

УДК 629.017

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ПЕРЕДНИХ И ЗАДНИХ КОЛЕСАХ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕРОВНОЙ ДОРОГЕ

Д.М. Клец, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Получены выражения, позволяющие определять нормальные реакции на колесах автомобиля при наезде и съезде с неровности с учетом его весовых и геометрических параметров, а также профиля и сцепных свойств покрытия.

Ключевые слова: автомобиль, колесо, нормальные реакции, неровная дорога.

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАЛЬНИХ РЕАКЦІЙ НА ПЕРЕДНІХ І ЗАДНІХ КОЛЕСАХ АВТОМОБІЛЯ ПРИ РУСІ ПО НЕРІВНІЙ ДОРОЗІ

Д.М. Клец, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Отримано вирази, що дозволяють визначати нормальні реакції на колесах автомобіля при наїзді та з'їзді з нерівності з урахуванням його вагових і геометричних параметрів, а також профілю та зчпних властивостей покриття.

Ключові слова: автомобіль, колесо, нормальні реакції, нерівна дорога.

DETERMINATION OF NORMAL REACTIONS AT FRONT AND REAR WHEELS DURING DRIVING ON UNEVEN ROAD SURFACE

D. Klets, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. The expressions for determining the normal reactions at vehicle's wheels during driving over bumps taking into account its weight and geometric parameters, the profile and coupling properties of coating are obtained.

Key words: automobile, wheel, normal reaction, uneven road surface.

Введение

В процессе эксплуатации автомобиль движется по дорожному покрытию, которое не является абсолютно ровным. Новые цементобетонные и асфальтобетонные покрытия имеют неровности высотой до 10 мм [4]. Неровности снижают безопасность дорожного движения, создают дополнительное сопротивление [4] и возмущения, приводящие к нарушению функциональной стабильности эксплуатационных показателей автомобилей. Величины нормальных реакций дороги на колесах автомобилей, в свою очередь, оказывают определяющее влияние на их тягово-скоростные свойства, управляемость, устойчивость и проходимость [6]. Таким образом, актуальным является вопрос определения

нормальных реакций на передних и задних колесах автомобилей при движении их по неровной дороге.

Анализ публикаций

Вопросам исследования движения колесных машин по неровной дороге посвящены работы [1–5, 7]. В работе [7] определено, что при движении по неровной дороге появляются дополнительные касательные реакции, направление которых будет меняться при наезде на неровность или съезде с нее. Микропрофиль дороги можно оценить [7]:

– детерминистически и свести к волнообразному гармоническому профилю или к единичной неровности;

– статистически по конкретной его реализации или по статистической характеристике – спектральной плотности ординат. Последнюю определяют через корреляционную функцию или непосредственно. При детерминистической оценке микропрофиль дороги рассматривают как сочетание отдельных неровностей, характеризующихся длиной, высотой, формой и чередованием. Радиус автомобильного колеса значительно больше высоты неровности, и упругая шина обладает способностью сглаживать резкие очертания неровностей. Поэтому можно принять профиль неровностей синусоидальным относительно средней линии неровности. Относительно плоскости дороги кривая будет смещена на q_0 (рис. 1).

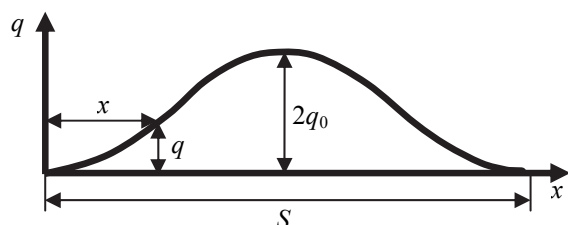


Рис. 1. Неровность синусоидального профиля

Для текущего значения x уравнение профиля неровности имеет вид

$$q = q_0(1 - \cos 2\pi \cdot x/s). \quad (1)$$

В работе [6] предложен метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при ускоренном движении на подъеме по ровной дороге. Определение реакций при движении по неровной дороге требует дальнейших исследований.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка метода определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при движении по неровной дороге. Для достижения указанной цели необходимо определить нормальные реакции на колесах автомобиля при наезде на неровность и съезде с неё.

