

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/23TVN516.pdf>

Статья опубликована 27.09.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Фадеев Е.А., Блохин А.Н., Барахтанов Л.В., Денисенко Е.Г. Исследования расхода топлива снегоходной машины // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/23TVN516.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Соглашение о предоставлении субсидии Министерства образования и науки в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» №14.577.21.0080 от 05.06.2014. Уникальный идентификационный номер проекта RFMEFI57714X0080

УДК 629.032

Фадеев Евгений Андреевич

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»
Россия, Нижний Новгород¹

Младший научный сотрудник

E-mail: evgeny@fadeev.pw

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8075-1549>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/D-3753-2014>

Индивидуальный номер ученого карты Российской науки: <https://mapofscience.ru/scientist/58881571>

Блохин Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»
Россия, Нижний Новгород

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: a.n.blokhin@gmail.com

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=620588

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/A-2881-2014>

Индивидуальный номер ученого карты Российской науки: <https://mapofscience.ru/scientist/994614>

Барахтанов Лев Васильевич

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»
Россия, Нижний Новгород

Доктор технических наук, профессор

E-mail: barahtanov@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=642797

Индивидуальный номер ученого карты Российской науки: <https://mapofscience.ru/scientist/1015983>

Денисенко Елена Геннадьевна

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»
Россия, Нижний Новгород

Научный сотрудник

E-mail: denisenkoel@gmail.com

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=694009

Индивидуальный номер ученого карты Российской науки: <https://mapofscience.ru/scientist/51123964>

Исследования расхода топлива снегоходной машины

¹ 603951, г. Нижний Новгород, Бокс 41

Аннотация. Топливная экономичность является одним из важнейших экономических показателей для транспортного средства. Расход топлива растет при движении в тяжелых дорожных условиях, поскольку на преодоление дополнительного сопротивления расходуется значительная часть энергии. Движение по снегу является одним из случаев, для которых не разработана методика оценки расхода топлива. При этом, снижение потребления топлива весьма актуально не только с экономической точки зрения, но и с точки зрения воздействия на экологию.

В статье представлен анализ влияния параметров снега на расход топлива. Проведено моделирование взаимодействия колеса со снегом, что позволило рассчитать силы сопротивления, возникающие при движении по снегу. На основе полученных расчетов построены зависимости расхода топлива от таких параметров снега, как плотность и глубина покрова. Данные зависимости позволяют спрогнозировать необходимый объем топлива для выполнения транспортной работы на заснеженном маршруте, либо подобрать транспортное средство для обеспечения минимального расхода. В статье представлены результаты полевых испытаний расхода топлива транспортного средства Русак 2992, при движении по снегу, которые подтверждают адекватность приведенных расчетов и методик.

Ключевые слова: вездеход; расход топлива; снег; свойства снега; взаимодействие колеса со снегом; сопротивление движению

Введение

В условиях рыночной экономики усиливается необходимость снижения затрат на эксплуатацию транспорта. Топливная экономичность является одним из важнейших экономических показателей для транспортного средства. Однако, расход топлива значительно растет при движении в тяжелых дорожных условиях, поскольку на преодоление дополнительного сопротивления расходуется значительная часть энергии. Движение машины по снегу является распространенным случаем дорожных условий, при которых резко возрастает количество топлива, потребленного транспортным средством. Между тем, именно на заснеженных территориях вопрос экономии топлива становится весьма актуальным в силу отсутствия развитой сети заправочных станций. Помимо экономического фактора немаловажным является влияние транспорта на окружающую среду вследствие выбросов отработанных газов двигателя. Данный вопрос становится еще более актуальным в районах Арктики, большая часть которой покрыта снегом. Между тем не существует методики, которая позволила бы в данных условиях оценить уровень расхода топлива. Таким образом, необходим глубокий анализ параметров топливной экономичности снегоходных машин с целью снижения экологического ущерба, а также улучшения экономических показателей использования транспорта.

Для того, чтобы определить, какие факторы влияют на расход топлива, нужно провести исследование дополнительных сил сопротивления, возникающих при движении по снегу. Именно на вертикальную деформацию снега расходуется значительная часть энергии [1, 6, 3], поэтому необходим подробный анализ взаимодействия колеса со снегом. Исследование расхода топлива позволит сделать обоснованный выбор транспортного средства для обеспечения экономически эффективных перевозок. Полученные зависимости позволяют дать прогноз относительно количества потребленного топлива, которое потребуется данной машине, передвигаясь по снегу различной глубины и плотности на маршруте.

