

УДК 629.3.017.2

**М.П. Козлинський, С.І. Мальнов\*, О.В. Кривешко\*\***Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки,

\*кафедра експлуатації автомобільної техніки,

\*\*кафедра автомобілебудування

**СТІЙКІСТЬ РУХУ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ  
ПРИ ЗМІНІ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРА МАС**

© Козлинський М.П., Мальнов С.І., Кривешко О.В., 2002

**Користуючись теорією нелінійного відведення шин, досліджено вплив зміни вертикальних навантажень на коефіцієнт опору бічному відведенню та критичну швидкість транспортних засобів із умови стійкості руху.****Using the theory of a nonlinear tap of buses, the influence of a modification of vertical loads to magnitude of a resistance coefficient to a side tap and critical speed of means of transport from a stability condition of driving is investigated.**

При переміщенні дорожніх транспортних засобів досить часто спостерігається перерозподіл вертикальних навантажень на передній і задній мости та правий або лівий борти машин. При цьому в місці контакту коліс з дорожнім покриттям можуть виникати різні за величиною нормальні реакції. Крім цього, слід пам'ятати, що здебільшого на усіх колесах можна встановити однакові шини, в яких рекомендують різні величини тиску повітря між колесами передніх і задніх мостів. Очевидно такі зміни, як вертикальні навантаження, тиск повітря тощо можуть впливати на характеристики елементів динамічних систем транспортних засобів [1, 2], серед яких особливе місце належить коефіцієнту опору бічному відведенню шин.

Теорія нелінійного відведення [3, 4] пропонує використовувати залежність величини бокової реакції в контакті колеса з опорною поверхнею  $R_y$  від кута відведення  $\delta$  за допомогою загальної функції корекції відведення  $q$ :

$$R_y = K_\delta \cdot \delta = q \cdot K_{\delta e} \cdot \delta ,$$

де  $K_\delta$  – коефіцієнт опору бічному відведенню, Н/рад;  $K_{\delta e}$  – екстремальне значення коефіцієнта опору бічному відведенню шини, Н/рад.

Загальна функція корекції відведення через нелінійний зв'язок між боковою силою та кутом відведення  $q$ , яка враховує багато нелінійних характеристик відведення шини, подається у вигляді добутку

$$q = q_z \cdot q_T \cdot q_\phi \cdot q_\gamma \cdot q_{\sim} \cdot q_p \cdot q_{gp} \cdot q_{zy} \cdot q_{ne} ,$$

де часткові коефіцієнти корекції відведення, що враховують вплив, а саме:  $q_z$  – перерозподілу нормальних навантажень;  $q_T$  – перерозподілу тангенціальних (тягових і гальмівних) навантажень;  $q_\phi$  – зміни зчіпних властивостей колеса з дорогою;  $q_\gamma$  – зміни кута нахилу коліс до поверхні дороги;  $q_{\sim}$  – зміни нерівностей поверхні дороги;  $q_p$  – зміни тиску повітря в шинах;  $q_{gp}$  – зміни при русі по ґрунтовій поверхні;  $q_{zy}$  – зміни при введенні задніх керованих коліс;  $q_{ne}$  – зміни при невстановленому відведенні.

Метою даної роботи є дослідження впливу зміни положення центра мас в межах бази та колії транспортних засобів на їх стійкість руху.

Коефіцієнт корекції  $q_z$ , який враховує вплив зміни нормального навантаження на шину, можна визначити із виразу [4]

$$q_z = 1 - 0,6 \cdot \left( \frac{\Delta R_{ze}}{R_{ze}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left( \frac{\Delta R_{ze}}{R_{ze}} \right)^3 - 0,1 \cdot \left( \frac{\Delta R_{ze}}{R_{ze}} \right) - 0,1 \cdot \left( \frac{\Delta R_{ze}}{R_{ze}} \right) \cdot \text{sign} \left( \frac{\Delta R_{ze}}{R_{ze}} \right), \quad (1)$$

де  $\Delta R_{ze} = R_z - R_{ze}$ ;  $R_z$  – фактичне вертикальне навантаження на шину, Н;  $R_{ze}$  – нормальне навантаження на шину, що відповідає екстремальному значенню коефіцієнта опору боковому відведенню  $K_{\text{oe}}$ , Н.

