

Оценка конструкций механизмов управления транспортными средствами

11, ноябрь 2010

авторы: Беляков В. В., Вахидов У. Ш., Куляшов А. П.

УДК 629.032

Нижегородский государственный технический университет

Введение

Степень транспортного обслуживания населения оказывает большое влияние на уровень развития производства, в том числе и сельскохозяйственного, сферы обслуживания, культуры и образования. Вместе с тем прокладка стационарных автомобильных дорог, а также их обслуживание в высокогорных районах, где плотность населения не велика, не является экономически обоснованным мероприятием. Поэтому, наиболее эффективным путём решения транспортных задач в горных условиях является развитие специальной внедорожной техники.

Существующие теории расчёта и принципы конструирования внедорожной техники создавались для применения в качестве снегоходных и болтоходных машин, основное ареал применение которых – Север Европейской части Российской Федерации, а также Север и Восток Сибири. Условия применения техники в данной местности диктовали применения конструктивных решений, направленных в первую очередь на снижение удельного давления на опорную поверхность и повышение клиренса. Анализ условия применения внедорожной техники в горных условиях показал, что данные условия не характерны для горных районов, где эксплуатация машин происходит на до-

вольно твёрдой опорной поверхности, однако обладающей значительным наклоном к линии горизонта, с низкими сцепными свойствами и большим количеством местных препятствий.

Анализ влияния управляемости транспортных средств на проходимость в горных условиях

Повышение сцепных свойств движителя повышает курсовую устойчивость движения машины [1]. Так угол отклонения гусеничного движителя при движении по склону примерно в 2 раза меньше, чем у колёсного. Величина увода транспортного средства с траектории движения может быть описана зависимостью

$$M_{yB} = G \sin \alpha \left(\sum_{i=1}^N l_i \right) + (1 - \lambda) \left(\sum_{j=1}^M f_j \right) \frac{B}{2}, \quad (1)$$

где l_i – расстояние от центра масс машины до осей ведущих элементов движителя, f_j – коэффициенты сопротивления движению всех элементов движителя, λ – коэффициент неравномерности распределения веса машины, связанного с движением на склоне, B – ширина колеи машины, N – количество ведущих осей транспортного средства, а M – общее количество осей.

В ряде работ отмечается, что изменение площади опорной поверхности в случае применения грунтозацепов с переменной шириной или изменения давления в шинах [2,4,6] является одним из перспективных мероприятий, позволяющих предотвращать боковой увод машин, движущихся по склону.

Одним средством повышения мобильности движения вездеходных машин в горных условиях является возможность создание движителем каждого борта разнонаправленных векторов скорости (поворота части движителей относительно друг друга и корпуса). Такая конструкция принципиально может быть использована при любом типе движителя, однако, наиболее широкое распространение она получила на колёсных ма-

шинах с ломающейся рамой, бортовым поворотом, или обеспечивающей одновременный поворот передних и задних колёс. Принципиальная схема поворота таких машин показана на рисунке 1.

Анализ зависимостей, взятый из работы [4] показывает, что поворот задних колёс оказывает существенное влияние на курсовую устойчивость движения машины и позволяет подбирать такие значения данного угла, обеспечивающие нулевое отклонение от заданной траектории движения, а также резко уменьшить коридор движения. Однако [4] было отмечено, что поворот колёс на угол, равный 0,1 рад. на склоне с крутизной 0,25 рад приводит к росту сопротивления движения на 10%. Величина тягового усилия, связанного с неравномерностью контакта движителя с полотном пути, а также в следствие дополнительных сопротивлений, связанных с неравномерной деформацией элементов движителей может снизиться на 30%. В этих условиях появление дополнительного 10% сопротивления движению может привести к полной потере подвижности транспортного средства. Предельный угол поворота задних частей движителя может быть аппроксимирован уравнением [7]

$$\Delta F(S)_T = \frac{R_1(\varphi_2 - f_2) + \frac{35,034 + \sqrt{736,64(dN - 1)}}{368,32L}}{R_2(\varphi_1 - f_1) + \frac{35,034 + \sqrt{736,64(dN - 1)}}{368,32L}}, \quad (2)$$

где R_1, R_2 – радиусы поворота соответственно передних и задних колёс, φ_1, φ_2 – коэффициенты силы сцепления движителя с опорной поверхностью, колёс задней и передней осей, f_1, f_2 – коэффициенты силы сопротивления движению соответственно колёс задней и передней осей, dN – запас мощности двигателя, L – база автомобиля.

