

УДК 629.017

*Д. М. КЛЕЦ*, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ, Харків**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА  
ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕРОВНОЙ ДОРОГЕ**

Предложен метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при наезде и съезде с неровностей, позволяющий уточнить оценку его устойчивости против заноса.

**Ключевые слова:** автомобиль, нормальные реакции, дорожные неровности, устойчивость.

**Введение.** В современном мире очень остро стоит проблема дорожно-транспортных происшествий, возникающих по причине неровностей автомобильных дорог [6]. Неровности автомобильных дорог являются одной из главных причин ухудшения функциональной стабильности эксплуатационных показателей колесных машин. Движение автомобиля по неровностям дороги сопровождается непрерывными ударами колес и колебаниями осей и кузова. В результате происходит дополнительное рассеивание энергии в шине и деталях подвески, достигающее иногда значительных величин [7]. Попадание колеса, движущегося с большим линейным ускорением на неровность, может привести к возникновению дорожно-транспортных происшествий.

Устойчивость против заноса влияет на безопасность движения и производительность колесных машин. Таким образом, представляет интерес оценка устойчивости автомобиля при движении его по неровной дороге.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Вопросам исследования устойчивости колесных машин посвящены работы значительного числа отечественных и зарубежных авторов [2, 8, 9, 11]. Движение автомобиля по неровной дороге рассматривается в работах [3, 5, 6, 7, 9, 12, 13]. Из практической эксплуатации известно, что движение автомобиля по неровной дороге сопровождается колебаниями, которые приводят к ухудшению его эксплуатационных свойств, что, в свою очередь, выражается в увеличении расхода топлива, ухудшении устойчивости и управляемости и вынуждает уменьшать скорость движения [9]. По данным служб автомобильных дорог областей Украины в 2008 году произошло 1151 ДТП из-за неудовлетворительного состояния автомобильных дорог, что составляет 2,9 % от общего количества ДТП [10]. В работе [12] предложена математическая модель вертикальных колебаний автомобиля, возникающих при преодолении искусственных дорожных неровностей, и проведен анализ результатов моделирования. В работе [3] указывается, что от 13 до 18 % ДТП, вызванных неблагоприятными дорожными условиями, объясняются неровным покрытием. Безопасность движения по неровным дорожным покрытиям ухудшается вследствие периодической разгрузки колес автомобиля из-за его колебаний, что приводит к снижению условий сцепления колеса с покрытием, а иногда и к отрыву колеса от дороги [13]. Известно, что величины нормальных реакций дороги на колеса автомобилей оказывают определяющее влияние на их тягово-скоростные свойства, управляемость, устойчивость и проходимость [11]. В работе [11] предложен метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при ускоренном движении на подъеме при наезде на неровность передними колесами

© Д. М. Клец, 2013

$$R_{N1} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta + f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L + e - ((L + e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta} \cdot \cos \beta; \quad (1)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) + G(a + e) \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f r_\delta [(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L + e - ((L + e) \sin \beta - q \cos \beta) (\sin \beta - \varphi \cos \beta) + f r_\delta}}{L + e - \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L + e - ((L + e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}, \quad (2)$$

при съезде с неровности передними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h + G \cdot b \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta - f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta} \cdot \cos \beta; \quad (3)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (a - e) \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta \cdot [(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta]}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}{(L - e) - \varphi \cdot q - f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}, \quad (4)$$

при наезде на неровность задними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (b - e) \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta + f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}; \quad (5)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) h + G a \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta [(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) - G(b - e) \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}}{- (L - e) + ((L - r_\delta) \cdot \sin \beta^2 + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta - \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}} \cdot \cos \beta, \quad (6)$$

при съезде с неровности задними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (b - e) \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta - f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}; \quad (7)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h + G a \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta [(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) - G(b + e) \cdot \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}}{L + e + (- (L + r_\delta) \cdot \sin \beta^2 + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) - f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}} \cdot \cos \beta, \quad (8)$$

где  $G, P_K$  – общий вес и суммарная тяговая сила автомобиля;

$a, b$  – расстояние от проекции центра масс на опорную плоскость до осей колес;

$L, \alpha$  – продольная колесная база автомобиля и угол продольного уклона дороги;

$f, h$  – коэффициент сопротивления качению и высота центра масс автомобиля;

$r_\delta$  и  $P_w$  – динамический радиус колес и сила сопротивления воздуха;

$P_{jx}$  – сила инерции поступательного движения автомобиля;

$\beta$  – угол наклона касательной к поверхности профиля неровности;

$q, e$  – высота неровности и смещение пятна контакта в продольной плоскости.

