

3. B.H. Kenny, R.D. Lorenz. Stator and rotor flux based deadbeat direct torque control of induction machines // IEEE Trans. Ind. Applications, Vol. 39, No. 4, 2003, pp.1093-1101.
4. Buja G.S., Kazmierkowski M.P. Direct torque control of PWM inverter-fed AC motors – A survey // IEEE Trans. Ind. Electronics, Vol. 51, No 4, Aug. 2004, pp. 744-757.
5. D. Stojic, S. Vukosavic. A new induction motor drive based on the flux vector acceleration method // IEEE Trans. Energy conversion, Vol. 20, No.1, Mar. 2005, pp. 173-180.
6. Y. Kumsuwan, S. Premrudeepreechacharn, H.A. Toliyat. A new approach to direct torque control for induction motor drive using amplitude and angle of the stator flux vector // Journal of electrical engineering & technology, Vol. 3, No.1, Mar. 2008, pp. 79-87.
7. H. Miranda, P. Cortes, J.I. Yuz, J. Rodriguez. Predictive torque control of induction machines based on state space models // IEEE Trans. Ind. Electronics, Vol. 56, No. 6, 2009, pp. 1916-1924.
8. K. B. Lee, F. Blaabjerg. Sensorless DTC-SVM for induction motor driven by a matrix converter using a parameter estimation strategy // IEEE Trans. Ind. Electronics, No. 2, 2008, pp. 512-521.

Результаты экспериментальных исследований опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-5350 и Урал-4320-31 с дифференциальным и блокированным приводом колёс при установившемся криволинейном движении

к.т.н. доц. Острцов А.В.

Университет машиностроения

(495) 223-05-23, доб. 1587, avt@mami.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента сопротивления качению при установившемся криволинейном движении автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-5350 и Урал-4320-31 с дифференциальным и блокированным приводом колёс. Сделан вывод о возрастании по гиперболической зависимости коэффициента сопротивления качению с увеличением кривизны траектории поворота. Определены возможные пути улучшения маневренности полноприводных грузовых автомобилей при криволинейном движении по деформируемым грунтовым поверхностям.

Ключевые слова: полноприводный автомобиль, маневренность, криволинейное движение, эксперимент, нагрузка на ось, привод к колесам, система регулирования давления воздуха в шинах, опорная проходимость, минимальный радиус поворота, деформируемая опорная поверхность.

Маневренность армейских многоцелевых грузовых автомобилей является одним из важнейших свойств, определяющих общий уровень их подвижности и способность выполнения функциональных задач по транспортированию грузов в различных дорожно-климатических условиях и по местности [1]. Она характеризует способность автомобиля к изменению своего положения на ограниченной площади и в проездах заданной формы и размеров.

Маневренность зависит от ряда конструкционных параметров автомобилей, определяющих минимальный радиус поворота по оси следа переднего внешнего колеса, наружный габаритный радиус поворота и ширину коридора, занимаемого автомобилем при повороте с заданным наружным габаритным радиусом, а также способности движения в требуемых направлениях, в том числе и по деформируемым опорным поверхностям. При этом использование полноприводных автомобилей обусловлено рядом специфических условий их эксплуатации в армии, нефтяной и газовой промышленности, в сельском хозяйстве, при ликвидации последствий катаклизмов и катастроф, для чего необходимо обеспечение возможности их движения с наименьшими энергетическими затратами и наибольшим запасом силы тяги по сцеплению.

В качестве основных параметров маневренности (параметров криволинейного движения) полноприводных автомобилей по деформируемым грунтовым опорным поверхностям следует считать коэффициент сопротивления качению f_a и коэффициент использования силы сцепления k_ϕ [2].