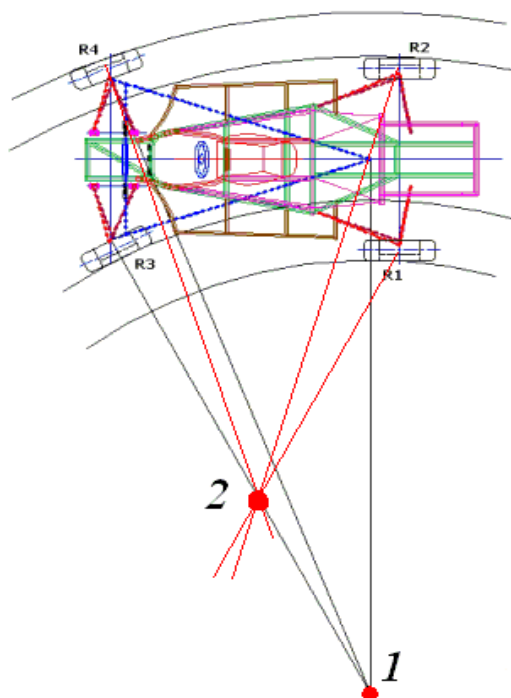


Рис.1. Принципиальная схема изменения радиуса поворота машин классической компоновки и машин обеспечивающих относительный поворот задней оси относительно передней; 1 – центр поворота машин с классической компоновкой; 2 - центр поворота машин с поворачивающимися задними колёсами

Тогда рациональная величина угла поворота задней части движителя может быть найдена путём определения максимальной величины $\Delta F(S)$

$$\Delta F(\varepsilon) = \max = \frac{v^2}{4R(\varepsilon)}(\varphi - f(\varepsilon)) + \frac{35,034 + \sqrt{736,64(dN - 1)}}{368,32L} \quad (3)$$

или

$$\frac{d\left(\frac{v^2\varphi}{R(\varepsilon)}\right)}{d\varepsilon} = \frac{d\left(\frac{f(\varepsilon)}{R(\varepsilon)}\right)}{d\varepsilon}, \quad (4)$$

где v - скорость движения транспортного средства, связанная с крутизной склона α зависимостью $v^2 = \frac{g(0,5B - H \sin \alpha) \cos \alpha R(\varepsilon)}{4H}$, B - ширина колеи транспортного средст-

ва, H – высота его центра масс $R(\varepsilon) = \frac{L}{2(\operatorname{tg}\varepsilon + \operatorname{tg}\chi)}$, где χ - угол поворота передней

части движителя, $f(\varepsilon) = f_0(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varepsilon)$. Тогда взаимосвязь рационального угла поворота задних колёс примет вид

$$\frac{d \left\{ \left(\frac{g(0,5B - H \sin \alpha) \cos \alpha}{4H} \varphi \right) \frac{L}{2(\operatorname{tg}\varepsilon + \operatorname{tg}\chi)} \right\}}{d\varepsilon} = \frac{d \{ f(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varepsilon) \}}{d\varepsilon} \quad (5)$$

или

$$\left(\frac{g(0,5B - H \sin \alpha) \cos \alpha L}{8H} \varphi \right) \ln |\sin(\varepsilon)| = f \ln |\cos(\varepsilon)|. \quad (6)$$