Описание методики

Расход топлива транспортного средства определяется по известной формуле 1 [7, 8].

$$Q_s = \frac{100 \cdot G_t(\omega_{ei}, \alpha_i)}{36 \cdot V \cdot \rho_t} \quad (1)$$

где: G_t – часовой расход топлива [г/ч], V – скорость движения машины [м/с], ρ_t – плотность топлива [г/см³].

Как видно из формулы 1 часовой расход топлива – величина переменная для двигателя зависящая от нагрузки и частоты вращения двигателя. Данная зависимость определяется при стендовых испытаниях двигателя и называется нагрузочной характеристикой.

Нагрузка на двигатель определяется по формуле 2 как соотношение момента сопротивления движению N_l , приведенного к двигателю при помощи формулы 3 к максимальному крутящему моменту двигателя N_e , реализуемого при данных оборотах.

$$\alpha_i = \frac{N_l}{N_e} 100\% \quad (2)$$

$$N_l = \frac{\sum F_f r_0}{U_{tr} \eta_{tr}} \quad (3)$$

где: F_f – сила сопротивления движению [Н], U_{tr} – передаточное отношение трансмиссии, η_{tr} – КПД трансмиссии, r_0 – радиус качения колеса [м].

В случае описания характера взаимодействия колесного движителя со снегом принято представлять силу сопротивления P_f в виде суммы ряда составляющих. [2, 4]

$$P_f = P_{fc} + P_{f\text{эб}} + P_{f\text{дн}} + P_{f\text{кр}} + P_{fw}$$

где: P_{fc} – сила сопротивления, обусловленная вертикальной деформацией снежного полотна пути, $P_{f\text{эб}}$ – сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов, $P_{f\text{дн}}$ – сила сопротивления, возникающая при погружении движителя, превышающем дорожный просвет, $P_{f\text{кр}}$ – сила сопротивления движению от крюковой нагрузки, P_{fw} – сила сопротивления воздуха. Как было указано в работах [1, 3], основными компонентами полной силы сопротивления при движении по снегу являются P_{fc} и $P_{f\text{эб}}$.

Для определения указанных величин использованы следующие зависимости [2, 4]:

$$P_{fc} = 2b\gamma h_{\text{max}}^2 \left(-\ln \left(\frac{\gamma h_{\text{max}}}{\gamma h_{\text{max}} + q_{\text{max}}} \right) - \frac{q_{\text{max}}}{\gamma h_{\text{max}} + q_{\text{max}}} \right), \quad (4)$$

$$P_{\text{эб}} = 2b\gamma h_{\text{max}}^2 \left[\ln \left(1 + \frac{\Delta h}{h_{\text{max}}} \left(1 + \frac{q_{\text{max}}}{\gamma h_{\text{max}}} \right) \right) - \frac{\Delta h}{h_{\text{max}}} \right], \quad (5)$$

где: Δh – высота снега, выносимого из зоны контакта в межколесную область, в результате экскавационно-бульдозерных эффектов [м], h_{max} – деформация снега, соответствующая максимальному уплотнению [м], q_{max} – максимальное нормальное давление движителя на снег [Па]. В свою очередь, q_{max} и h_{max} определяются по формулам [9]:

$$q_{\text{max}} = \frac{\gamma h_r h_{\text{max}}}{h_{\text{max}} - h_r} \quad (6)$$

$$h_{\text{max}} = H \frac{n_y b + d}{b + d}.$$

В представленных формулах:

где: h_r – осадка движителя [м], γ – начальная жесткость снега [Па/м], b – ширина колеса [м], n_y – коэффициент уплотняемости снега; d – эмпирический коэффициент; H – глубина снежного покрова [м].

Таким образом, чтобы определить величину сопротивления движению по снегу, необходимо вычислить осадку движителя в снег.

Для определения величины осадки использована ранее разработанная модель погружения колеса в снег [10]. Данная модель позволяет определить распределение нормальных давлений в области взаимодействия колеса со снегом, что, в свою очередь, дает возможность вычислить осадку колеса h_r . Расчетная схема модели представлена на рисунке.

Высота снега Δh в зоне разгрузки колеса образуется в результате переноса материала опорного основания вследствие буксования. Вычисляется высота выдавленного в межколесное пространство снега по формуле (7) [3]:

$$\Delta h = \frac{h_{rp} V_s}{V_{кол}} \quad (7)$$

где: $V_{кол}$ – объем колеи между первым и вторым колесом [м³], V_s – объем выносимого снега между колес в результате буксования [м³].

