

ПОДВИЖНОСТЬ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ЗАСНЕЖЕННОМ СКЛОНЕ

Вахидов У. Ш.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: umar-vahidov@mail.ru

В статье дано определение подвижности транспортно технологических машин. Говорится о том, что на сегодняшний день не существует адекватных моделей по определению сопротивления автомобиля на заснеженном склоне. При движении в горных условиях подвижность может быть ограничена потерей управляемости и проходимости. В статье предложена модель для определения сопротивления движения колесной машины по заснеженному косогору, учитывающая не только скорость и радиус поворота, но и влияние силы сопротивления подъему. Проанализированы модели движения для различных машин. Для автомобиля УАЗ приведены графики зависимостей сопротивлений, силы тяги и угла увода колес машины от угла склона. Сделаны выводы, что с точки зрения обеспечения наибольшей проходимости более рациональна схема поворота машины с управляемой осью. Приведены полученные числовые значения о подвижности машин по проходимости на косогоре.

Ключевые слова: подвижность, снег, склон, колесные машины.

MOBILITY OF WHEELED VEHICLES ON A SNOW SLOPE

Vakhidov U. SH.

Nizhny Novgorod State Technical University. R. E. Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minin, 24), e-mail: umar-vahidov@mail.ru

The article we define the mobility of transport technology machines. It is said that to date there is no adequate models to determine the resistance of the car on a snowy slope. When driving in mountainous conditions, the mobility may be limited to loss of control and terrain. In this paper we propose a model for determining the resistance movement of wheeled vehicles on snow-covered slope that takes into account not only the speed and turning radius, but also the influence of climbing resistance. Analyzed the motion model for different machines. For UAZ shows a plot of resistance, traction and wheel slip angle of the machine on the angle of the slope. It is concluded that in terms of the highest terrain, more rational scheme of the rotation axis of the driven machine. Shows the obtained numerical values of the mobility of vehicles on the terrain on the hillside.

Keywords: mobility, snow, slope, wheeled vehicles.

Одним из важнейших свойств, характеризующих транспортные средства, является подвижность. Подвижность можно определить как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее способность ТТМ выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины. Можно выделить потерю подвижности по живучести и мобильности. При этом проходимость – это эксплуатационное свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, а также при преодолении различных препятствий, которая относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности. Мобильность – эксплуатационная надежность транспортного средства (ТС). Живучесть – это отказная надежность ТС.

Одним из наиболее тяжелых режимов движения автомобиля в горных условиях является обеспечение подвижности на заснеженном склоне. Здесь можно выделить потерю подвижности по управляемости и проходимости.

На сегодняшний день адекватных моделей, по которым можно оценить проходимость колесных машин по заснеженному склону, нет. Рассмотрим модель движения транспортного средства по снегу при повороте. Наиболее адекватные модели по расчету сопротивления колесных машин были получены в работах [1,3,5]. Рассмотрим их применительно к горным условиям эксплуатации.

Расчет сопротивления определяется по следующим модифицированным зависимостям.

Сопротивление движения включает в себя несколько составляющих:

$$P_f = P_{fc} + P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + P_{f\alpha} + P_{f_{дн}} + P_{f_w} + P_{f_{кр}} \quad (1)$$

где P_{fc} – сила сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесами машины; $P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}}$ – приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колес; $P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}}$ – сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов; $P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}}$ – сила сопротивления движению от фрезерования настовой корки и внутримассивных ледяных прослоек, $P_{f\alpha}$ – сила сопротивления движению от преодолеваемого подъема, $P_{f_{дн}}$ – сила сопротивления движению от посадки машины на днище, P_{f_w} – сила сопротивления воздуха, $P_{f_{кр}}$ – сила сопротивления движению от крюковой нагрузки.

