

УДК 624.042.12

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ОТВАЛА СНЕГОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

**Кошелев Ю.В., Согин А.В., Соколов Д.А., Шаров Д.В.**

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижегород, e-mail: mtsy@ya.ru, moleff@yandex.ru, cte@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы определения величины силы сопротивления перемещению снегоуборочной техники, оснащённой плужными рабочими органами. Авторами описывается процесс изменения силы трения при перемещении отвала по неровной поверхности. Полученные зависимости между величиной колебания рабочего органа и силой трения, действующей на нижней грани отвала, позволяют оценить как затраты на перемещение снега с поверхности дороги, так и максимальную высоту оставшегося снега или его общий объём, оставшийся неубранным на дороге. В данной работе представлена методика экспериментального определения как суммарной величины силы трения, действующей на нижней кромке отвала, так и таких показателей, как её амплитуда, частота изменения и период действия. Впервые получены экспериментальные зависимости данного параметра для различных конструкций подвески рабочих органов. Приведён расчёт, по результатам которого определены условия определения основных параметров изменения силы трения.

**Ключевые слова:** плужный снегоочиститель, сила сопротивления движению, величина колебаний, экспериментальные исследования

## THE METHOD OF DETERMINATION OF STRENGTH OF THE RESISTANCE MOVEMENT OF THE BLADE SNOW PLOWS

**Koshelev Y.V., Sogin A.V., Sokolov D.A., Sharov D.V.**

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Alekseyev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: mtsy@ya.ru, s-denis-tch@yandex.ru, cte@mail.ru*

The article considers the issues of determining the magnitude of the force of resistance to movement snow-removing machines, equipped with plows working bodies. The author describes the process of change in the force of friction when moving blade on uneven ground. The dependences between the magnitude of the fluctuations of the working body and the friction force acting on the bottom edge of the blade, allow to estimate the cost of moving snow from the road surface and the maximum height of the remaining snow or its total remaining removed on the road. This paper presents the method of experimental determination as the total value of the friction force acting on the bottom edge of the blade, and such indicators as its amplitude, frequency changes and validity period. First obtained experimental dependence of this parameter for the different structures of the suspension of working bodies. The above calculation results of which the conditions for the determination of the basic parameters of change of the friction force.

**Keywords:** snow blower, suspension, force of resistance to the motion, experimental studies

Проблема зимнего содержания автомобильных дорог на территории российской Федерации является весьма актуальной, так как 80% из них расположено в зонах [11–13], где длительность зимнего периода превышает 140 дней в году [5, 8]. К основным факторам, влияющим на условия движения автомобилей в зимний период года, относятся: наличие снежных накатов и льда, приводящих к резкому снижению сцепления колеса с дорогой, увеличение сопротивления качения (при движении по накатам и свежевыпавшему снегу), ухудшение ровности опорной поверхности, изменение ширины проезжей части и обочин [15]. В результате в зимний период снижаются скорости автомобилей, что приводит к увеличению выброса вредных веществ на километр пробега, увеличение плотности движения автомобилей и относительному росту количества ДТП.

Главная задача зимнего содержания – обеспечить максимально возможную вели-

чину сцепных качеств дороги и минимальное сопротивление качению путем предотвращения образования снежных отложений и ликвидации зимней скользкости на дороге.

Для уборки снега с поверхности дороги в зависимости от толщины и состояния слоя снега (рыхлый, свежевыпавший, мало- и среднеуплотненный, сильноуплотненный – слежавшийся и обледеневший) применяются рабочие органы различного типа и размера.

Одним из путей повышения качества и эффективности очистки является выбор рациональных параметров подвески плужного рабочего органа [4]. Так как каждый тип подвески характеризуется своей величиной силы трения нижней кромки поверхности отвала по очищаемой поверхности, которая в свою очередь является определяющей в силе сопротивления движения машины [1–3, 10] (объём удаляемого снега и скорость его уборки, также влияющие на энергоёмкость удаления снега, опреде-

ляются технологическими, а не конструктивными требованиями к процессу снегоочистки), то для определения рациональных параметров подвески наиболее информативно будет сравнение именно зависимостей относительного объёма удаляемого снега от величины силы трения. Теоретические зависимости, определяющие данную величину, были приведены в работах [9 и 14]. Экспериментальных исследований данного параметра до настоящего времени не проводилось.