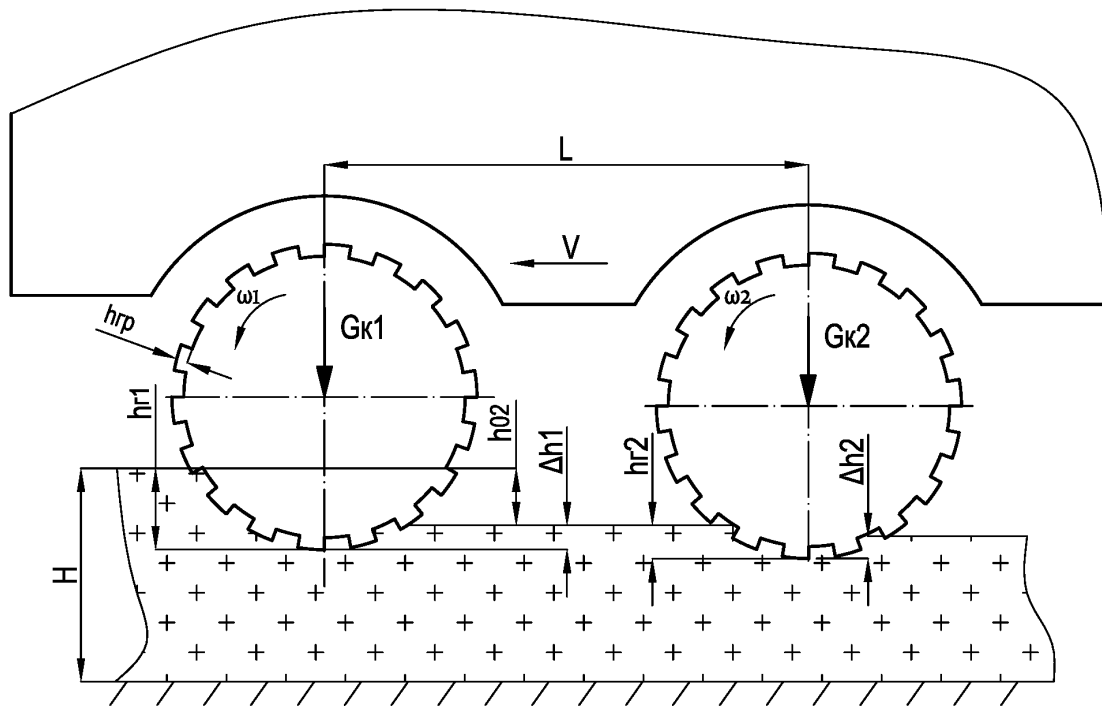


Рисунок 1. Схема определения исходных данных для расчета погружения второго колеса (составлено авторами)

В таком случае первоначальное погружение второго колеса (рис. 1) будет равняться:

$$h_{02} = h_{r1} - \Delta h_1 \quad (8)$$

Также, помимо высоты снега необходимо определить его плотность для расчета прохода второго колеса. Определение плотности снега осуществляется на основе ранее представленной зависимости [5]:

$$\rho(\varepsilon, \rho_0) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=0}^k A_{(k-i),i} \varepsilon^{k-i} \rho_0^i \quad (9)$$

где: i – показатель степени; n – максимальная степень многочлена, где ϵ – относительная деформация.

Получив все исходные параметры для второго колеса производится повторный расчет погружения, который позволяет получить характер распределения нормальных давлений в области взаимодействия второго колеса с уплотненным снегом.

В ходе расчета повторного прохода колеса учитывается изменение физико-механических свойств снега вследствие его уплотнения.

Определение погружения всех колес позволяет вычислить суммарную силу сопротивления движению колесной машины по снегу по формулам (4, 5). После вычисления сил сопротивления можно получить по зависимостям (1-3) значения расхода топлива при движении машины по снегу с различными параметрами.

Результаты

В качестве объекта исследования было выбрано вездеходное транспортное средство на шинах сверхнизкого давления Русак 3992 колесной формулой 4x4 и полной массой 3400 кг (рис. 2). На данной машине установлен дизельный двигатель Cummins ISF 2.8.