Сила сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесом машины, определяется по зависимости:

$$P_{fc} = \int_0^{h_t} \left\{ \left[\left(R^2 - (R - h_t + h)^2 \right)^{0,5} - \left(2Rh - h^2 \right)^{0,5} \right] \sin \alpha'_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + B \cos \alpha'_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} \right\} \eta / (1 - h/h_{\max}) dh, \quad (2)$$

Силу сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса с учетом фрезерования снега боковыми грунтозацепами шины можно рассчитать по формуле $P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} = P'_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + P_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}}$. Бульдозерная составляющая с учетом фрезерования снега боковыми грунтозацепами рассчитывается по зависимостям:

$$F_f^{\bar{\sigma}\bar{\sigma}+\bar{\phi}\bar{\sigma}} = F_{см}^{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} \left(c_{рез} \cos(\alpha_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + \alpha_{\bar{\phi}\bar{\sigma}}) + \sin(\alpha_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} + \alpha_{\bar{\phi}\bar{\sigma}}) \right), \quad (3)$$

$$P'_{f\bar{\sigma}\bar{\sigma}} = R_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}} F_f^{\bar{\sigma}\bar{\sigma}+\bar{\phi}\bar{\sigma}} R^{-1}, \quad (4)$$

Угол бокового скольжения с учетом фрезерования снега боковой поверхностью колеса: $\alpha'_{\phi\phi} = \alpha_{\phi\phi} + \alpha_{\phi\phi} = \arctg\left[\frac{2l \sin \alpha_{\phi\phi} + b_{\phi\phi}}{2l \cos \alpha_{\phi\phi}}\right]^{-1}$ (5)

Увеличение ширины колеи равно:

$$b_{\phi\phi} = \min\{b_{\phi\phi}^{\text{об}}, b_{\phi\phi}^{\text{к}}\},$$

$$b_{\phi\phi}^{\text{об}} = \left[(0,5 k_{\text{огр}} b_{\text{огр}}) (l_{\text{огр}} - h_{\text{огр}}) \right] n (1 + S_{\phi}) (2h_{\text{т}} \pi R)^{-1}, \quad b_{\phi\phi}^{\text{к}} = 2l S_{\phi} \sin \alpha_{\phi\phi}$$

Сила сопротивления от экскавационных эффектов с внешней стороны колеса получает вид: $F_{\phi\phi} = S_{\phi} (F_{\text{тр}}^{r_{\text{н}}} - F_{\text{тр}}^{r_{\text{вн}}}) (1 - K_{\text{нб}})$, (7)

где $K_{\text{нб}}$ – коэффициент насыщенности бокового протектора, определяется по зависимости:

$$K_{\text{нб}} = l_{\text{огр}} / h_{\text{огр}}.$$

Приведенная сила экскавационного сопротивления с внешней стороны колеса будет определяться по зависимости: $P_{f\phi\phi} = 0,5 F_{\phi\phi} (r_{\text{н}} + r_{\text{вн}}) R^{-1}$, (8)

$r_{\text{н}}, r_{\text{вн}}$ – радиусы, ограничивающие боковые гунтозацепы.

Все остальные элементы уравнения (1) определяются по известным зависимостям. В зависимостях же (2)-(8), предложенных Макаровым В.С. [5, 6], при определении угла бокового скольжения при движении по заснеженному косоугору имеется ряд особенностей. Сила сопротивления и углы бокового скольжения (углы увода колес с учетом скольжения вследствие наличия поперечных сил, действующих на колеса машины) рассчитывается с учетом инерционных составляющих, а также составляющих, вызванных кинематикой движения отдельных колес в движителе машины (например, при силовом способе поворота, а не поворотом управляемых колес). Отметим, что при круговом движении по склону (или по восьмерке [4]), максимальное влияние этой силы на сопротивление движению будет наблюдаться в нижней точке траектории движения (в верхней точке это влияние будет меньше, так как одновременно будет происходить рост экскавационно-бульдозерного сопротивления за счет силы сопротивления подъему, которая будет отчасти компенсироваться явлениями, возникающими при повороте многоосной машины с не всеми управляемыми колесами).