Наиболее простым способом найти усилие, действующее на отвал (без учёта силы перемещения снега), является определение разницы между силой сопротивления движению при движении машины с поднятым и опущенным отвалом по очищаемой поверхности. Данная работа была выполнена с использованием комплекса измерительной аппаратуры RACELOGIC VBOX. В общем виде результаты работы могут быть проиллюстрированы полученными зависимостями, показанными на рис. 1 и 2.

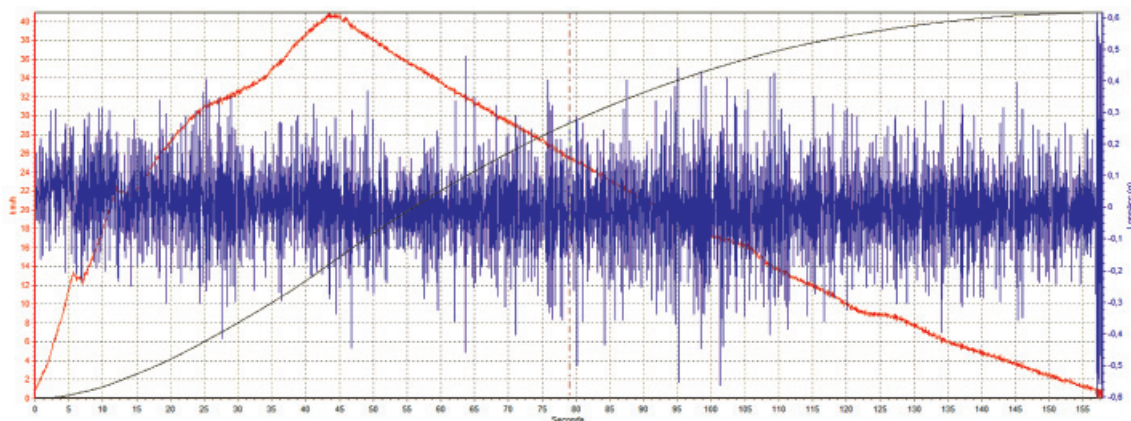


Рис. 1. Графические зависимости изменения скорости движения автомобиля, пройденного пути и вертикальных ускорений с поднятым снегоуборочным отвалом

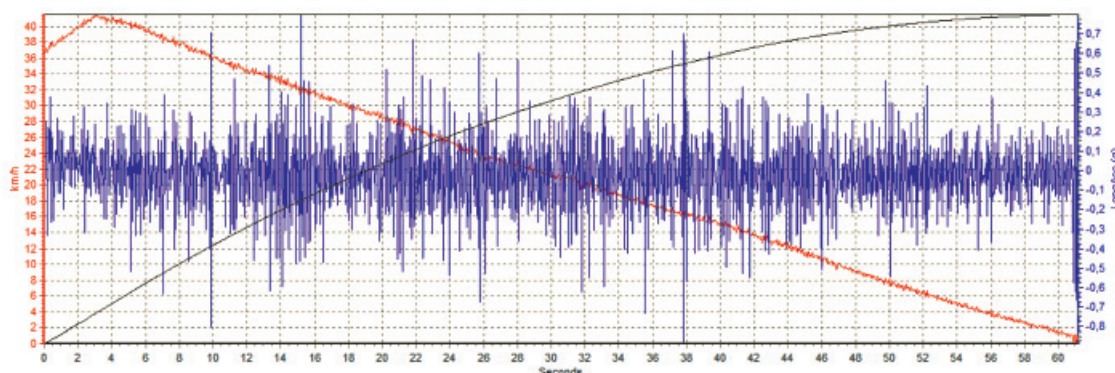


Рис. 2. Графические зависимости изменения скорости движения автомобиля, пройденного пути и вертикальных ускорений с опущенным снегоуборочным отвалом

Полученные данные показывают, что со скорости 40 км/ч автомобиль с поднятым снегоуборочным отвалом останавливается за 114 секунд (среднее замедление движения составляет 0,097 м/с<sup>2</sup>), а с опущенным – 60 секунд (среднее замедление движения составляет 0,185 м/с<sup>2</sup>), то есть сила сопротивления на торце отвала создаёт дополнительное сопротивление, вызывающее ускорение величиной 0,088 м/с<sup>2</sup>, что для автомобиля ЭД 405 на базе автомобиля КамАЗ, массой 15000 кг, на которых проводились испытания, даёт среднюю силу сопротивления, равную 1322 Н (132 кг).