Материалы и результат исследования

Построим схему сил, действующих на ведущее автомобильное колесо при наезде на неровность синусоидального профиля (рис. 2).

На рис. 2 обозначены: вертикальная реакция R_Z ; нормальная реакция R_N ; сила, создающая сопротивление качению колеса на неровности P_X ; скатывающая сила P_τ ; составляющая вертикальной реакции R_τ , численно равная скатывающей силе; касательная реакция R_X ; вертикальная сила, действующая на колесо P_Z ; крутящий момент M_k ; момент сопротивления качению M_f ; угловая скорость вращения колеса ω_k .

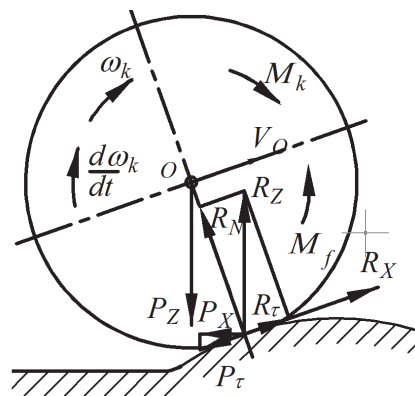


Рис. 2. Схема сил, действующих на ведущее автомобильное колесо при наезде на неровность

Рассмотрим схему сил, действующих на полноприводный автомобиль при наезде его на неровность передними колесами (рис. 3). Уравнения равновесия моментов относительно точек B и A имеют следующий вид

$$\begin{aligned} R_{z1}(L+e) + R_{x1} \cdot ((L+e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) - \\ - P_\tau((L+e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) + G \cdot h \cdot \sin \alpha - \\ - G \cdot b \cdot \cos \alpha + P_{jx} \cdot h + P_w \cdot h_w - M_{k1} - \\ - M_{k2} + M_{f1} + M_{f2} = 0; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R_{z2} \cdot (L+e) - R_{x2} \cdot q - G \cdot (h-q) \cdot \sin \alpha - \\ - G \cdot (a+e) \cdot \cos \alpha - P_{jx} \cdot (h-q) - \\ + P_w \cdot (h_w - q) + M_{k1} + M_{k2} - \\ - M_{f1} - M_{f2} = 0; \end{aligned} \quad (3)$$

где G , L – общий вес и продольная колесная база автомобиля; h – высота центра масс автомобиля.

При наезде колеса на неровность пятно контакта смещается в продольной плоскости на величину e и в вертикальной плоскости – на величину q (рис. 4) относительно ровной поверхности дороги.