Рисунок 2. Вездеход Русак 3992 на шинах сверхнизкого давления (фото авторов)

На рисунке 3 представлена зависимость расхода топлива от глубины для различных плотностей снега, получаемая по расчетной модели, при движении со скоростью 10 км/ч и буксованием колес 25%. На рисунке 3 представлена зависимость путевого расхода топлива от плотности при различных глубинах. На рисунке 4 представлена данная зависимость в виде поверхности в плоскостях «путевой расход - плотность снега - глубина снега».

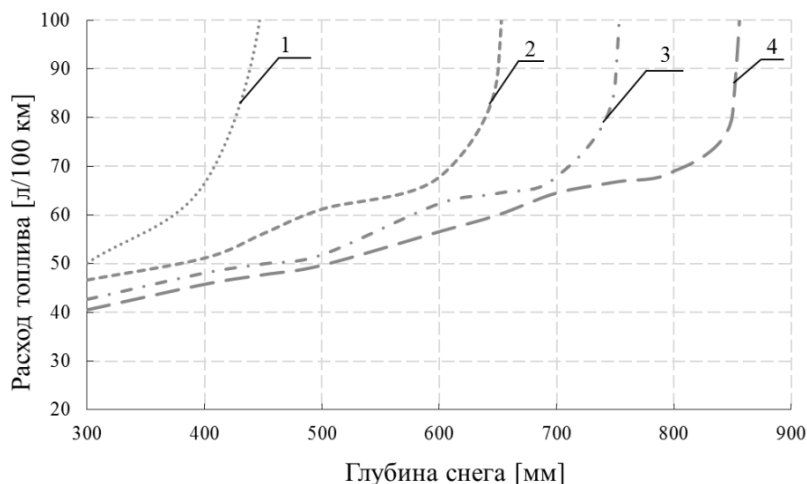


Рисунок 3. Зависимость расхода топлива от глубины снега для различных плотностей:
1 – 0.3 г/см³; 2 – 0.25 г/см³; 3 – 0.2 г/см³; 4 – 0.15 г/см³ (составлено авторами)

Анализ данных, представленных на рисунке 3 показывает, что с увеличением глубины снега расход топлива прогрессивно возрастает. Так, рассматривая движение с постоянной скоростью $V=10$ км/ч на второй передаче, при плотности снега $\rho_0=0.15$ г/см³ увеличение глубины снега с 300 мм до 800 мм приводит к увеличению расхода топлива в 1.7 раза. При плотности $\rho_0=0.2$ г/см³ увеличение глубины снега с 300 мм до 700 мм приводит к увеличению расхода топлива в 1.6 раза и т.д. С увеличением плотности снега при одной и той же глубине значения расхода топлива увеличиваются, поскольку увеличивается сила, затрачиваемая на деформацию снега. При движении транспортного средства $V=10$ км/ч на второй передаче и увеличении плотности снега с 0.15 г/см³ до 0.3 г/см³ на глубине снега 300 мм расход топлива увеличивается на 24%, а при глубине снега 400 мм – более чем на 45%.

На рисунке 4 представлены полученные значения расхода топлива при движении вездехода на первой передаче, со скоростью 10 км/ч и буксованием колес 25%.

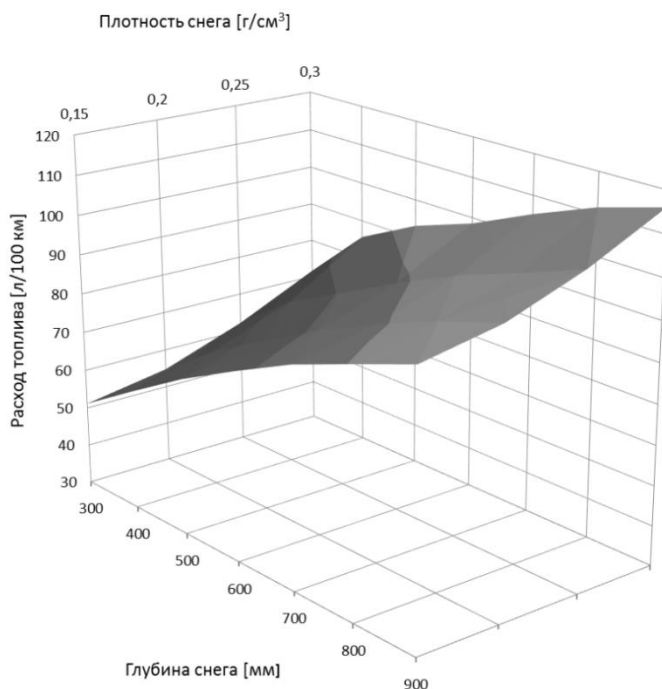


Рисунок 4. Зависимость расхода топлива от глубины снега и плотности (составлено авторами)