То есть рациональная величина подруливания задней части движителя от параметров транспортного средства и угла косогора, по которому осуществляется движение будет иметь вид

$$\left(\frac{g(0,5B - H \sin \alpha) \cos \alpha L}{8Hf} \varphi \right) = \frac{\ln |\cos(\varepsilon)|}{\ln |\sin(\varepsilon)|}, \quad (7)$$

$$\varepsilon = \sqrt[3/2]{\left(\frac{g(H \sin \alpha - 0,5B) \cos \alpha L}{6Hf} \varphi \right)}. \quad (8)$$

Решения данного уравнения показаны на рис.3. Полученные данные свидетельствуют, что для каждого транспортного средства имеется очень узкий диапазон параметров опорной поверхности при движении по которой имеет смысл обеспечивать поворот задней части движителя для повышения проходимости.

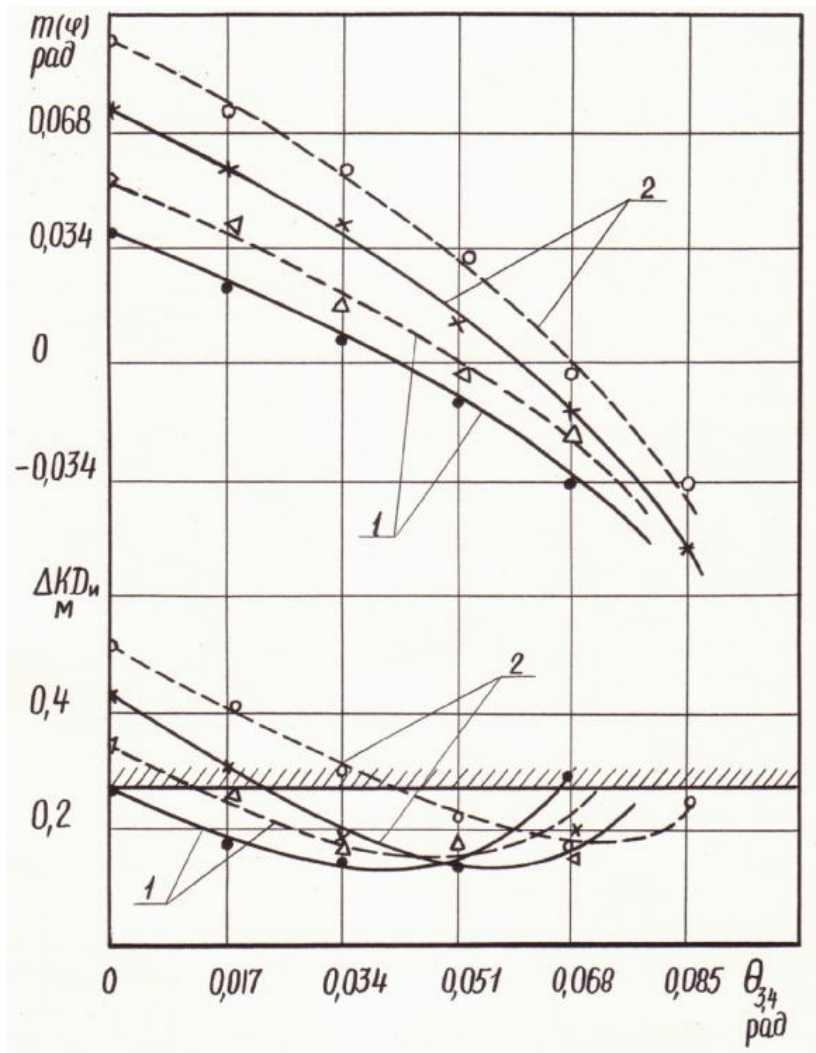


Рис.2. Влияние поворота задней оси движителя на величину его бокового увода и среднеинтегральный коридор движения; 1- угол косогора 0,1 рад; 2 – угол косогора 0,2рад, пунктиром показаны зависимости с выключенным стабилизатором движения машины.