Следует отметить, что величина силы трения отвала по очищаемой поверхности не является постоянной величиной и зависит от суммарного усилия прижатия рабочего органа и величины его вертикальных ускорений. В общем виде эта зависимость может быть представлена в виде [5]:

$$F_{тр} = \phi \dot{z} \left( G \frac{l_4}{l_3} + F_0 \frac{l_5}{l_3 \cos \beta} \right), \quad (1)$$

где  $G$  – масса рабочего органа;  $F_0$  – усилие прижатия рабочего органа гидросистемой;  $\phi$  – коэффициент трения между материалом

отвала и очищаемой поверхностью;  $l_3$  – расстояние от упругого шарнира до нижней кромки отвала по горизонтали;  $l_4$  – расстояние от упругого шарнира до нижней кромки отвала по вертикали;  $l_5$  – расстояние от упругого шарнира до места крепления гидроцилиндра по вертикали;  $\beta$  – угол установки гидроцилиндра. С учётом того, что величины колебаний отвала по своей величине значительно меньше, чем его геометрические размеры, можно принять, что величины  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_5$  и  $\beta$  будут оставаться неизменными во время движения, то есть уравнение (1) можно записать в виде:

$$F_{\text{ТР}} = \phi \dot{z} A,$$

где  $A$  – параметр подвески отвала. Тогда уравнение замедления движения автомобиля примет вид:

$$a = G_A f + \phi \dot{z} A, \quad (2)$$

где  $G_A$  – масса автомобиля;  $f$  – коэффициент сопротивления движению автомобиля. Решение данного уравнения, с учётом того, что при величине  $\dot{z} \leq 0$ , сила трения становится не отрицательной, а равняется 0, при различных частотах и амплитуде колебаний приведены на рис. 3.

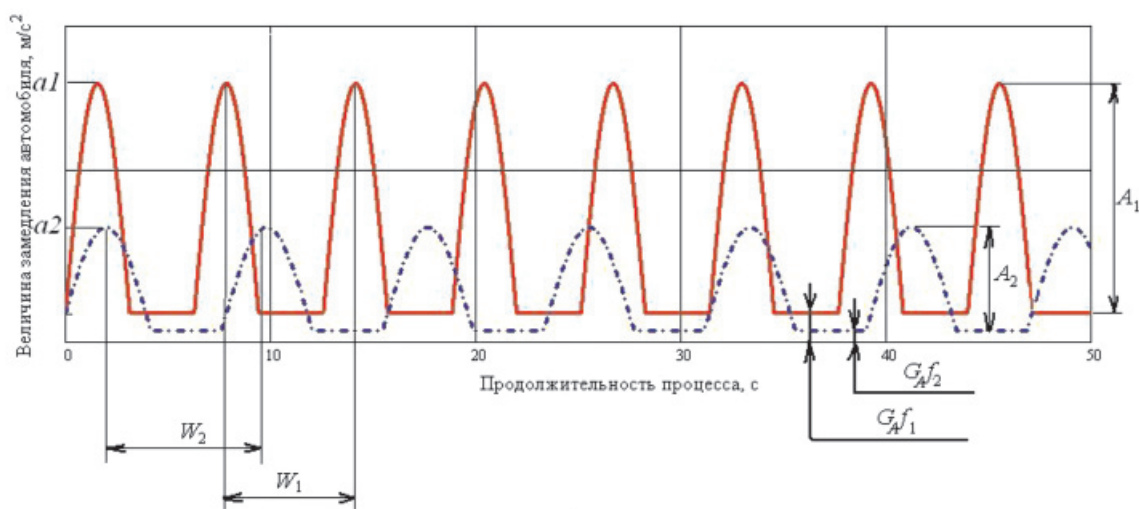


Рис. 3. Основные параметры процесса изменения замедления автомобиля по времени

Интегрирование данной зависимости с применением строгих математических методов является невозможным. Поэтому полученная зависимость изменения скорости движения коммунальной техники ре-

шалась численными методами при помощи персональных компьютеров. Изменение параметров замедления при разной частоте изменения силы трения показано на рис. 4, а при разной амплитуде – на рис. 5.