Как правило, дополнительное сопротивление, вызываемое неровностями дороги, учитывают, условно увеличивая коэффициент сопротивления качению [11]. Однако данная методика не позволяет определить изменение нормальных реакций дороги на колесах автомобилей с различными типами привода. Также в известной литературе не приведено влияние неровностей дорожного покрытия на показатели устойчивости против заноса. Таким образом, данные вопросы требуют дополнительного исследования.

**Цель и постановка задач исследования.** Целью исследования является разработка метода оценки устойчивости автомобиля против заноса при движении по дорожным неровностям. Для достижения указанной цели необходимо определить коэффициент устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге.

**Определение коэффициента устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге.** Рассмотрим переезд автомобиля через неровность синусоидального профиля. Профиль указанной неровности имеет следующий вид (см. рис. 1) и определяется ее высотой  $q$ , а также углом  $\beta$  – углом наклона касательной к поверхности профиля, который можно определить с помощью зависимости

$$\beta = \arctg\left(\frac{dq}{dt}\right). \quad (9)$$

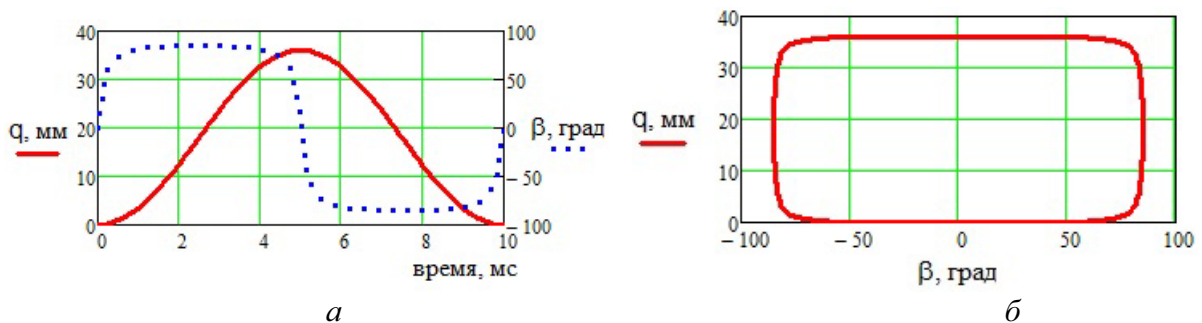


Рисунок 1 – Профиль единичной неровности:  $a$  – зависимость высоты неровности  $q$  и угла наклона касательной к поверхности профиля  $\beta$  от времени переезда через неровность;  $b$  – зависимость высоты неровности  $q$  от угла  $\beta$

Используя зависимости (1) и (6), определим нормальные реакции на передних и задних колесах автомобиля при движении его по ровной поверхности и при наезде на неровность колесами соответственно переднего и заднего моста (см. рис. 2). Параметры автомобиля Audi А6, принятые при расчете, приведены в табл.

Таблица – Параметры автомобиля, принятые при расчете нормальных реакций дороги на его колесах

Параметр	Значение	Параметр	Значение
$a$ , м	1,35	$m$ , кг	2060
$b$ , м	1,4	$k \cdot F$ , Н·с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	0,58
$\dot{V}_{x1}$ , м/с <sup>2</sup>	0,1	$K_R$	0,5
$L$ , м	2,75	$r_{\partial}$	0,292
$f_0$	0,013	$\varphi$	0,8
$h$ , м	0,55	$q_0$	0,018

