

УДК 629.113.01

ДИНАМИКА ОДИНОЧНОГО КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ПРИ СРЫВЕ В ПОЛНОЕ БУКСОВАНИЕ

М.А. Подригало, профессор, д.т.н., Д.М. Клец, ассистент, к.т.н.,
О.А. Назарько, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Получены зависимости, позволяющие оценить изменение во времени линейной и угловой скорости колеса, а также – относительного буксования колеса.

Ключевые слова: буксование, относительное буксование, коэффициент сцепления, устойчивость, угловая скорость.

ДИНАМІКА ОДИНОЧНОГО КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ В МОМЕНТ ПОЧАТКУ ПОВНОГО БУКСУВАННЯ

М.А. Подригало, професор, д.т.н., Д.М. Клец, асистент, к.т.н.,
О.О. Назарько, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Отримано залежності, що дозволяють оцінити зміну в часі лінійної і кутової швидкості колеса, а також – відносного буксування колеса.

Ключові слова: буксування, відносне буксування, коефіцієнт зчеплення, стійкість, кутова швидкість.

DYNAMIC OF AUTOMOBILE SINGLE WHEEL AT FAILURE INTO FULL SLIPPING

M. Podrigalo, Professor, Doctor of Technical Science, D. Kletz, assistant, O. Nazarko,
Postgraduate, KhNAHU

Abstract. The dependences allowing to estimate the time change of linear and angular speed of the wheel are obtained as well as relative slipping of the wheel.

Key words: slipping, relative slipping, coupling factor, stability, angular speed.

Введение

В настоящей статье рассмотрена динамика автомобильного колеса при внезапном уменьшении коэффициента сцепления с дорогой. Имея начальную линейную скорость движения и потеряв сцепление с дорогой, колесо еще некоторое время двигается до момента времени, при котором указанная скорость станет равной нулю.

Получены зависимости, позволяющие оценить изменение во времени линейной и угловой скорости колеса, а также – относительного буксования колеса.

Анализ последних достижений и публикаций

Исследованию контакта колес мобильных машин с деформируемой и недеформируемой опорной поверхностью, а также их динамике посвящено значительное количество публикаций, в том числе [1–8].

Под полным буксованием колеса подразумевают процесс, при котором в пятне контакта с опорной поверхностью отсутствуют точки, скорость относительного скольжения которых равна нулю, т.е. неподвижные точки.

При срыве колеса в полное буксование в случае, когда линейная скорость V_k его равна нулю, поступательное движение отсутствует, а вращение колеса происходит за счет скольжения в пятне контакта.

Условием возможности начала поступательного движения колеса, находящегося в покое, является известное равенство (рис. 1) при $\omega_k = 0$

$$M_k - M_f - I_k \cdot \dot{\omega}_k \leq \varphi \cdot R_{zk} \cdot r_d, \quad (1)$$

где M_k – крутящий момент на колесе; M_f – момент сопротивления качению

$$M_f = f \cdot R_{zk} \cdot r_d; \quad (2)$$

f – коэффициент сопротивления качению; R_{zk} – вертикальная реакция в пятне контакта колеса с дорогой; r_d – динамический радиус колеса; I_k – момент инерции колеса (с учетом приведенных к колесу вращающихся масс трансмиссии и двигателя); $\dot{\omega}_k$ – угловое ускорение колеса; φ – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью.

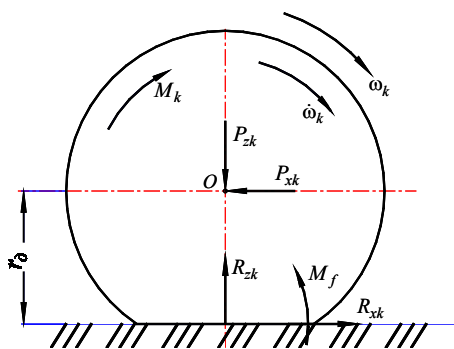


Рис. 1. Схема сил, действующих на колесо в тяговом режиме движения и $V_k = 0$

Выражение (1) с учетом (2) преобразуется к виду

$$\frac{M_k - I_k \cdot \dot{\omega}_k}{R_{zk} \cdot r_d} \leq \varphi + f. \quad (3)$$

Невыполнение условия (3), а также условия

$$\varphi R_{zk} \geq P_{xk}, \quad (4)$$

где P_{xk} – горизонтальная сила, приложенная к оси колеса; приводит к буксованию колеса и невозможности поступательного его движения.