По полученным данным определены регрессионные зависимости расхода топлива экспериментального образца ВТС от параметров снега (7):

$$Q_s = -5.73 + 82.2\rho_0 + 95.4H + 74.16\rho_0^2 - 31.1\rho_0H - 32.9H^2 \quad (7)$$

Анализ выражения 7 показывает, что при движении на первой передаче со скоростью 10 км/ч расход топлива транспортного средства возрастает с увеличением плотности снега и его глубины. Зависимость нелинейная, но с достаточной для инженерных расчетов точностью описывается уравнением второй степени. При этом в плоскости расход топлива – плотность снега эта кривая соответствует параболе с ветвями направленными вверх, а в плоскости расход топлива – глубина снега - кривая соответствует параболе с ветвями направленными вниз (рисунок 5).

На рисунке 5 представлены результаты моделирования движения машины на второй и третьей передачах со скоростью 20 км/ч, при буксовании колес 25%. При движении на выбранной передаче в диапазоне сравнительно небольших глубин снега до 600 мм и плотностей 0.15-0.25 г/см³ наблюдается увеличение расхода топлива до 12%. Исключением является кривая 2, на которой представлены данные, полученные при глубине снега 400 мм. При плотности 0.15 г/см³ возможно движение на третьей передаче, а при более высоких плотностях снега – только на второй.

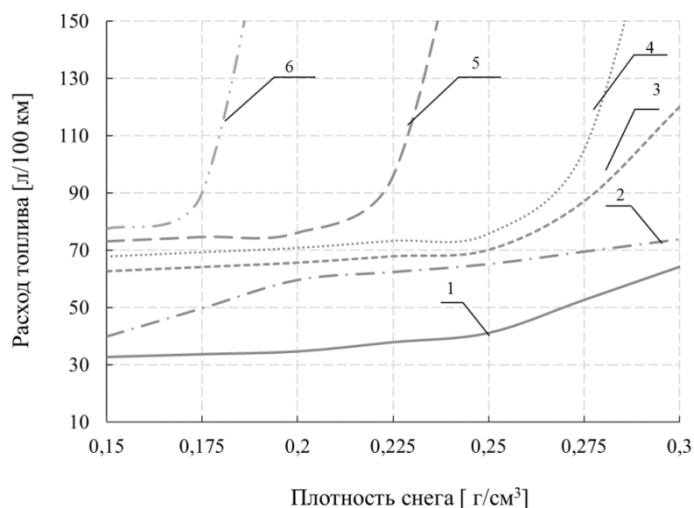
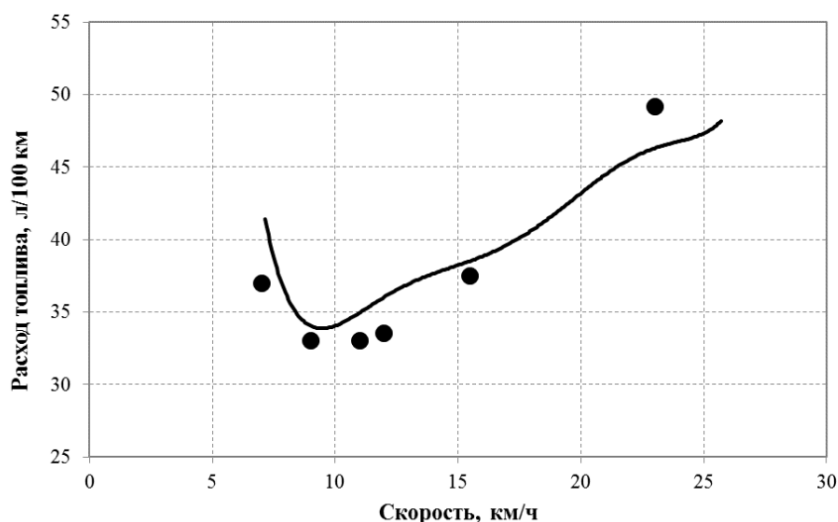


Рисунок 5. Зависимость расхода топлива от плотности снега при различных глубинах (составлено авторами)

1 – 300 мм (третья передача); 2 – 400 мм (третья передача – до 0,15 г/см³, вторая передача с 0,2 г/см³); 3 – 500 мм (вторая передача); 4 – 600 мм (вторая передача); 5 – 700 мм (вторая передача); 6 – 800 мм (вторая передача)

Для подтверждения адекватности разработанной модели были проведены полевые испытания. Измерения проводились на вездеходе Русак 3992 при движении по глубокому снегу. В ходе испытаний фиксировался пройденный путь и количество израсходованного топлива. Также проводились измерения свойств снега, его глубины, для использования в расчетной модели.