Крім цього, в [5] відоме також визначення коефіцієнта корекції  $q_z$  за формулою, запропонованою А.С. Литвиновим

$$q_z = 2,4 \cdot \left( \frac{R_z}{R_{ze}} \right) - 1,8 \cdot \left( \frac{R_z}{R_{ze}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left( \frac{R_z}{R_{ze}} \right)^3. \quad (2)$$

Графічна інтерпретація виразів (1) і (2), яка показана на рис. 1, дає змогу стверджувати, що при зміні навантаження від 0 до  $R_{ze}$  значення  $q_z$  зростає, а при досягненні  $R_z > R_{ze}$  коефіцієнт корекції починає зменшуватися, причому дане зменшення відбувається меншою мірою, ніж при зростанні  $R_z$  до  $R_{ze}$ , особливо це стосується виразу (2).

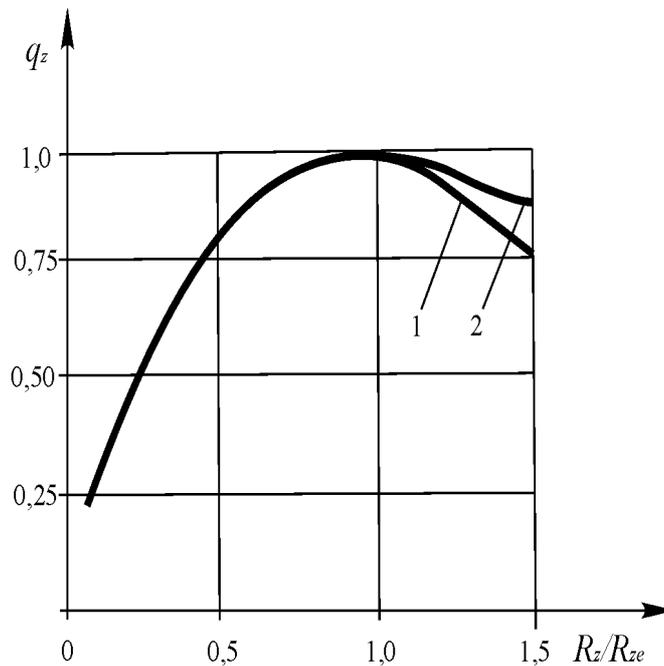


Рис. 1. Залежність зміни коефіцієнта корекції  $q_z$  від вертикального навантаження на шину:  
1 – згідно з виразом (1); 2 – згідно з виразом (2)

Величини нормальних навантажень на відповідні мости транспортних засобів можуть бути визначені за формулами:

$$\text{- на передній міст} \quad R_{z1} = G \cdot b, \text{ Н}; \quad (3)$$

$$\text{- на задній міст} \quad R_{z2} = G \cdot a, \text{ Н}; \quad (4)$$

де  $G$  – вага машини, Н;  $a$  і  $b$  – відповідно, відношення відстані центра мас машини між переднім та заднім мостами до її бази.

Розподіл нормальних навантажень між колесами лівого та правого бортів машини залежно від зміщення центра мас відносно повздовжньої осі симетрії – ексцентриситету, наприклад, вправо можна визначити за формулами:

$$- \text{ для лівого колеса} \quad R_{zn} = R_{zi} \cdot (0,5 - e), \text{ Н}; \quad (5)$$

$$- \text{ для правого колеса} \quad R_{zn} = R_{zi} \cdot (0,5 + e), \text{ Н}, \quad (6)$$

де  $R_{zi}$  – величина нормального навантаження на відповідний міст, Н;  $e$  – відношення величини ексцентриситету центра мас машини до колії.

З достатнім ступенем точності, згідно з [4, 5, 6], можна записати відповідні коефіцієнти корекції відведення, які враховують перерозподіл нормальних навантажень на колесах мостів транспортних засобів

$$q_{zi} = q_{zin} + q_{zin}, \quad (7)$$

де  $q_{zin}$  та  $q_{zin}$  – відповідно, коефіцієнти корекції відведення лівого та правого коліс мостів.