Однако возможен случай, при котором в процессе движения колеса с постоянной линейной скоростью V_k происходит скачкообразное уменьшение коэффициента сцепления φ колеса с дорогой. Последующий характер движения колеса при указанном случае в известных [1-8] исследованиях не рассмотрен.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является определение закона движения одиночного автомобильного колеса при срыве его в полное буксование в результате скачкообразного уменьшения коэффициента сцепления.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить изменение во времени линейной и угловой скорости колеса;
- определить изменение во времени относительного буксования колеса.

Определение линейной и угловой скоростей колеса

Под линейной скоростью поступательного движения одиночного колеса автомобиля понимается вектор скорости V_k его оси, направленный горизонтально. На рис. 2 представлена схема сил, действующих на колесо,двигающееся с линейной скоростью V_k при появлении полного его буксования.

Уравнения плоского движения колеса (рис. 2) имеют вид

$$I_k \cdot \dot{\omega}_k = M_k - R_{zk} \cdot r_d \cdot (\mu + f); \quad (5)$$

$$m \dot{V}_k = \mu R_{zk} - R_{xk}, \quad (6)$$

где m – масса колеса (с учетом приведенных к ней масс автомобиля); $\dot{V}_k$ – линейное ускорение колеса; является отрицательной величиной, поскольку $P_{xk} > R_{xk} = \mu R_{zk}$; μ – коэффициент трения шины с дорогой; принимается в расчет, поскольку при полном буксовании реализуется полная сила трения.

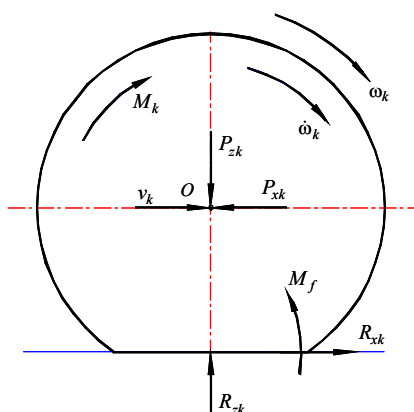


Рис. 2. Схема сил, действующих на поступательно движущееся одиночное колесо автомобиля с линейной скоростью V_k и полным буксованием в пятне контакта

Из выражения (5) определим угловую скорость колеса

$$\omega_k = \frac{V_{k0}}{r_d} + \frac{M_k - R_{zk}(\mu + f) \cdot r_d}{I_k} \cdot t, \quad (7)$$

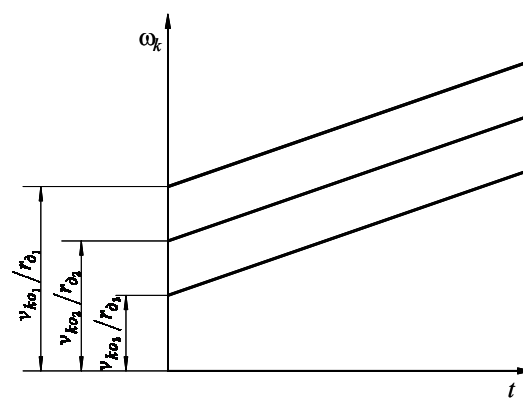
где t – время; V_{k0} – линейная скорость колеса в момент времени, при котором происходит срыв колеса в полное буксование при скачкообразном уменьшении коэффициента сцепления.

Линейная скорость колеса определяется из уравнения (6)

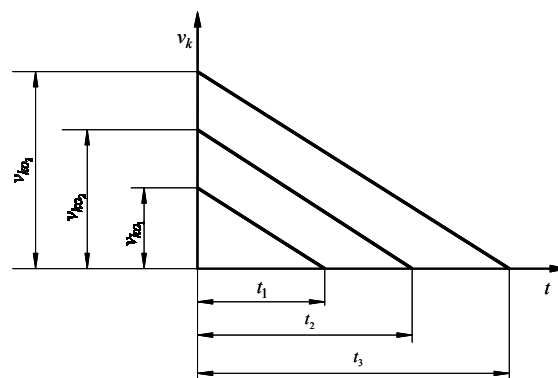
$$V_k = V_{k0} - \frac{P_{xk} - \mu R_{zk}}{m} \cdot t. \quad (8)$$

Примерный характер протекания зависимостей (7) и (8) представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что существует некоторый промежуток времени t_i , за который от момента скачкообразного уменьшения коэффициента сцепления ϕ колесо продолжает поступательное движение. Чем больше длительность этого периода $t_{дв} = t_i$ и выше начальная скорость V_{k0} , тем выше вероятность сохранения колесом скорости поступательного движения, поскольку возможно также последующее скачкообразное увеличение коэффициента сцепления ϕ . Длительность указанного периода $t_{дв}$ характеризует устойчивость поступательного движения одиночного колеса и автомобиля в целом.



