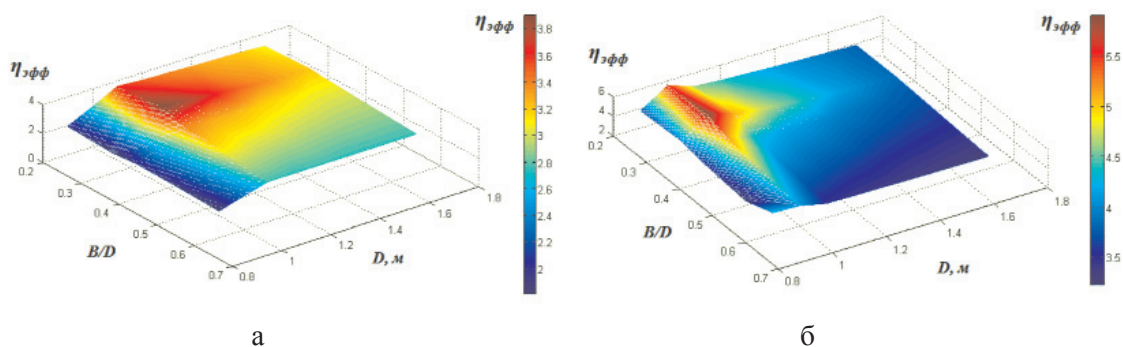


Рис. 6. Поверхности, характеризующие изменение эффективности  $\eta_{эфф}$  КМ ( $m_a = 16$  т) в зависимости от диаметра колеса  $D$  при движении по снегу-1:  
 а – высотой  $H = 0,60$  м; б – высотой  $H = 0,4$  м

Рекомендации по выбору параметров движителей с точки зрения эффективности

Масса машины, т	Высота снега, м	Наружный диаметр, м	Коэффициент ширины $B/D$	Показатель эффективности, $\eta_{эфф}$
2,5	0,20–0,25	0,85...1,1	0,25...0,35	2,5...2,8
	0,45–0,50	$\geq 1,2$	$\geq 0,35$	1,2...1,4
6,5	0,20–0,25	$\leq 1,2$	$\leq 0,35$	6,2...6,4
	0,45–0,50	1,1...1,6	0,30...0,40	2,2...2,5
	0,65–0,70	$\geq 1,4$	$\geq 0,38$	1,2...1,4
11	0,20–0,25	$\leq 1,1$	$\leq 0,25$	7,2...7,4
	$\leq 0,40$	1,1...1,25	0,25...0,40	3,0...3,2
	0,50–0,55	$\geq 1,15$	0,28...0,38	2,0...2,2
16	0,65–0,70	$\geq 1,30$	$\geq 0,35$	1,4...1,6
	$\leq 0,40$	1...1,25	0,25...0,35	5,3...5,6
	0,50–0,55	1...1,40	0,25...0,40	3,6...3,8
	0,65–0,70	$\geq 1,30$	$\geq 0,30$	2,0...2,2

Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ № 14.124.13.1869-МК «Разработка метода повышения эффективности использования транспортно-технологических машин в зимний период на основании экспериментально-теоретических исследований».

Список литературы

1. Аникин А.А., Балов В.В., Зеленев С.Г., Макаров В.С., Масленников В.А., Перепелов А.В. Ведущий мост транспортного средства высокой проходимости: патент на полезную модель RUS 96531 22.03.2010.
2. Аникин А.А., Балов В.В., Зеленев С.Г., Макаров В.С., Масленников В.А., Перепелов А.В. Ведущий управляемый мост транспортного средства высокой проходимости: патент на полезную модель RUS 96532 22.03.2010.
3. Аникин А.А., Балов В.В., Зеленев С.Г., Макаров В.С., Масленников В.А., Перепелов А.В. Транспортное средство высокой проходимости «Сивер»: патент на полезную модель RUS 82184 12.12.2008.
4. Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2012. – № 2 (95). – С. 156–166.

5. Галкин Д.А. Влияние параметров шин на подвижность многоосных колесных машин / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7882 (дата обращения: 24.12.2012).

6. Гончаров К.О. Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2010. – № 6. – С. 3–3.

7. Гончаров К.О. Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2010. – № 12. – С. 10–10.

8. Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: www.science-education.ru/105-6927 (дата обращения: 17.09.2012).

9. Зезюлин Д.В. Разработка методики выбора конструктивных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.

10. Зезюлин, Д.В. Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1–2. – № 42–43. – С. 41–42.

11. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходности колесных машин при криволинейном движении по снегу: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. –161 с.

12. Макаров В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Федоренко, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 1 – С. 150–157.

13. Макаров В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).

14. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О., А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 2 – С. 155–160.

15. Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696> (дата обращения: 23.07.2013).

### References

1. Anikin A.A., Balov V.V., Zelenov S.G., Makarov V.S., Maslennikov V.A., Perepelov A.V. Veduschij most transportnogo sredstva vysokoj prohodimosti // The utility model patent RUS 96531 22.03.2010.

2. Anikin A.A., Balov V.V., Zelenov S.G., Makarov V.S., Maslennikov V.A., Perepelov A.V. Veduschij upravlyaemyj most transportnogo sredstva vysokoj prohodimosti // The utility model patent RUS 96532 22.03.2010.

3. Anikin A.A., Balov V.V., Zelenov S.G., Makarov V.S., Maslennikov V.A., Perepelov A.V. Transportnoe sredstvo vysokoj prohodimosti «Siver». The utility model patent RUS 82184 12.12.2008.

4. Belyakov V.V., Galkin D.A., Zajcev A.S., Zezyulin D.V., Kudryashov E.M., Makarov V.S. Ocenka jeffektivnosti special'nyh transportnyh sredstv pri dvizhenii po snegu Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev. 2012. no. 2 pp. 156–166.

5. Galkin, D.A., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vliyanie parametrov shin na podvizhnost' mnogoosnyh kolesnyh mashin Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya., 2012, no. 6; available at: [www.science-education.ru/106-7882](http://www.science-education.ru/106-7882)

6. Goncharov K.O. Vliyanie jekskavacionno-bul'dozernyh jeffektov voznikayuschih pri krivolinejnom dvizhenii koleasa na soprotivlenie kacheniyu / K.O. Goncharov, V.S. Makarov, V.V. Belyakov // Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie. ., 2010, no 6, pp.3-3.

7. Goncharov K.O., Makarov V.S., Belyakov V.V. Экспериментальные исследования многоосной колесной машины Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie., 2010, no. 12, pp. 10–10.

8. Zezyulin D.V., Vahidov U.Sh., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vliyanie parametrov dvizhitelej na pokazateli jeffektivnosti kolesnyh mashin pri dvizhenii po snegu Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya., 2012, no. 5; available at: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927).

9. Zezyulin D.V. Razrabotka metodiki vybora konstrukcionnyh parametrov dvizhitelej, obespechivayuschih jeffektivnost' dvizheniya kolesnyh mashin po snegu, Ph.D. thesis, NNSTU, 2013, 218 p.

10. Zezyulin, D.V., Makarov V.S., Belyakov V.V. Raschetnyj analiz vliyaniya parametrov dvizhitelej na pokazateli jeffektivnosti kolesnyh mashin pri dvizhenii po snezhnomu polotnu puti-Lesa Rossii i hozjajstvo v nih. – 2012. – Т. 1-2. – no 42–43. – pp. 41–42.

11. Makarov V.S. Metodika rascheta i ocenka prohodimosti kolesnyh mashin pri krivolinejnom dvizhenii po snegu, Ph.D. thesis, NNSTU, 2009, 161 p.

12. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Goncharov K.O., Fedorenko A.V., Belyakov V.V. Ocenka jeffektivnosti dvizheniya kolesnyh mashin na osnovanii statisticheskikh harakteristik snezhnogo pokrova Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev., 2013, no. 1, pp. 150–157.

13. Makarov V.S. Statisticheskij analiz harakteristik snezhnogo pokrova- Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya., 2013, no. 1; available at: [www.science-education.ru/107-8289](http://www.science-education.ru/107-8289).

14. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Belyakov V.V., Papunin A.V., Belyakov V.V. Formirovanie snezhnogo pokrova v zavisimosti ot landshafta mestnosti i ocenka podvizhnosti transportno-tehnologicheskikh mashin v techenie zimnego perioda Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev., 2013, no. 2, pp. 150–157.

15. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Papunin A.V., Belyakov V.V. Harakter izmeneniya snezhnogo pokrova kak polotna puti s uchedom neravnornosti ego zaleganiya na mestnosti Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya., 2013, no. 4; available at: [www.science-education.ru/110-9696](http://www.science-education.ru/110-9696).

### Рецензенты:

Молев И.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород,

Шапкин В.А., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 23.09.2013.