Своєю чергою, якщо врахувати вищенаведені вирази (2) – (7), то одержимо більш конкретні залежності для визначення коефіцієнтів корекції  $q_{zi}$  переднього та заднього мостів:

$$\begin{cases} q_{z1} = G_{a1} \cdot \left( \frac{G_{a1}^2 \cdot (1,2 \cdot e^2 + 0,1)}{R_{ze}^3} - \frac{G_{a1} \cdot (3,6 \cdot e^2 + 0,9)}{R_{ze}^2} + \frac{2,4}{R_{ze}} \right) \\ q_{z2} = G_{a2} \cdot \left( \frac{0,8 \cdot G_{a2}^2 \cdot (0,5 - e)^3}{R_{ze}^3} - \frac{3,6 \cdot G_{a2} \cdot (e - 0,5)^2}{R_{ze}^2} + \frac{2,4 - 4,8 \cdot e}{R_{ze}} \right) \end{cases} \quad (8)$$

де  $G_{a1}$  та  $G_{a2}$  – відповідно, вага, яка припадає на передній і задній мости транспортного засобу, Н.

Одержані вирази (8) дають можливість знайти конкретне значення коефіцієнта  $q_{zi}$ , а отже, коефіцієнта опору бічному відведенню  $K_{\delta i}$  при заданих координатах центра мас машини в межах її бази та колії.

Графічне відображення залежностей (8) для шин розміром 235/60R16 зображене на рис. 2.

Аналіз одержаних графіків свідчить, що перерозподіл вертикальних навантажень між колесами моста, тобто наявність ексцентриситету центра мас відносно повздовжньої осі симетрії машини, може досить суттєво впливати на коефіцієнт опору бічному відведенню коліс. Так, при наявності ексцентриситету в межах 20 % від величини колії значення  $K_{\delta}$  може змінюватися в інтервалі 10 – 15 %, що, своєю чергою, може вплинути на подальший характер динаміки транспортного засобу.

Із врахуванням залежностей (8) для мостів формула для визначення критичної швидкості руху транспортного засобу  $V_{кр}$  [6] матиме вигляд

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{L^2 \cdot K_{\delta e1} \cdot q_{z1} \cdot K_{\delta e2} \cdot q_{z2} \cdot g}{K_{\delta e1} \cdot q_{z1} \cdot G_{a2} - K_{\delta e2} \cdot q_{z2} \cdot G_{a1}}}, \text{ м/с}, \quad (9)$$

де  $L$  – база транспортного засобу, м;  $K_{\delta e1}$ ,  $K_{\delta e2}$  – відповідно, екстремальні значення коефіцієнтів опору бічному відведенню шин переднього та заднього мостів, кН/рад;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

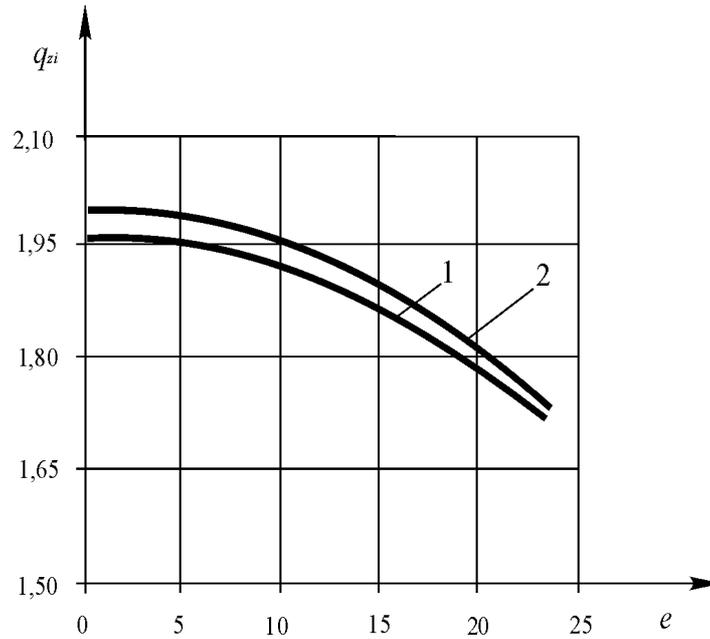


Рис. 2. Графіки залежностей коефіцієнтів корекції мостів  $q_{zi}$  від положення центра мас автомобіля в межах колії:  
1 – передній міст; 2 – задній міст

Запропонована формула (9) дає можливість дослідити вплив на значення критичної швидкості руху машини зміщення положення її центра мас відносно повздовжньої осі симетрії.