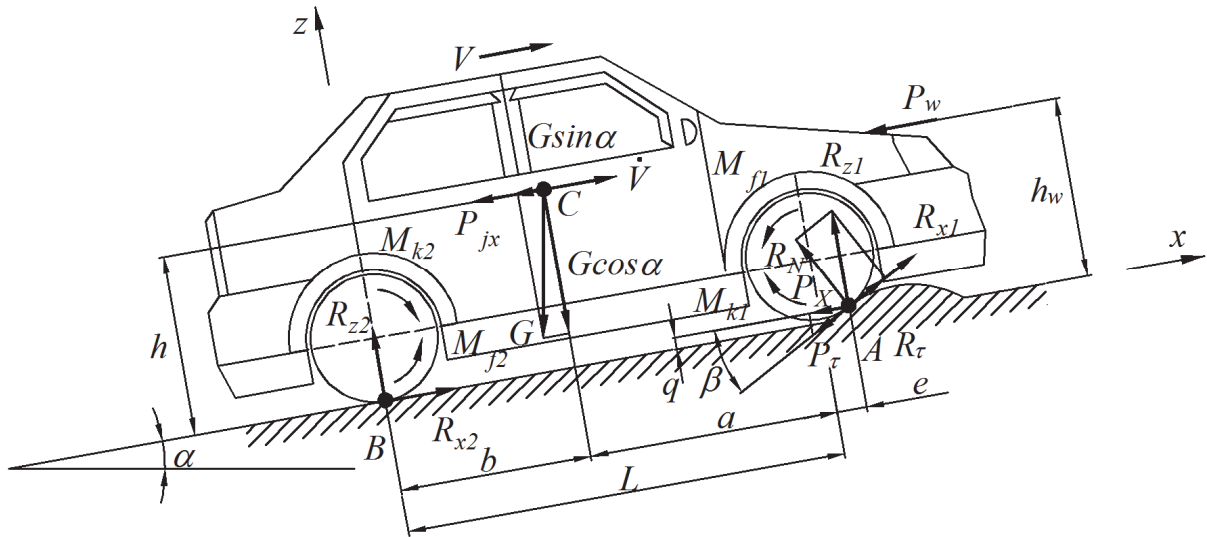


Рис. 3. Схема сил, действующих на полноприводный автомобиль при наезде передними колесами на неровность: P_{jx} – сила инерции поступательного движения автомобиля; P_w и h_w – сила сопротивления воздуха и вертикальная координата центра парусности автомобиля; β – угол «атаки» неровности; a, b – расстояние от проекции центра масс автомобиля на опорную плоскость до осей колес; α – угол продольного уклона дороги

На рис. 4 приняты следующие обозначения: A и B – точки контакта переднего и заднего колес с дорогой с учетом неровности; AD – высота неровности; E – точка пересечения линии действия силы и плоскости дороги; F – точка контакта колеса с дорогой без учета неровности; BO – плечо действия силы R_{x1} .

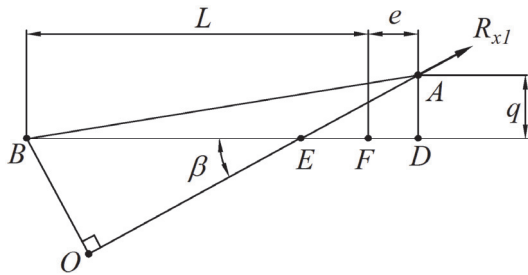


Рис. 4. Схема определения плеча действия касательной реакции R_{x1}

Плечо действия реакции R_{x1} при наезде на неровность определяется из следующего выражения

$$BO = (L + e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

где e – величина смещения пятна контакта в продольной плоскости

$$e = r_d \cdot \sin \beta, \quad (5)$$

r_d – динамический радиус колес.

Подставляя зависимости (4) и (5) в выражения (2) и (3), получим, с учетом $P_\tau = R_\tau = R_{z1} \cdot \sin \beta$, $R_{x1} = \varphi \cdot R_N = \varphi \cdot R_{z1} \cdot \cos \beta$, $R_{x2} = \varphi \cdot R_{z2}$

$$R_{z1} = \frac{G \cdot b \cdot \cos \alpha - G \cdot h \cdot \sin \alpha - \frac{P_{jx} \cdot h + P_w \cdot h_w - \sum M_k + \sum M_f}{(L + r_d \cdot \sin \beta) + \Lambda}}{(L + r_d \cdot \sin \beta) + \Lambda}, \quad (6)$$

$$R_{z2} = \frac{G(a + r_d \cdot \sin \beta) \cos \alpha + G(h - q) \sin \alpha}{L + r_d \cdot \sin \beta - \varphi \cdot q} + \frac{P_{jx}(h - q) + P_w(h_w - q) - \sum M_k + \sum M_f}{L + r_d \cdot \sin \beta - \varphi \cdot q}, \quad (7)$$

где $\Lambda = ((L + r_d \cdot \sin \beta) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) \times (\varphi \cdot \cos \beta - \sin \beta)$.