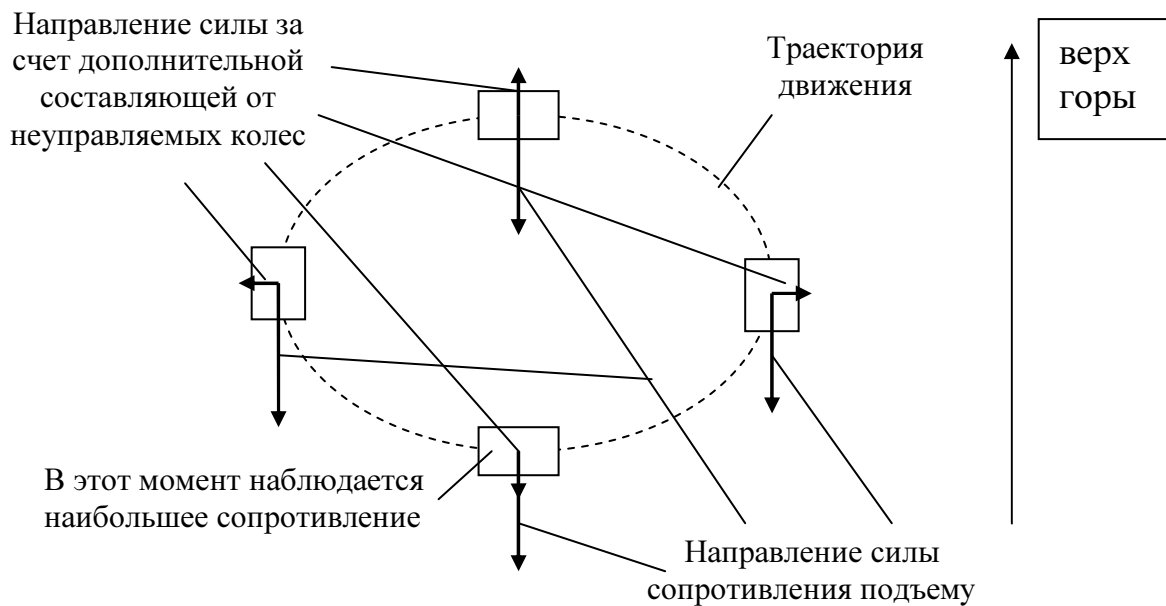


Рис. 1. Вид на косогор в плане сверху

Таким образом, угол бокового скольжения (угол увода колеса) при движении по склону будет определяться по зависимости:

$$\alpha_{66}^{\text{гор}} = 0,5 \arcsin \left[\left(mv^2 \rho^{-1} + mg \cos \alpha - F_{\text{тр}} \right) \left\{ \gamma (Rh_r^2 - h_r^2/3) \right\}^{-1} \right], \quad (9)$$

где α – угол косогора. В данной зависимости учтены не только скорость и радиус поворота, но и влияние силы сопротивления подъему.

Для машин с силовым способом поворота зависимость (9) примет следующий вид:

$$\alpha_{66}^{\text{гор}} = 0,5 \arcsin \left[\left(mv^2 \rho^{-1} + \arctg(L_i \rho^{-1}) mg \cos \alpha - F_{\text{тр}} \right) \left\{ \gamma (Rh_r^2 - h_r^2/3) \right\}^{-1} \right], \quad (10)$$

где L_i – проекция расстояния от центра поворота до оси колес на продольную ось машины.

Были проанализированы модели движения различных машин на примере УАЗ, ГАЗ-66, ВАЗ-2121, КамАЗ-4310, а также ГПИ-3901 [1, 4] (бортовой способ поворота). Рассмотрено, как влияет угол наклона косогора на сопротивление движения машины и дополнительный угол увода колес. В качестве критерия принят предельный угол преодолеваемого косогора.

Также рассмотрено влияние изменения массы машины на проходимость. На рис. 3 и 4 показаны примеры полученных зависимостей для автомобиля УАЗ.



Рис. 2. Движение машины на склоне

Анализ результатов показывает, что с точки зрения обеспечения наибольшей проходимости более рациональна схема поворота машины с управляемой осью, бортовой способ поворота более энергозатратен и при движении по горам не целесообразен в силу того, что проходимость машины (снижение сопротивлению повороту) не может быть увеличена путем выбора правильного режима движения.