Эти показатели в наиболее простом случае при равномерном установившемся движении одиночного автомобиля по кругу (при повороте управляемых колес на угол α_{ki}) могут быть выражены следующими зависимостями при условии, что $\sum_{i=1}^m \frac{P_{ki}}{\cos \delta_{ki}} = 0$:

$$f_a = \sum_{i=1}^m \frac{\left(M_{ki} n_{ki} + \frac{P_{ki} r_{ki} n_{ki}}{\cos \alpha_{ki}} + P_{\delta i} r_{ki} n_{ki} \operatorname{tg} \varphi_0 \right)}{G_a R_{цт}}; \quad (1)$$

$$k_\phi = \frac{1 - \sum_{i=1}^m \sqrt{P_{ki0}^2 + P_{\delta i}^2}}{\sum_{i=1}^m P_{ki0 \max}}, \quad (2)$$

где для каждого i -го колеса: M_{ki} – подводимый крутящий момент;

P_{ki} – продольная подводимая (-) или отводимая (+) от колеса сила;

P_{ki0} и $P_{ki0 \max}$ – продольная текущая и максимальная по сцеплению силы, развиваемые в контакте колеса с грунтовой опорной поверхностью и затрачиваемые на преодоление её сопротивления;

$P_{\delta i}$ – боковая сила;

r_{ki} , n_{ki} – радиус качения и частота вращения колёс, соответствующие прохождению полного круга с круговой траекторией центра масс автомобиля радиусом $R_{цт}$.

Таблица 1

Краткая техническая характеристика автомобилей

Марка автомобиля (колесная формула)	Масса перевозимого груза, кг	Полная масса (распределение по осям), кг	Удельная мощность, кВт/т (л.с./т)	Радиус поворота по оси переднего внешнего колеса, м	Шины: размерность (давление воздуха в шинах, МПа), модель
КамАЗ-4350 (4x4)	4000	11820 (5910 / 5910)	14,9 (20,3)	11,0	425/85R21 (0,10), Кам-1260 с регулируемым давлением воздуха и рисунком протектора повышенной проходимости (номинальная нагрузка на колесо – 29,4 кН; наружный диаметр – 1260 мм; посадочный диаметр – 533 мм; ширина беговой дорожки – 380 мм) [3, 4]
КамАЗ-5350 (6x6)	6000	15450 (5380 / 10040)	11,4 (15,5)	11,0	
Урал-4320-31 (6x6)	6000	15520 (4850 / 10670)	11,4 (15,5)	10,8	

Коэффициент сопротивления качению можно определить также из выражения

$$f_a = n_d \sum_{i=1}^m \frac{M_{ki}}{i_\Sigma G_a R_{цт}}, \quad (3)$$

где: i_{Σ} – суммарное передаточное число трансмиссии; n_d – количество оборотов двигателя, соответствующие прохождению полного круга с круговой траекторией центра масс автомобиля радиусом $R_{цт}$.

Зависимость (3) чаще используется для экспериментального определения f_a , так как экспериментально определить P_{ki} и P_{oi} весьма сложно. То же относится и к экспериментальному определению коэффициента использования силы сцепления k_{ϕ} .

Достаточно сложно значения этих параметров определить и расчетным путем.

Таблица 2

Показатели установившегося движения автомобилей по сухому сыпучему песку при прямолинейном движении и по кругу с наименьшим радиусом (по оси следа переднего внешнего колеса)

Марка автомобиля	Межосевой привод	R , м	f_a	%
КамАЗ-4350	Б	∞	0,085	100
	Б	11,5	0,145	171
	Д	∞	0,092	108
	Д	11,0	0,130	153
КамАЗ-5350	Б	∞	0,119	100
	Б	12,2	0,240	202
	Б*	14,2	0,288	242
	Д	∞	0,130	109
	Д	11,1	0,216	182
Урал-4320-31	Б	∞	0,135	100
	Б	12,7	0,270	200
	Д	∞	0,145	107
	Д	11,3	0,247	183

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования криволинейного движения автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-5350 и Урал-4320-31 по сухому сыпучему песку (влажность до 6 %, общая глубина залегания более 3 м), а автомобиля КамАЗ-5350, кроме того, и по стерне на чернозёме (влажность около 10 %). Краткая техническая характеристика испытуемых автомобилей приведена в таблице 1. В процессе исследований были определены значения коэффициента сопротивления качению f_a , которые приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 3

Показатели установившегося движения автомобиля КамАЗ-5350 по стерне на чернозёме при прямолинейном движении и по кругу с наименьшим радиусом (по оси следа переднего внешнего колеса)

Марка автомобиля	Межосевой привод	R , м	f_a	%
КамАЗ-5350	Б	∞	0,074	100
	Б	11,4	0,150	203
	Д	∞	0,080	108
	Д	11,0	0,138	186

Примечание: Д – дифференциальный привод; Б – заблокирован межосевой дифференциал в раздаточной коробке; Б* – заблокированы межосевой дифференциал и межколёсные дифференциалы в среднем и заднем мостах.