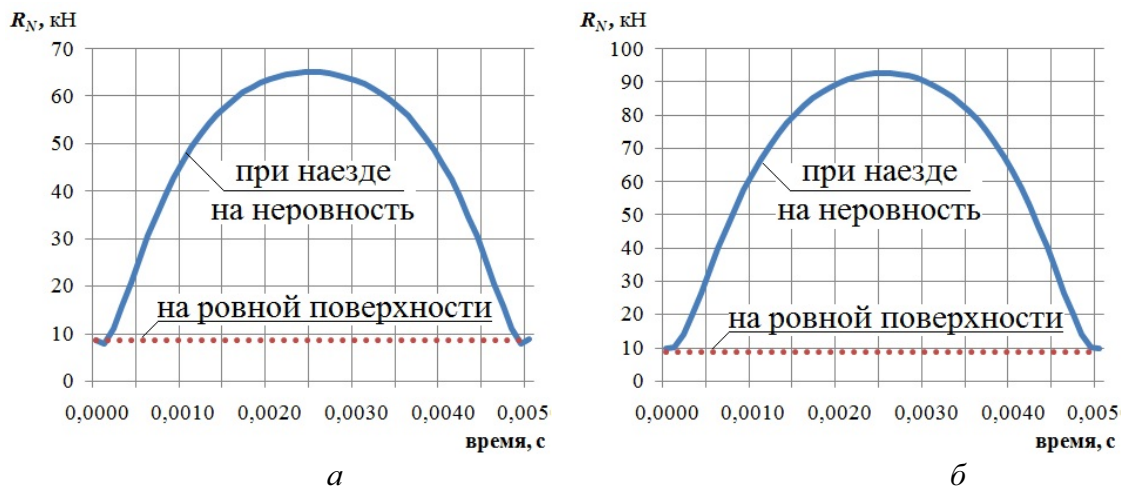


Рисунок 2 – Зависимость нормальной реакции дороги от времени движения при наезде на неровность и на ровной поверхности: *a* – движение переднего моста; *б* – движение заднего моста

Анализ рис. 2 показывает, что при наезде на неровности возникают кратковременные импульсы – увеличение нормальных реакций. Например, для автомобиля Audi A6 – в 6,5-9 раз по сравнению с движением на ровной поверхности. На рис. 3 приведена зависимость нормальных реакций от времени наезда на неровность при различных значениях массы автомобиля, а также при различных значениях высоты неровностей. При увеличении массы автомобиля, а также высоты неровностей, нормальные реакции возрастают.

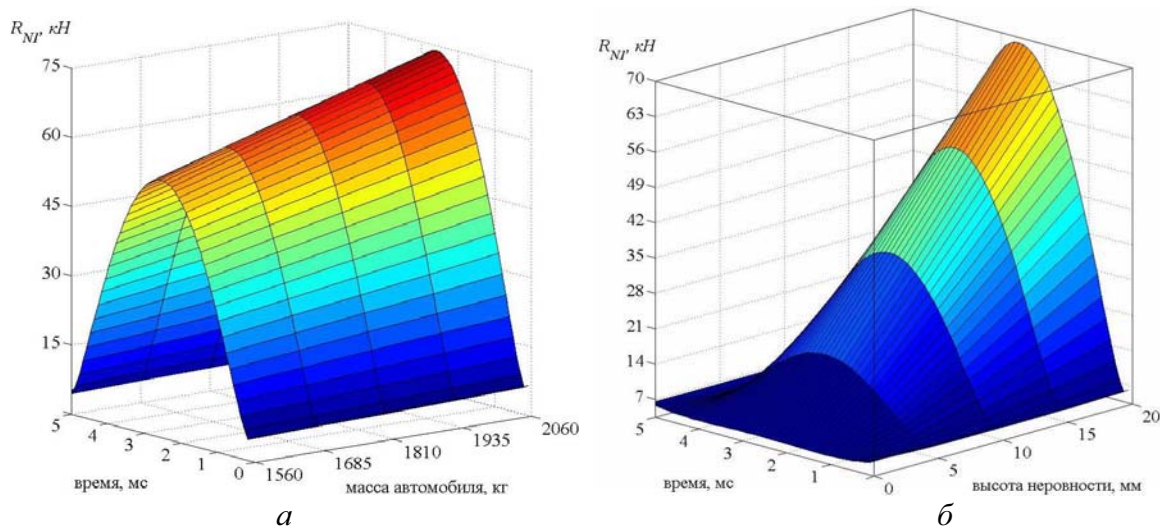


Рисунок 3 – Зависимость нормальных реакций от времени наезда на неровность: *a* – при различных значениях массы автомобиля; *б* – при различных значениях высоты неровностей