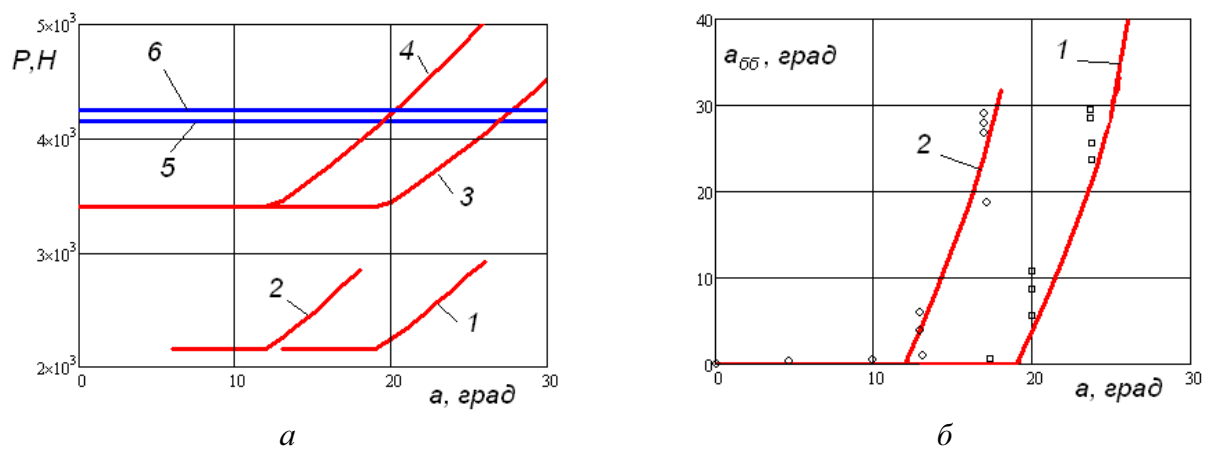


Рис. 3. Зависимости a – сопротивлений и силы тяги и b – угла увода колес машины от угла склона при движении машины УАЗ с минимальным радиусом: 1, 2 – сила сопротивления при глубине снега равным $1/3$ диаметра колеса и скорости движения 3 и 10 км/ч соответственно; 3, 4 – сила сопротивления при глубине снега равным $1/2$ диаметра колеса и скорости движения 3 и 10 км/ч соответственно; 5, 6 – сила тяги при глубине снега $1/3$ и $1/2$ диаметра колеса соответственно. Экспериментальные данные при движении машины со скоростями 3 км/ч (квадратики) и 10 км/ч (кружки).

Для машин с управляемыми колесами можно снизить составляющую от экскавационно-бульдозерной составляющей с боковой стороны колес путем снижения скорости и, как следствие, уменьшение угла бокового скольжения. Для машин с бортовым способом поворота угол бокового скольжения колес будет напрямую зависеть от радиуса поворота. Величина сопротивления от экскавационно-бульдозерной составляющей, возникающей при повороте (при условии выбора режимов движения соответствующих минимальному сопротивлению), для машин с колесной формулой 4x4 его можно не учитывать (типа ВАЗ-2121, УАЗ, ГАЗ-66); для машин с колесной формулой 6x6,

управляемой передней осью и задними колесами в виде тележки, составляет 4 % (типа КамАЗ-4310); для машин с бортовым способом поворота составляет 13 % (типа ГПИ-3901).