Изменение f_a в функции кривизны траектории поворота ρ ($\rho = 1 / R$) в диапазоне от прямолинейного движения ($\rho = 0$) до поворота с минимальным радиусом графически проиллюстрировано на рисунках 1 и 2.

Представленные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- с увеличением кривизны траектории движения ρ (с уменьшением радиуса поворота R) коэффициент сопротивления качению f_a всех автомобилей при движении по грунтовым опорным поверхностям гиперболически возрастает, причем более интенсивно у автомобилей с заблокированными межосевыми дифференциалами;
- при переходе от прямолинейного движения ($\rho = 0$) к движению с минимальным радиусом ($\rho = 0,08 \dots 0,10 \text{ м}^{-1}$) коэффициент сопротивления качению автомобилей с колесной формулой 4x4 (КамАЗ-4350) и 6x6 (КамАЗ-5350 и Урал-4320-31) на грунтовых опорных поверхностях при дифференциальном приводе возрастает примерно в 1,4 и 1,7 раза, а при заблокированном – в 1,7 и 2,0 раза соответственно;
- при блокировании межосевого и межколесных дифференциалов среднего и заднего мостов автомобиля КамАЗ-5350 его движение по сухому сыпучему песку с минимальным радиусом поворота осуществляется с ещё большим сопротивлением качению f_a . При этом значения коэффициента сопротивления качению возрастают в 1,2 раза по сравнению с движением автомобиля в повороте только с заблокированным межосевым дифференциалом и в 2,4 раза – по сравнению с прямолинейным его движением;
- при одинаковых (до упора в ограничители) углах поворота управляемых колес автомобилей, подвергавшихся экспериментальным исследованиям, наименьшие значения радиусов поворота автомобилей с полностью дифференциальным приводом к колесам на 4...11 % меньше, чем с заблокированным межосевым приводом. Причём чем ниже сопротивление качению f_a , тем меньше разница в радиусах поворота. В результате изложенного можно определить некоторые пути улучшения маневренности армейских многоцелевых грузовых автомобилей при криволинейном движении по деформируемым грунтовым поверхностям.

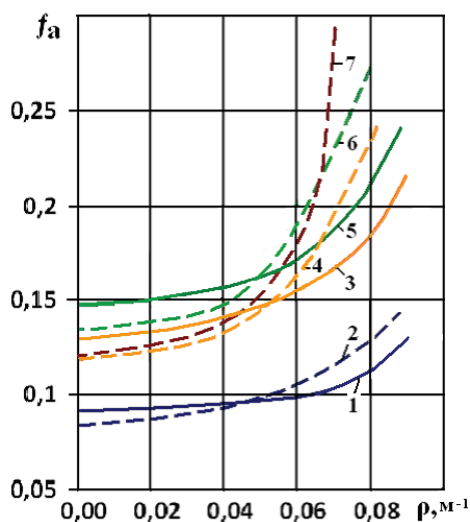


Рисунок 1. Изменение коэффициента сопротивления качению автомобилей при движении по сухому сыпучему песку в функции кривизны траектории:

1 – КамАЗ-4350 (Д); 2 – КамАЗ-4350 (Б); 3 – КамАЗ-5350 (Д); 4 – КамАЗ-5350 (Б); 5 – Урал-4320-31 (Д); 6 – Урал-4320-31 (Б); 7 – КамАЗ-5350 (Б*)