В уравнениях (6) и (7) [6]

$$\frac{\sum M_K}{L} = \frac{\sum P_{K1} r_{d1} + \sum P_{K2} r_{d2}}{L} \cong \frac{P_K}{L} [K_M \cdot r_{d1} + (1 - K_M) \cdot r_{d2}], \quad (8)$$

$$\frac{\sum M_f}{L} = f \frac{\sum R_{z1} r_{d1} + \sum R_{z2} r_{d2}}{L}; \quad (9)$$

где K_M – коэффициент распределения суммарного крутящего момента на переднюю ось автомобиля.

Суммарная тяговая сила автомобиля может быть определена как

$$P_K = f \cdot G \cos \alpha + G \sin \alpha + P_w + \frac{G}{g} \cdot \frac{dV_a}{dt}; \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с; f – коэффициент сопротивления качению.

После подстановки в уравнения (6) и (7) зависимостей (8) – (10) и проведения преобразований получим

$$R_{N1} = \frac{\Xi + f \cdot r_d \cdot R_{N2}}{L + e - \Omega + f \cdot r_d} \cdot \cos \beta; \quad (11)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) + G(a + e) \cos \alpha}{L + e - \phi \cdot q + f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L + e - \Omega + f \cdot r_d}} - \frac{P_K r_d + \frac{f \cdot r_d \cdot \Xi}{L + e - \Omega + f \cdot r_d}}{L + e - \phi \cdot q + f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L + e - \Omega + f \cdot r_d}}, \quad (12)$$

где $\Omega = ((L + e) \sin \beta - q \cos \beta)(\sin \beta - \phi \cos \beta)$,
 $\Xi = (G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K r_d$.

Рассмотрим схему сил, действующих на полноприводный автомобиль при съезде его с неровности передними колесами (рис. 5).

Схема определения плеча действия касательной реакции R_{x1} в данном случае приведена на рис. 6.

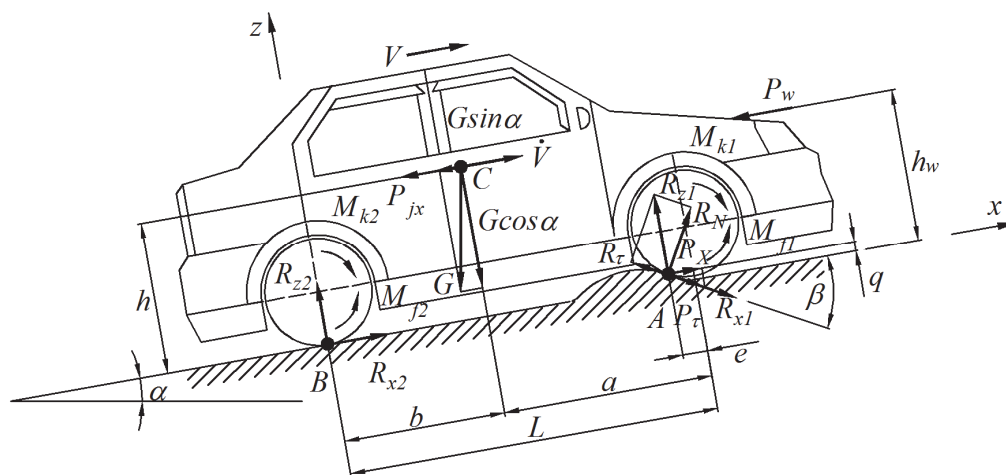


Рис. 5. Схема сил, действующих на полноприводный автомобиль при съезде передними колесами с неровности