Проаналізуємо характер зміни критичної швидкості за допомогою графічних залежностей, зображених на рис. 3. Використаємо моделі транспортних засобів, характеристики яких наведені в таблиці. Величини коефіцієнтів опору бічному відведенню шин  $K_6$  приймали згідно з даними, наведеними в роботі [7].

### Характеристики транспортних засобів

Характеристика	Модель транспортного засобу			
	BMW-750i	ГАЗ-31029	ЗіЛ-431410	Автонавантажувач 41.088
1. Маса транспортного засобу (на передню вісь/на задню вісь), кг	2450 (1120/1330)	1790 (855/935)	10400 (2510/7890)	12245 (11005/1240)
2. База $L$ , мм	2930	2870	3800	2250
3. Колія (передніх /задніх) коліс, мм	1530	1496/1423	1800/1850	1480
4. Позначення шин	235/60R16	205/70R14	260R508	8.25–15
5. Коефіцієнт опору бічному відведенню шин $K_6$ , кН/рад	80,20	74,00	160,00	165,00

Аналізуючи отримані графіки, бачимо, що із збільшенням величини зміщення центра мас, критична швидкість транспортного засобу зменшується.

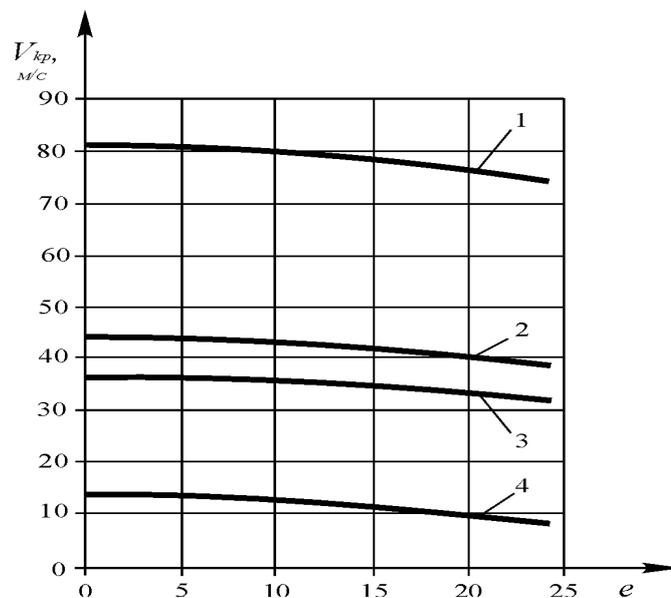


Рис. 3. Залежність критичної швидкості  $V_{кр}$  від величини зміщення центра мас  $e$  для машин моделей:

1 – BMW-750i; 2 – ГАЗ-31029; 3 – ЗіЛ-431410; 4 – автонавантажувач 41.088

Отже, в цій роботі, використовуючи теорію нелінійного відведення шини, проаналізовано вплив зміни вертикальних навантажень на коефіцієнт опору бічному відведенню шин. Виведено формули для визначення коефіцієнтів корекції відведення мостів  $q_{zi}$  залежно від величини ваги, яка припадає на них, та зміщення центра мас машин відносно повздовжньої осі симетрії. Досліджено вплив зміни положення центра мас на критичну швидкість з умови стійкості руху.

1. Подригало В.А., Карпенко М.А. Неравномерность вертикальных реакций на колёсах автомобиля и его устойчивость при торможении // Автомобильная промышленность. – 2001. – №2. – С. 19 – 21. 2. Мартынюк А.А., Лобас Л.Г., Никитина Н.В. Динамика и устойчивость движения колёсных транспортных машин. – К.: Техніка, 1981. – 223 с. 3. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с. 4. Антонов Д.А. Расчёт устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с. 5. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с. 6. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля. – М.: Машигиз, 1947. – 156 с. 7. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.