В работе [11] в качестве критерия устойчивости движения колесной машины предложен коэффициент устойчивости. Указанный коэффициент равен отношению момента стабилизирующего к возмущающему моменту и определяется из следующего соотношения

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta_2}}{R_{\delta_1}}, \quad (10)$$

где  $R_{\delta_1}, R_{\delta_2}$  – боковые реакции дороги на осях;

$$R_{\delta_1} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_1}^2 - R_{k_1}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_1}^2 - K_R^2 \cdot R_k^2}; \quad (11)$$

$$R_{\delta_2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_2}^2 - R_{k_2}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_2}^2 - (1 - K_R)^2 \cdot R_k^2}, \quad (12)$$

$R_{k_1}, R_{k_2}$  – касательные реакции (суммарные) на колесах передней и задней осей,

$$R_k = m \cdot \dot{V}_{x_1} + P_w = m_a \cdot \dot{V}_{x_1} + k \cdot F \cdot V_{x_1}^2. \quad (13)$$

Определим с помощью зависимостей (1) – (8), подставляя их в выражения (11), (12) и (10), коэффициент устойчивости автомобиля Audi A6 при движении его по неровности. Зависимость  $K_{уст}$  от времени наезда на неровности при различных значениях их высот  $q$  и  $\varphi = 0,4$  приведена на рис. 4. Зависимость  $K_{уст}$  автомобиля от угла  $\beta$  наклона касательной к поверхности профиля при различных значениях линейной скорости и продольного ускорения приведена на рис. 5. Зависимость  $K_{уст}$  автомобиля от времени наезда на неровность при различных значениях коэффициента сцепления колес с дорогой, а также вид поверхности, образованной функцией  $K_{уст} = f(t, \varphi)$ , приведены на рис. 6.

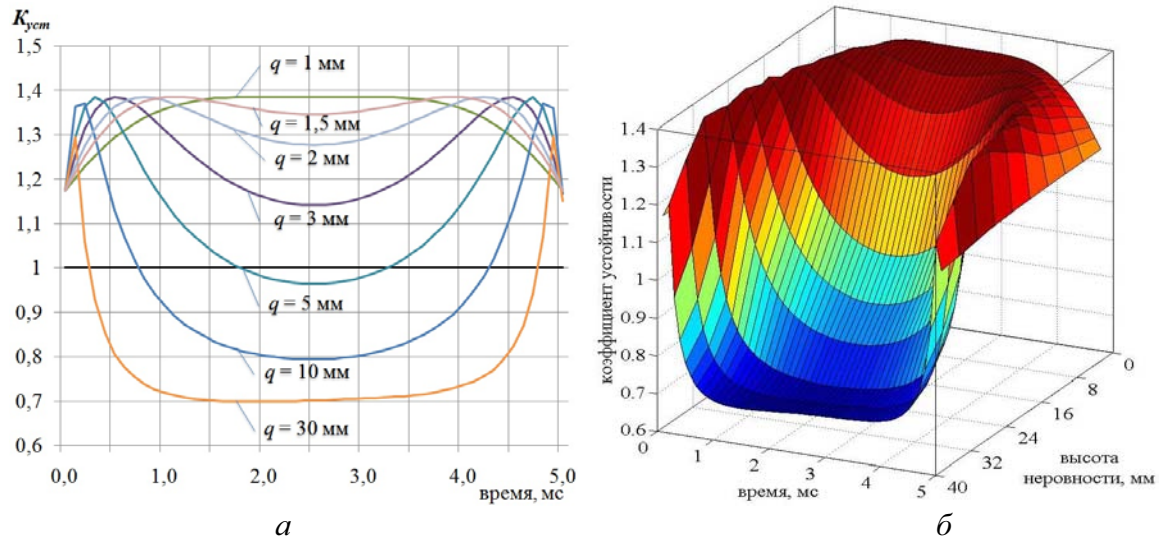


Рисунок 4 – Зависимость  $K_{уст}$  от времени наезда на неровности при различных значениях высоты  $q$  и коэффициенте сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,4$ :  
 а – двухмерный вид; б – трехмерный вид