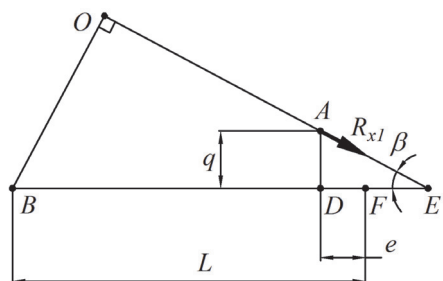


Рис. 6. Схема определения плеча действия касательной реакции R_{x1}

Выполняя аналогичные преобразования, получим при съезде с неровности передними колесами следующие соотношения

$$R_{N1} = \frac{-\Xi - f \cdot r_d \cdot R_{N2}}{L - e - \Psi + f \cdot r_d} \cdot \cos \beta; \quad (13)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) + G(a - e) \cos \alpha}{(L - e) - \phi \cdot q - f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L - e - \Psi + f \cdot r_d}} - \frac{P_K \cdot r_d + \frac{f \cdot r_d \cdot \Xi}{L - e - \Psi + f \cdot r_d}}{(L - e) - \phi \cdot q - f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L - e - \Psi + f \cdot r_d}}, \quad (14)$$

где $\Psi = ((L - e) \sin \beta + q \cos \beta)(\sin \beta + \phi \cos \beta)$.

При наезде на неровность задними колесами суммарные нормальные реакции на колесах передней и задней осей определяются из следующих соотношений

$$R_{N1} = \frac{-(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q)}{L - e + \kappa \cdot q + f \cdot r_d} + \frac{G(b - e) \cos \alpha + P_K r_d + f \cdot r_d R_{N2}}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}, \quad (15)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)h + G a \cos \alpha}{-(L - e) + \Phi + f r_d - \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L - e + \varphi q + f r_d}} \cos \beta - \frac{P_K r_d + \frac{f \cdot r_d \Theta}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}}{-(L - e) + \Phi + f \cdot r_d - \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}} \cos \beta, \quad (16)$$

где $\Theta = (G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) - G(b - e) \times \cos \alpha - P_K r_d$;

$$\Phi = ((L - r_d) \sin^2 \beta + q \cdot \cos \beta)(\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta).$$

При съезде с неровности задними колесами суммарные нормальные реакции на колесах передней и задней осей определяются следующим образом

$$R_{N1} = \frac{-\Theta - f \cdot r_d R_{N2}}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}; \quad (17)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h + G a \cos \alpha}{L + e + \Sigma - f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}} \cos \beta - \frac{P_K r_d + \frac{f \cdot r_d \cdot \Delta}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}}{L + e + \Sigma - f \cdot r_d + \frac{f^2 \cdot r_d^2}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_d}} \cos \beta, \quad (18)$$

где $\Delta = (G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) - G(b + e) \times \cos \alpha - P_K r_d$;

$$\Sigma = (-(L + r_d) \sin^2 \beta + q \cdot \cos \beta)(\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta).$$

Выводы

Полученные аналитические выражения позволяют определять нормальные реакции на передних и задних колесах при наезде и съезде с неровности с учетом профиля и сцепных свойств покрытия, а также весовых и геометрических параметров колесных машин.

Метод определения нормальных реакций на колесах автомобиля при движении по неровной дороге позволяет перейти к оценке его устойчивости против заноса.

Литература

1. Аксенов П.В. Многоосные автомобили / П.В. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
2. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения : ГОСТ Р 52605 – 2006 – [Введен в действие от 2006-12-11]. – М. : Стандартинформ, 2006. – 10 с. – (Национальные стандарты Российской Федерации).
3. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов / А.И. Гришкевич. – Мн.: Высш. шк., 1986. – 208 с.
4. Коноплянко В.И. Основы безопасности дорожного движения / В.И. Коноплянко. – М.: ДОСААФ, 1978. – 128 с.
5. Мазур В.В. Определение параметров эксплуатационных свойств автотранспортного средства при движении по неровной дороге / В.В. Мазур // Системы. Методы. Технологии: научный журнал БрГУ. – Братск: БрГУ. – 2009. – Вып. 2. – С. 39–41.
6. Динамика автомобиля / М.А. Подригало, В.П. Волков, А.А. Бобошко, В.А. Павленко и др. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 426 с.
7. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

Рецензент: А.В. Сараев, доцент, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 18 марта 2013 г.