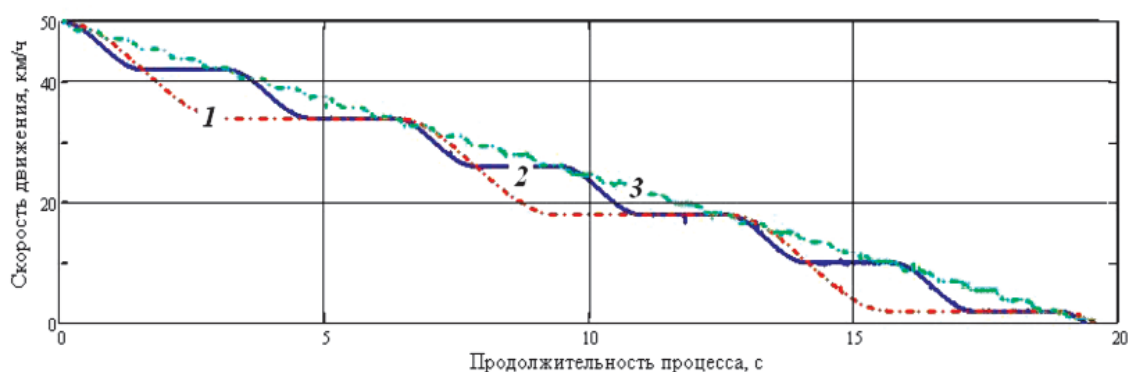


Рис. 4. Изменение скорости движения транспортного средства при воздействии на него внешней силы с разной частотой:

1 – базовая частота; 2 – удвоенная частота; 3 – десятикратная частота

Полученные данные свидетельствуют о том, что частота воздействия силы трения на её среднюю величину влияния не оказы-

вает, а величина амплитуды колебания силы сопротивления отвала увеличивает величину силы сопротивления прямо пропорци-

онально своей величине. Математическое моделирование процесса движения отвала по очищаемой поверхности показывает, что кроме данных параметров, на величине

изменения силы трения оказывает такой параметр, как время действия силы трения за один период колебаний. Его влияние на исследуемую величину показано на рис. 6.

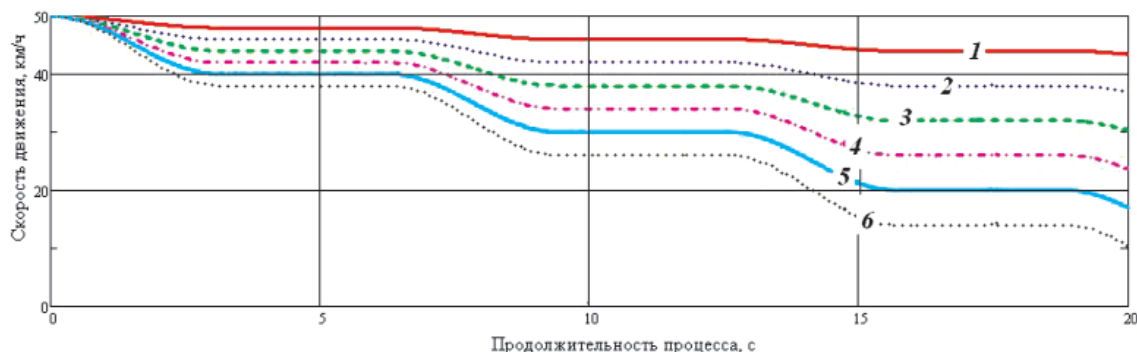


Рис. 5. Изменение скорости движения транспортного средства при воздействии на него внешней силы с разной амплитудой колебаний:  
 1 – базовая амплитуда; 2 – удвоенная амплитуда; 3 – утроенная амплитуда;  
 4 – четырехкратная амплитуда; 5 – пятикратная амплитуда; 6 – шестикратная амплитуда