Анализ рис. 4 показывает, что при значениях высоты неровности менее 4 мм, коэффициент устойчивости исследуемого автомобиля в заданных условиях движения принимает значения выше минимально допустимой величины ( $K_{уст} \geq 1$ ). При  $q > 4$ ,  $K_{уст} < 1$ . Анализ рис. 5 показывает, что при увеличении угла  $\beta$  наклона касательной к поверхности профиля коэффициент устойчивости снижается. Анализ рис. 6 показывает, что движение через неровность с рассматриваемыми параметрами не приведет к снижению коэффициента устойчивости ниже допустимой величины ( $K_{уст} < 1$ ) при условии  $\varphi \geq 0,6$ , что соответствует поверхности «сухой асфальт» [1].

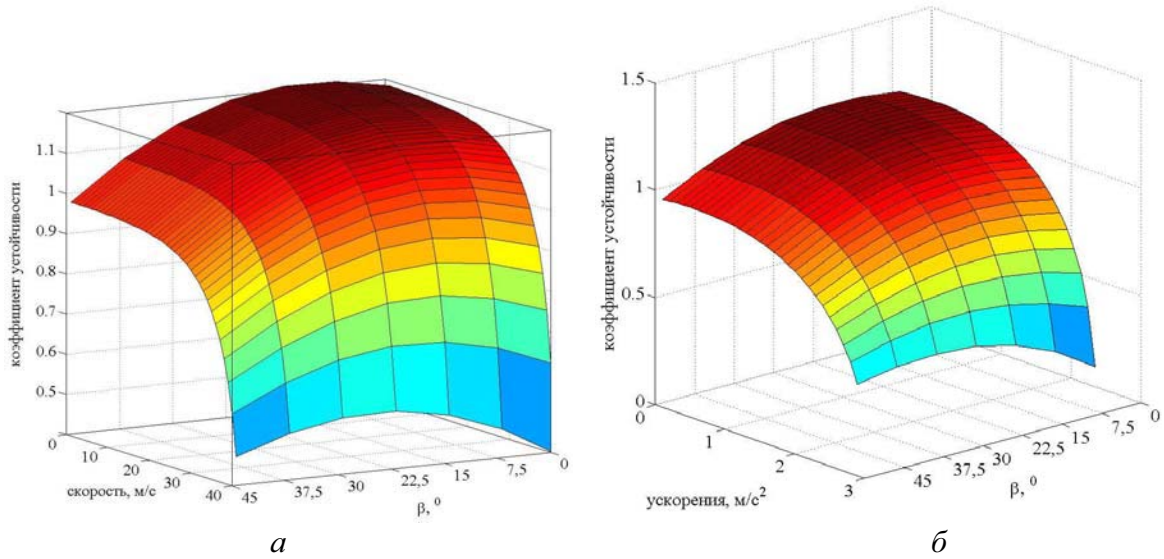


Рисунок 5 – Зависимость  $K_{уст}$  автомобиля от угла  $\beta$  наклона касательной к поверхности профиля: *a* – при различных значениях линейной скорости; *б* – при различных значениях продольного ускорения