Исходя из вышесказанного наличие ломающееся рамы может быть признано рациональным при движении транспортного средства с небольшой скоростью движения. Зависимость между скоростью движения и величиной наклона склона может быть определено при помощи следующей зависимости

$$\Delta F(\varepsilon) = \max = \frac{v^2}{4R(\varepsilon)}(\varphi - f(\varepsilon)) + \frac{35,034 + \sqrt{736,64(dN - 1)}}{368,32L}, \quad (9)$$

или

$$\frac{d\left(\frac{v^2\varphi}{R(\varepsilon)}\right)}{d\varepsilon} = \frac{d\left(\frac{f(\varepsilon)}{R(\varepsilon)}\right)}{d\varepsilon}, \quad (10)$$

или

$$\frac{d\left\{\frac{v^2\varphi L}{2(\operatorname{tg}\varepsilon + \operatorname{tg}\chi)}\right\}}{d\varepsilon} = \frac{d\left\{\frac{2f(\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\varepsilon + \operatorname{tg}^2\varepsilon + \operatorname{tg}\varepsilon\operatorname{tg}\chi + \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\chi)}{L}\right\}}{d\varepsilon}, \quad (11)$$

а считая, что передняя и задняя части машины поворачивается на одинаковый угол ($\chi=\varepsilon$) получим

$$0,06v^2 \frac{\varphi}{f} L^2 \ln|\sin \varepsilon| = \operatorname{tg}\alpha(-\ln|\cos \varepsilon|) + 2\operatorname{tg}\varepsilon(-\ln|\cos \varepsilon|) \quad (12)$$

или

$$v \leq \frac{4}{L} \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha f(-\ln|\cos \varepsilon|) + 2\operatorname{tg}\varepsilon(-\ln|\cos \varepsilon|)}{\varphi \ln|\sin \varepsilon|}}. \quad (13)$$

Таким же способом может быть определена и скорость движения машины, оснащённая бортовым поворотом. Решения данного уравнения показано на рисунке 4.

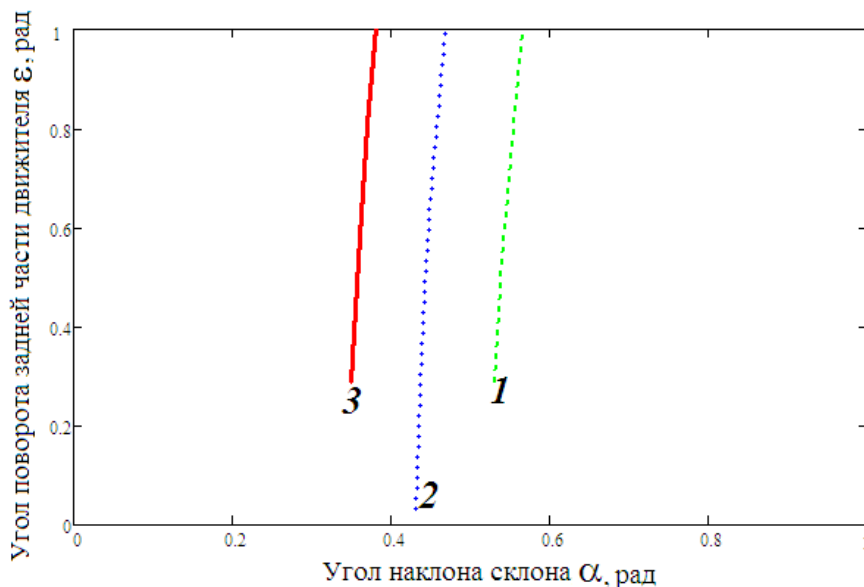


Рис. 3. Зависимость оптимальной величины поворота задней части движителя от угла склона; 1 – для высоты центра масс транспортного средства равной 1,2м; 2 – для высоты центра масс равной 1,5м; 3 - для высоты центра масс равной 1,75м

То есть рациональным способом поворота при работе на склонах шарнирно-сочленённая рама будет только при скоростях ниже 0,25 м/с, а машины, оснащённые бортовым поворотом, в том числе и гусеничные – при скоростях ниже, чем 0,2 м/с. При движении на слабонесущих опорных основаниях, в частности на снегу, сопротивление движения которого достигает величин равных 0,5 – 0,7 минимальные рациональные значения скорости движения данных транспортных средств могут быть повышены до величин 0,5 и 0,4 м/с соответственно.