а



б

Рис. 3. Зависимости угловой (а) и линейной (б) скоростей колеса от времени

Длительность указанного периода определяется из уравнения (8) при приравнении к нулю его правой части

$$t_{дв} = \frac{V_{k0} \cdot m}{P_{xk} - \mu R_{zk}}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что чем выше V_{k0} и m , тем длительнее период времени $t_{дв}$ и выше устойчивость движения колеса. Чем больше разность $P_{xk} - \mu R_{zk}$, тем устойчивость колеса ниже. Чем больше $t_{дв}$, тем больше вероятность того, что колесо пройдет участок дороги $L_{дор}$, имеющий пониженное значение коэффициента сцепления ϕ .

Из уравнения (8) определим путь, проходимый колесом при полном буксовании

$$S = \int_0^{t_{дв}} V_k dt = \frac{m V_{k0}^2}{2(P_{xk} - \mu R_{zk})} \geq L_{дв}. \quad (10)$$

Условие (10) является условием устойчивости движения колеса и автомобиля в целом.

Определение относительного буксования колеса

Коэффициент относительного буксования или относительное буксование определяется известной зависимостью

$$\delta_k = 1 - \frac{V_k}{\omega \cdot r_d} \quad (11)$$

Подставляя выражение (7) и (8) в соотношение (11), получим

$$\delta_k = 1 - \frac{V_{k0} - \frac{P_{zk} - \mu R_{zk}}{m} \cdot t}{V_{k0} + \frac{M_k - R_{zk}(\mu + f) \cdot r_d}{I_k} \cdot t} \quad (12)$$

Из выражения (12) видно, что при $t = 0$ относительное буксование δ_k равно нулю. Это справедливо для жесткого колеса. Для деформируемого колеса к угловой скорости ω_k будет добавляться угловая скорость ω_k^* , обусловленная угловой скоростью деформации шины. Эта дополнительная угловая скорость ω_k^* – эффект появления «псевдоскольжения» δ_k^* , хотя в контакте колеса с дорогой будут оставаться точки, скорость относительного скольжения которых равна нулю.

После подстановки (9) в (12) при $t_{\text{дв}} = t_i$ величина δ_k равна единице. На рис. 4 приведен график зависимости относительного буксования колеса от времени.

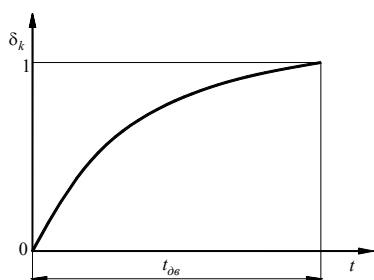


Рис. 4. Зависимость относительного буксования колеса от времени

Выводы

1. В известных исследованиях не рассмотрен процесс движения автомобильного колеса при скачкообразном уменьшении коэффициента сцепления и полном его буксовании.

Полученные зависимости линейной и угловой скоростей колеса, а также его буксования от времени позволили определить время $t_{\text{дв}}$ падения линейной скорости оси колеса от V_{k0} до нуля.

2. Время $t_{\text{дв}}$ и путь, проходимый колесом за это время, характеризуют устойчивость движения колеса и автомобиля в целом при скачкообразном непродолжительном уменьшении коэффициента сцепления ведущего колеса с дорогой. Полученные зависимости для определения пути, проходимого колесом в таком режиме, позволяют оценивать допустимую длину участков автомобильных дорог $L_{\text{дор}}$ по условию обеспечения устойчивости движения автомобиля.

Литература

1. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
2. Кнороз В.И. Шины и колеса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. – М.: Машиностроение, 1975. – 184 с.
3. Гуськов В.В. Тракторы. Ч. II. Теория / В.В. Гуськов. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.
4. Романченко М.И. Сопротивление деформации шины при качении колеса / М.И. Романченко // Автомобильная промышленность. – 2009. – №7. – С. 20–23.
5. Кошарный Н.Ф. Некоторые закономерности динамики взаимодействия колеса с грунтом / Н.Ф. Кошарный // Автомобильная промышленность. – 1977. – №1. – С. 15–17.
6. Томило Э.А. К теории качения колеса / Э.А. Томило // Автомобильная промышленность. – 1996. – №5. – С. 12–13.
7. Иларионов В.А. О траектории движения тормозящего колеса / В.А. Иларионов, М.А. Петров, С.С. Сергеев, Ю.А. Рябонь // Автомобильная промышленность. – 1976. – №8. – С. 14–16.
8. Егоров А.И. О радиусе качения и коэффициенте буксования эластичного колеса на грунте / А.И. Егоров, В.А. Петрушов // Автомобильная промышленность. – 1976. – №9. – С. 17–18.

Рецензент: А.С. Полянский, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 19 марта 2010 г.