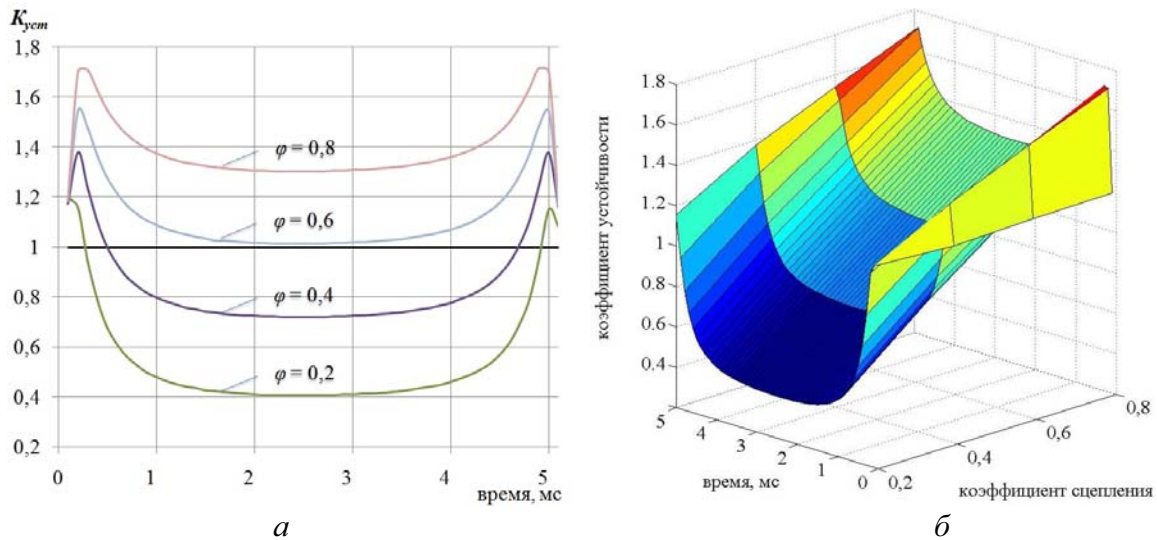


Рисунок 6 – Зависимость  $K_{уст}$  автомобиля от времени наезда на неровность: *a* – при значениях  $\varphi = 0,2$ ;  $\varphi = 0,4$ ;  $\varphi = 0,6$ ;  $\varphi = 0,8$ ; *б* – вид поверхности, образованной функцией  $K_{уст} = f(t, \varphi)$

**Выводы.** Предложенный метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при наезде и съезде с неровности позволяет уточнить оценку его устойчивости против заноса. При наезде автомобиля Audi A6 на неровности возникают кратковременные импульсы – увеличение нормальных реакций в 6,5-9 раз по сравнению с движением на ровной поверхности. При увеличении массы автомобиля, а также высоты неровностей, нормальные реакции возрастают. При увеличении угла  $\beta$  наклона касательной к поверхности профиля коэффициент устойчивости автомобиля против заноса снижается.

**Список литературы:** 1. Автомобильный справочник Bosch / [пер. с англ. Г.С. Дугин]. – Москва: За рулем, 1999. – 895 с. – (Первое издание на русском языке). 2. Аксенов П. В. Многоосные автомобили / Аксенов П. В. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с. 3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с. 4. ГОСТ Р 52605 – 2006 Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения / Национальный стандарт РФ – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с. 5. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория / А.И. Гришкевич // Учебник для вузов – Мн.: Вышш. шк., 1986. – 208 с. 6. Долгилевич Ю.П., Костелев М.П., Хаккерт Я. Влияние некоторых составляющих асфальтобетонной технологии на долговременную ровность дорожных покрытий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://library.stroit.ru>. 7. Коноплянко В.И. Основы безопасности дорожного движения / В.И. Коноплянко – М.: ДОСААФ, 1978. – 128 с. 8. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М: Машиностроение, 1971. – 416 с. 9. Мазур В.В. Определение параметров эксплуатационных свойств автотранспортного средства при движении по неровной дороге / В.В. Мазур // Научный журнал БрГУ "Системы. Методы. Технологии" – Вып. 2 – Братск, изд. БрГУ, 2009. – с. 39-41. 10. Моніторинг ДТП на автомобільних дорогах загального користування України за 2008 рік. – К. : ДерждорНДІ, 2009. – 48 с. 11. Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динамика автомобиля. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с. 12. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р. В. Ротенберг. - М.: Машиностроение, 1972. – 392 с. 13. Филиппов В.В., Смирнова Н.В., Кияшко Д.И. Оценка влияния неровностей дорожных покрытий на безопасность движения // Вестник ХНАДУ, 2009 – №47. – с. 112-126.

*Надійшла до редколегії 20.05.2013*

УДК 629.017

**Оценка устойчивости автомобиля против заноса при движении по неровной дороге / Д. М. Клец // Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 55–61. – Бібліогр.: 13 назв.**

Запропоновано метод визначення нормальних реакцій на передніх і задніх колесах автомобіля при наїзді та зїзді з нерівностей, що дозволяє уточнити оцінку його стійкості проти заносу.

**Ключові слова:** автомобіль, нормальні реакції, дорожні нерівності, стійкість.

A method of determining the normal reactions on the front and rear vehicle wheels when approaching with irregularities, allowing to refine the estimate of its resistance to skidding.

**Key words:** vehicle, normal reactions, road unevenness, stability.