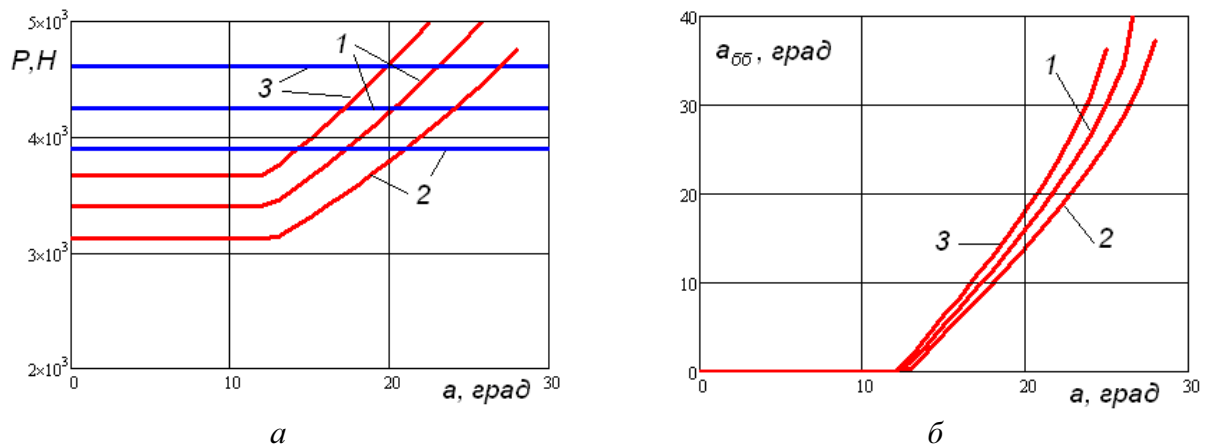


Рис. 4. Влияние массы машины на силы a – сопротивления, сцепления и b – угол увода колес при глубине снега $1/2$ диаметра колеса: 1 – стандартная масса машины; 2 – уменьшенная на 10 %; 3 – увеличенная на 10 %.

Анализ зависимостей позволил сделать следующие выводы о подвижности машин на косогоре:

- Для машин массой 1-2,5 т предельными углами будут углы порядка 27° при глубине снега равной половине диаметра колеса, причем будет происходить потеря проходимости вследствие того, что сопротивление превысит силу тяги; предельными углами наклона порядка 25° при глубине снега равной трети диаметра колеса, причем будет происходить потеря устойчивости вследствие того, что будет наблюдаться сползание машины вниз (при небольшом приращении угла уклона наблюдается большой прирост угла увода колес).
- Для машин массой 5,5-15 т предельными углами будут углы порядка $18 - 23^{\circ}$ при глубине снега равной половине диаметра колеса, причем будет происходить потеря проходимости вследствие того, что сопротивление превысит силу тяги; предельными углами наклона порядка $20 - 27^{\circ}$ при глубине снега равной трети диаметра колеса, причем будет происходить потеря устойчивости вследствие того, что будет наблюдаться сползание машины вниз (при небольшом приращении угла уклона наблюдается большой прирост угла увода колес). Меньшие значения характерны для более тяжелых машин.
- Увеличение (снижение) веса машины на 10 % приводит к уменьшению (увеличению) возможного преодолеваемого угла косогора по проходимости и устойчивости движения на 5-8 %.
- Для машин с управляемой осью при изменении скорости машины от 3 до 10 км/ч при выполнении маневра «восьмерка на косогоре» [2] предельный угол преодолеваемого косогора снизится на 20–30 %.

- Для машин с бортовым способом поворота с колесной формулой 8x8 в силу хорошего сцепления будет достигаться аналогичные показатели проходимости порядка $27-30^{\circ}$ и радиусов поворота, равных радиусам поворота машин с управляемыми осями, несмотря на наличие постоянного экскавационно-бульдозерного сопротивления. Данные значения справедливы для снега глубиной $1/3$ диаметра колеса, однако, при увеличении глубины до $1/2$ диаметра колеса машина теряет проходимость даже на горизонтальном участке, это также связано с постоянным действием экскавационно-бульдозерного сопротивления с боковой стороны колес.

Список литературы

1. Беляков В. В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: Дис... док.тех.наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 1999. – 485 с.
2. Вахидов У. Ш. Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа / В. В. Беляков, У. Ш. Вахидов, Ю. И. Молев; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 2009. – 387 с.
3. Гончаров К. О., Макаров В. С., Беляков В. В. Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению. Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2010. Вып. 6. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/145884.html>, свободный.
4. Гончаров К. О., Макаров В. С., Беляков В. В. Экспериментальные исследования многоосной колесной машины. Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2010. Вып. 12. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/164456.html>, свободный.
5. Макаров В. С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: Дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
6. Макаров В. С. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу / В. С.Макаров, В. В. Беляков. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 160 с.

Рецензенты:

Льянов М. С. д.т.н., профессор, декан Автомобильного факультета ФГБОУ ВПО «Горский государственный аграрный университет», г. Владикавказ.

Мамити Г. И. д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобили» Автомобильного факультета ФГБОУ ВПО «Горский государственный аграрный университет», г. Владикавказ.