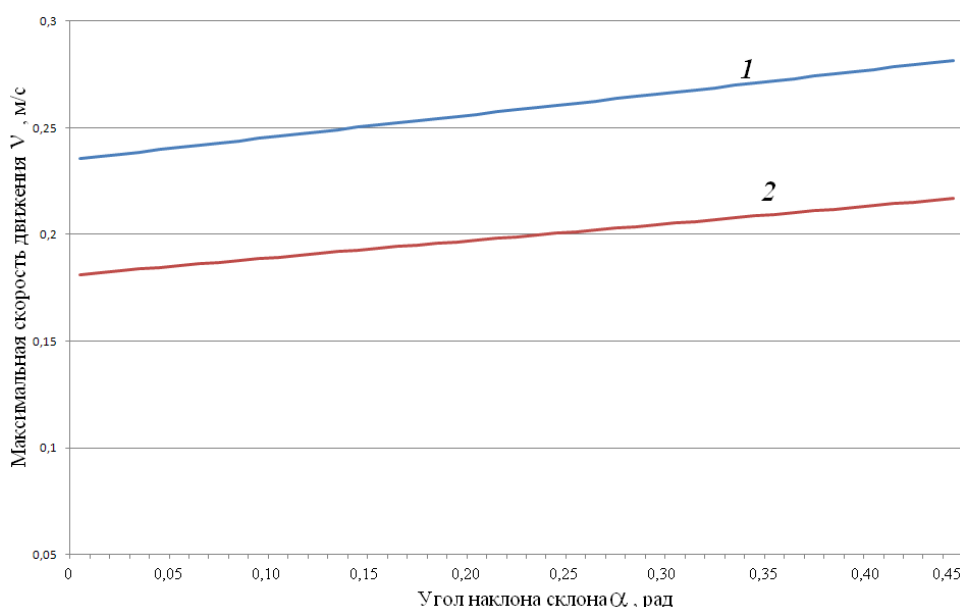


Рис.4 Зависимость максимальной скорости движения по склону;

1 – для машин с ломающейся рамой, **2** – для машин, оснащённых бортовым поворотом

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее рациональным конструкторским решением, обеспечивающим повышение проходимости транспортных средств в горных условиях будет являться схема с поворотными передними колёсами. Дополнительное подруливание колёс задней оси автомобиля будет приводить к опережающему росту сил сопротивления движению, а применение таких конструктивных

решений как бортовой поворот и ломающаяся рама являются оптимальными только для машин специального назначения, движущихся со скоростями меньше 0,5 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Динамика планетохода /Е.В. Авотин [и др.] М.: Машиностроение, 1979. 440с.
2. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. – 227 с.
3. Проходимость автомобилей: Учебное пособие /Барахтанов Л.В. [и др.] Н.Новгород: НГТУ, 1996.-200с.
4. Льянов М.С. Улучшение эксплуатационных свойств колёсных тракторов за счёт повышения их курсовой устойчивости на склонах. Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 Ленинград, 1991. – 201с.
5. Беляков В.В., Вахидов У.Ш., Тютнев А.М. Колёсный движитель машин для ремонта и содержания трубопроводов. Особенности взаимодействия с опорной поверхностью. // «Управление качеством в нефтегазовом комплексе», 2010г. №2, С. 64-66.
6. Wong JY., Preston-Thomas T. On the characterization of the shearsteregolisplacement relationship of terrain // Journal of Terramech. - 1983. -v. 19,N4,-p.p.225-234.
7. Shukhman S. B., Solovyev V.I. Minimization of power loss of a fully-driven wheeled transport vehicle. Vehicle design №1 2004.