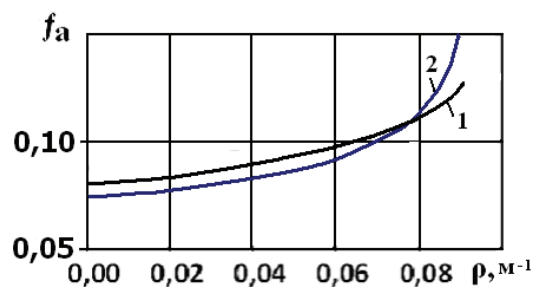


Рисунок 2. Изменение коэффициента сопротивления качению автомобиля КамАЗ-5350 при движении по стерне на черноземе в функции кривизны траектории:

1 – дифференциальный привод; 2 – заблокирован межосевой дифференциал

Во-первых, у представленных армейских многоцелевых грузовых автомобилей с уменьшением радиуса поворота возрастает степень несовпадения следов колес одного борта и при большой кривизне траектории наблюдается полное их несовпадение. Степень этого несовпадения можно лишь уменьшить, располагая средние оси автомобилей (6x6 или 8x8) как можно ближе к передней и задней осям и применяя (по возможности) все управляемые колеса, особенно на длиннобазных автомобилях. Только на двухосных автомобилях со всеми управляемыми колёсами можно добиться при криволинейном движении полного совпадения

следов колёс. Кроме снижения сопротивления качению за счет прокладывания меньшего количества колёй (меньшей деформации грунтовой поверхности), этот путь позволяет получить и меньшую разницу проходимых колёсами расстояний с определенным уменьшением действующих на колёса продольных и боковых сил, а следовательно, и коэффициентов использования сил сцепления.

Расчеты показывают, что на деформируемых грунтовых поверхностях при статическом повороте с минимальным радиусом при полном совпадении следов колёс одного борта сопротивление качению представленных автомобилей всего лишь на 15...25 % больше, чем при прямолинейном их движении. Необходимо, правда, отметить, что такие величины соответствуют установившемуся повороту. На практике же при входе автомобилей в поворот и выходе из него при отсутствии электрического или гидрообъёмного привода к колёсам величины сопротивления качению заметно возрастают.

Во-вторых, полученные результаты показывают, что при определенных величинах радиуса поворота, которые могут быть получены экспериментальным или расчетным путём, целесообразно отключение блокирования дифференциалов. Например, при повороте автомобиля Урал-4320-31 на сухом сыпучем песке при радиусе поворота менее 20 м. Но при полностью дифференциальном приводе к колёсам наименьшие коэффициенты сопротивления качению и особенно использования сцепных сил могут быть достигнуты только при определенных соотношениях крутящих моментов на колёсах, различных для разных грунтовых поверхностей и радиусов поворота. Простые же механические дифференциалы обеспечивают лишь одно распределение моментов по осям (колёсам), поэтому при меняющихся грунтовых условиях выключение блокирования дифференциалов может привести к потере проходимости.

Таким образом, для существенного улучшения маневренности полноприводных автомобилей необходимо обеспечить и меняющееся распределение моментов, и соответствующую траекториям перемещения (радиусам поворота) колёс частоту их вращения без буксования или с одинаковым буксованием. Это может быть реализовано только при применении регулируемых электрических или гидрообъёмных приводов к колёсам автомобиля.

Литература

1. Аксенов П.В. Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Чистов М.П., Шухман С.Б., Комаров В.А. Влияние различных параметров автомобилей на показатели криволинейного движения по деформируемым грунтам. Материалы работы ААИ в 1998 году (доклады, тезисы). – Дмитров, 1998.
3. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей/ В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов, А.А. Колтуков; Под ред. В.В. Шипилова. – ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006.
4. ГОСТ Р В 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. – М.: Издательство стандартов, 2005.

Современные тенденции управления автомобильным электроприводом

к.т.н. Жматов Д.В., Горкин В.П., Пахомова Е.Э.

Московский институт энергобезопасности энергосбережения,

Университет машиностроения,

(495)652-20-04, absh-sila@rambler.ru, (495)223-05-23, доб. 1574, gorvall169@yandex.ru,

light62@mail.ru

Аннотация. В статье осуществлен обзор вентильного электропривода на контроллере IRMCS3041 компании International Rectifier. Представлены аппаратно-программные средства для определения и сравнения параметров электроприводов. Измерительный комплекс разработан на кафедре «Электротехника и электротехнологии».