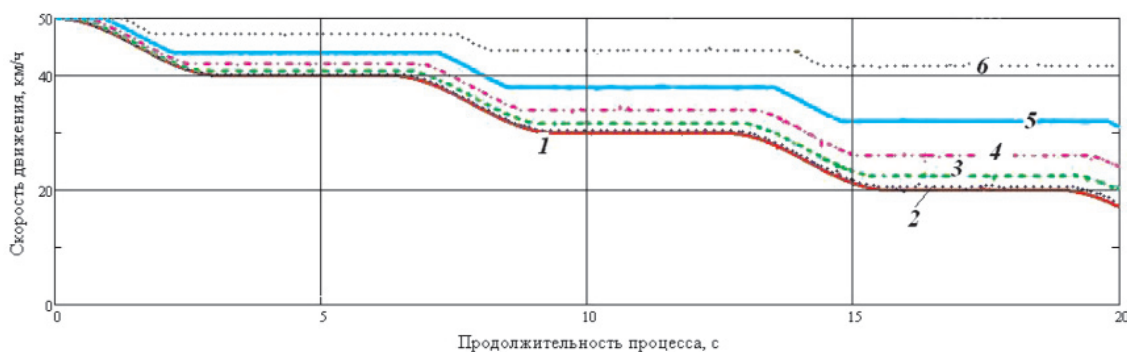


Рис. 6. Изменение скорости движения транспортного средства при воздействии на него внешней силы с разным периодом действия силы трения:  
 1 – период действия силы трения составляет 100% длительности цикла; 2 – период действия силы трения составляет 80% длительности цикла; 3 – период действия силы трения составляет 60% длительности цикла; 4 – период действия силы трения составляет 40% длительности цикла; 5 – период действия силы трения составляет 20% длительности цикла; 6 – период действия силы трения составляет 10% длительности цикла

Полученные данные свидетельствуют о том, что изменение данного параметра может скорректировать величину суммарной силы сопротивления движения автомобиля [6, 7] на более чем 50% от её начальной величины, то есть методика определения сил сопротивления движению отвала снегоуборочной техники в обязательном порядке должна учитывать период действия силы трения отвала по очищаемой поверхности. Данный параметр может быть определен при помощи маркера, устанавливаемого на нижней кромке отвала и оставляющего явно видимый след на очищаемой поверхности после прохождения отвала. При испытании на сухом асфальте в качестве такого маркера применялся кусок мела, а при движении

по заснеженной поверхности-валик с красной краской. Измеряя расстояние между двумя штрихами и длину каждого штриха при помощи мерной рулетки, получаем период действия силы трения. Таким образом, действующая сила трения между нижней кромкой отвала и очищаемой поверхностью может быть определена из уравнения:

$$F_{\text{тр}} = \frac{a_1 - a_2}{G_A \cdot (2,5T - 1,5T^2)},$$

где  $a_1$  – замеренное ускорение движения автомобиля с опущенным отвалом;  $a_2$  – замеренное ускорение движения автомобиля с поднятым отвалом;  $G_A$  – масса автомобиля;  $T$  – относительный период касания

отвала очищаемой поверхности. Полученная зависимость позволяет оценить величину силы трения, действующей между отвалом и очищаемой поверхностью при помощи стандартного измерительного оборудования, оценить влияние вносимых изменений в конструкцию отвала как на качество, так и на эффективность процесса снегоуборки.

### Список литературы

1. Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дис. ... д-ра тех. наук: 05.05.03. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
2. Беляков В.В. 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. Р.Е.Алексеева. – 2012. – № 2 (95). – С. 156–166.
3. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛЛАМ, 2004. – 961 с.
4. Вахидов У.Ш. Подвеска рабочего органа снегоуборочной машины. Методика выбора рациональных параметров / У.Ш. Вахидов, Ю.В. Кошелев, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: [www.science-education.ru/115-12152](http://www.science-education.ru/115-12152).
5. Желудкевич Р.Б. Машины и агрегаты для содержания аэродромов: учеб. пособие / Р.Б. Желудкевич, В.Н. Подвезенный. – Красноярск: ИПЦ КТУ, 2003. – 294 с.
6. Зезюлин Д.В. 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](http://www.science-education.ru/105-6927).
7. 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.
8. Куляшов А.П. Зимнее содержание дорог: учебное пособие / А.П. Куляшов, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин. – Нижний Новгород: НГТУ, 2007. – 353 с.
9. Куляшов А.П. Пути повышения степени очистки снежных накатов на поверхности дорог / А.П. Куляшов, А.О. Маликов, Ю.И. Молев, А.М. Соколов // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 44–46.
10. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
11. Макаров В.С. Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 – С. 270–276.
12. Макаров В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289>.
13. 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.
14. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев [и др.]. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.
15. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза: учебное пособие. – М.: Экзамен, 2003. – 208 с.