На рисунке 6 представлены результаты полевых испытаний, а также сравнение их с теоретическими расчетами.



• : результат эксперимента; – : данные моделирования

Рисунок 6. Зависимость расхода топлива от скорости движения по снегу (вторая передача)
(составлено авторами)

Параметры снега, полученные в ходе испытания: $\rho_0 = 0,38$, $\gamma = 44,973$, $C = 0,7836$, $tg\varphi = 0,3543$, $H = 580$. Из графиков следует, что расхождение теоритических расчетов с экспериментом не превышает 15%. Это позволяет утверждать об адекватности модели и применимости её для прогнозирования расхода топлива при движении машины по снегу.

Заключение

- В работе представлена методика определения расхода топлива колесной машины при движении по снегу, которая позволяет получить зависимости расхода топлива от параметров снега.
- На основе полученных графиков проведен анализ влияния плотности и глубины снега на расход топлива.
- Проведены полевые испытания на колесном вездеходе Русак 3992 для подтверждения адекватности разработанных моделей. Расхождение результатов моделирования от эксперимента не превышает 15%, что говорит о приемлемости предложенной методики анализа расхода топлива.
- Предложенная методика позволяет спрогнозировать необходимый объем топлива для выполнения транспортной работы на заснеженном маршруте, либо подобрать подходящую машину для обеспечения минимального расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. – 230 с.
2. Барахтанов Л.В., Ершов В.И., Куляшов А.П., Рукавишников С.В. Снегоходные машины. - Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1986. 192 с.
3. Барахтанов Л.В., Беляков В.В., Кравец В.Н. Проходимость автомобиля. Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
4. Барахтанов Л.В., Манянин С.Е.: Расчет сопротивления движению машин по снегу // Журнал ААИ, №1 (72), 2012, Стр. 24-27.
5. Барахтанов Л.В., Блохин А.Н., Денисенко Е.Г., Манянин С.Е. Анализ физико-механических свойств снега для оценки проходимости машин // Журнал ААИ, №4 (75), 2012, Стр. 16-19.
6. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
7. Гришкевич, А.И. Автомобили: теория. Минск: Высш. шк., 1986. - 354 с.
8. Кравец В.Н. Теория автомобиля. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2013. 413 с.
9. Малыгин В.А. Исследование процесса деформации снега под воздействием гусеничного движителя и обоснование выбора размеров опорной поверхности гусениц снегоходных машин: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Горький, 1971. – 155 с.
10. Barakhtanov L.V., Blokhin A.N., Denisenko E.G., Fadeev E.A., Evaluation of vehicle performance on snow. Proceedings of the 13th European Conferende of ISTVS. 2015 pp. 335-349.

Fadeev Evgenii Andreevich

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod
E-mail: evgeny@fadeev.pw

Blokhin Aleksandr Nikolaevich

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod
E-mail: a.n.blokhin@gmail.com

Barakhtanov Lev Vasilyevich

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod
E-mail: barahtanov@yandex.ru

Denisenko Elena Gennadiевна

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod
E-mail: denisenkoel@gmail.com

Evaluation of fuel consumption for oversnow vehicle

Abstract. Fuel efficiency is one of the most important economic indicators for the vehicle. Fuel consumption increases when driving in heavy traffic conditions because a significant energy expended on overcoming the additional resistance. Over snow motion is the case for which the method for fuel consumption estimation is not developed. In this case, fuel consumption reduction is very important not only from an economic point of view but also from the standpoint of environmental impact.

The article presents an analysis of the impact of the snow parameters on fuel consumption. The simulation of the wheel-snow interaction, which allowed calculating the resistance forces that arise at over snow motion, was made. The dependencies of fuel consumption from snow depth and density were obtained. These dependencies allows to predict the amount of fuel, required to perform transport work on snow route, or choose the vehicle providing a minimum consumption. The article presents the results of field tests of fuel consumption for Rusak 2992 vehicle when moving on snow. These tests confirms the adequacy of the presented calculations and methodologies.

Keywords: terrain vehicle; fuel consumption; snow; snow properties; wheel-snow interaction; resistance of motion