### References

1. Belyakov V.V. Vzaimodeystvie so snezhnym pokrovom yelastichnykh dvizhiteley spetsialnykh transportnykh sredstv. Ph.D. thesis, NNSTU, 1999, 485 p.
2. Belyakov V.V. Otsenka yeffektivnosti spetsial'nykh transportnykh sredstv pri dvizhenii po snegu / Belyakov V.V., Galkin D.A., Zaytsev A.S., Zezyulin D.V., Kudryashov E.M., Makarov V.S. // Trudy NGTU im. R.E.Alekseeva. 2012. no. 2 (95). pp. 156–166.
3. Belyakov V.V., A.P. Kulyashov Vezdehodnye transportno-tehnologicheskie mashiny. Osnovy teorii dvizheniya. Nizhny Novgorod, TALAM, 2004. 961 p.
4. Vakhidov U.Sh. Podveska rabocheho organa snegouborochnoy mashiny. Metodika vybora ratsionalnykh parametrov / Vakhidov U.Sh., Koshelev Yu.V., Molev Yu.I., Shapkin V.A. // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 1; available at: [www.science-education.ru/115-12152](http://www.science-education.ru/115-12152).
5. Zheludkevich R.B. Mashiny i agregaty dlya soderzhaniya ayerodromov: ucheb. posobie / R.B. Zheludkevich, V.N. Podvezennyy. Krasnoyarsk: IPTs KТУ, 2003. 294 p.
6. Zezyulin D.V., Vahidov U.Sh., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vliyaniye parametrov dvizhiteley na pokazateli yeffektivnosti kolesnykh mashin pri dvizhenii po snegu Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2012, no. 5; available at: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927).
7. Zezyulin D.V. Razrabotka metodiki vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley, obespechivayuschikh yeffektivnost dvizheniya kolesnykh mashin po snegu: Ph.D. thesis, NNSTU, 2013, 218 p.
8. Kulyashov A.P. Zimnee soderzhanie dorog: Uchebnoye posobie / A.P. Kulyashov, Yu.I. Molev, V.A. Shapkin. Nizhny Novgorod: NGTU, 2007. 353 p.
9. Kulyashov A.P. Puti povysheniya stepeni ochistki snezhnykh nakatov na poverkhnosti dorog/ A.P. Kulyashov, A.O. Malikov, Yu.I. Molev, A.M. Sokolov // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2007. no. 3, pp. 44–46.
10. Makarov V.S. Metodika rascheta i ocenka prohodimosti kolesnykh mashin pri krivolineynom dvizhenii po snegu, Ph.D. thesis, NNSTU, 2009, 161 p.
11. Makarov V.S. Mnogourovnevaya model snega kak polotna puti dlya transportno-tehnologicheskikh mashin na primere territorii Rossiyskoy Federatsii / V.S. Makarov, D.V. Zezyulin, V.V. Belyakov // Fundamentalnye issledovaniya. 2013. no. 10 pp. 270–276.
12. Makarov V.S. Statisticheskii analiz kharakteristik snezhnogo pokrova / Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2013, no. 1; available at: <http://www.science-education.ru/107-8289>.
13. Makarov V.S. Otsenka yeffektivnosti dvizheniya kolesnykh mashin na osnovanii statisticheskikh kharakteristik snezhnogo pokrova / V.S. Makarov, D.V. Zezyulin, K.O. Goncharov, A.V. Fedorenko, V.V. Belyakov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2013. no. 1 pp. 150–157.
14. Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroitel'nykh mashin / V.I. Balovnev M.: Vyssh. shk., 1981. 335 p.
15. Suvorov Yu.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya yekspertiza: Uchebnoye posobie. M.: Yekzamen, 2003. 208 p.

### Рецензенты:

Беляков В.В. д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и тракторы», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева», г. Нижний Новгород;  
 Вахидов У.Ш. д.т.н., заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева», г. Нижний Новгород.  
 Работа поступила в редакцию 02.06.2014.