

## ВПЛИВ БОРТОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЛЬМІВНИХ СИЛ НА ВІДХИЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ

**М.А. Подригало, професор, д.т.н., А.І. Коробко, аспірант, ХНАДУ**

***Анотація.** Проведено дослідження впливу бортової нерівномірності гальмівних сил на величину кутової швидкості автомобіля у площині дороги та зміну курсового кута. Отримано аналітичну залежність допустимої бортової нерівномірності гальмівних сил від допустимої зміни курсового кута, лінійної швидкості, загальної маси, геометричних параметрів автомобіля та коефіцієнтів опору відхиленню передньої та задньої осей.*

***Ключові слова:** нерівномірність гальмівних сил, курсовий кут, кутова швидкість, кути уводу.*

### Вступ

Повертаючий момент, викликаний бортовою нерівномірністю гальмівних сил, призводить до бокового відхилення автомобіля навіть при незаблокованих колесах будь-якої осі. В даній статті проведено дослідження впливу бортової нерівномірності гальмівних сил на величину кутової швидкості автомобіля у площині дороги та зміну курсового кута. Отримано аналітичний вираз, що дозволяє визначити максимальну допустиму бортову нерівномірність гальмівних сил залежно від допустимої зміни курсового кута, лінійної швидкості, загальної маси, геометричних параметрів автомобіля і коефіцієнтів опору відхиленню передньої та задньої осей.

### Аналіз публікацій

Дослідження впливу бортової нерівномірності гальмівних сил на стійкість руху автомобіля розглянуто в роботі [1]. В цій роботі отримано умову для визначення допустимої нерівномірності гальмівних сил на колесах задньої осі (при заблокованих колесах передньої осі)

$$\Delta P_{T2} \leq 4m_a \phi g \cdot \frac{b^2 [\psi]}{BL \left( \beta_d - \phi \frac{h}{L} \right)} \times \frac{1}{\ln \left[ 1 + \frac{v_0^2}{\phi g L} \left( 1 - \frac{1}{\beta_d} \phi \frac{h}{L} \right) \right]}, \quad (1)$$

де  $m_a$  – загальна маса автомобіля;  $B, L$  – колія та база автомобіля;  $\phi$  – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $b$  – відстань від задньої осі автомобіля до проекції його центру мас на горизонтальну поверхню;  $h$  – висота центру мас автомобіля;  $v_0$  – початкова швидкість автомобіля при гальмуванні, м/с;  $[\psi]$  – допустиме значення курсового кута автомобіля в кінці гальмування, рад.;  $\beta_d$  – дійсний (з урахуванням нестабільності гальмівних моментів на колесах) коефіцієнт розподілу гальмівних сил на передню вісь

$$\beta_d = \frac{P_{T1}}{P_{T1} + P_{T2}}, \quad (2)$$

де  $P_{T1}, P_{T2}$  – гальмівні сили на колесах передньої та задньої осей.

В роботі [1] також показано, що при заблокованих задніх колесах нерівномірність гальмівних сил на передніх колесах не допустима, оскільки вона призводить до розвитку заносу. Аналогічний висновок раніше зробив проф. Іларіонов В.А. [2].

В роботах [1, 2], а також в роботах інших авторів вплив бортової нерівномірності гальмівних сил на стійкість руху автомобіля розглядалась при екстремних гальмуваннях, що супроводжувались блокуванням коліс. Однак не менш небезпечною є втрата стійкості ав-

томобіля при гальмуванні без блокування коліс при виникненні бокового уводу, викликаного бортовою нерівномірністю гальмівних сил. В цьому випадку запобігти боковому зміщенню автомобіля і зміні його курсового кута не зможе навіть антиблокувальна система.

### Мета та постановка задач

Метою дослідження є визначення гранично-допустимих значень різниці гальмівних сил на бортах автомобіля при гальмуванні без блокування коліс.

Для досягнення вказаної мети необхідно визначити залежність кутового відхилення повздовжньої осі автомобіля від різниці гальмівних сил на його бортах.

### Визначення кутового відхилення повздовжньої осі автомобіля

На рис. 1 показано схему сил, що діють на автомобіль при гальмуванні без блокування коліс та з бортовою нерівномірністю гальмівних сил.

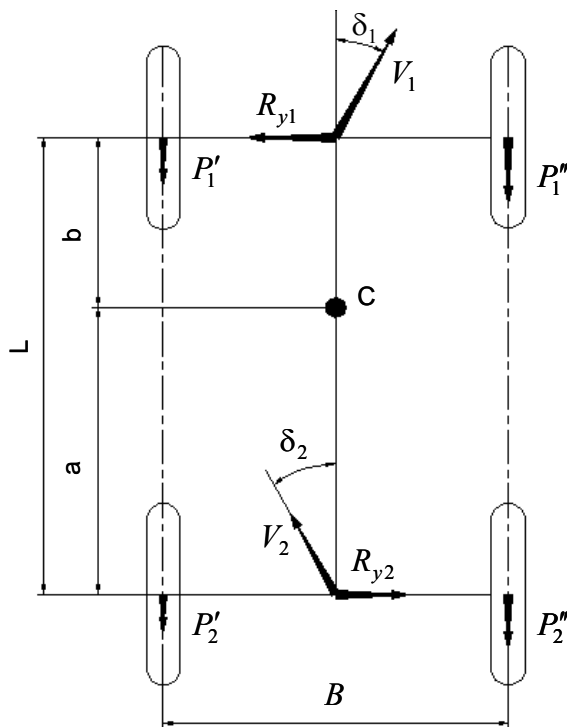


Рис. 1. Схема сил, що діють на автомобіль при гальмуванні без блокування коліс та з бортовою нерівномірністю

Найгіршим є випадок, при якому збурюючі моменти на передній і задній осях, викликані різницею гальмівних сил на колесах, направлені в один бік. Сумарний повертаючий (збурюючий) момент в цьому випадку

$$M_{зб} = M_{зб1} + M_{зб2} = \frac{B}{2}(\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}), \quad (3)$$

де  $\Delta P_{T1}$  і  $\Delta P_{T2}$  – різниці гальмівних сил на передній та задній осях

$$\Delta P_{T1} = P_{T1}'' - P_{T1}', \quad (4)$$

$$\Delta P_{T2} = P_{T2}'' - P_{T2}'. \quad (5)$$

Бокові реакції дороги на колесах передньої та задньої осей

$$R_{y1} = R_{y2} = R_y = \frac{M_{пов}}{L} = \frac{B}{2L}(\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}). \quad (6)$$

Кути уводу передньої та задньої осей

$$\delta_1 = -\frac{R_y}{K_{y1}}, \quad (7)$$

$$\delta_2 = -\frac{R_y}{K_{y2}}, \quad (8)$$

де  $K_{y1}$ ,  $K_{y2}$  – коефіцієнт опору уводу передньої та задньої осей.

Радіус повороту автомобіля, зумовленого уводом передніх і задніх коліс у протилежні сторони

$$R = \frac{L}{\delta_1 + \delta_2}. \quad (9)$$

Після підстановки виразів (7) і (8) в (9), з урахуванням (6), отримаємо

$$R = \frac{2 \cdot L^2}{B} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}}\right) \cdot (\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2})}. \quad (10)$$

Кутова швидкість повороту автомобіля

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{B}{2 \cdot L^2} \cdot v \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right) \times (\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}), \quad (11)$$

де  $v$  – поточне значення лінійної швидкості автомобіля.

Розділивши і помноживши праву частину на  $P_T$ , отримаємо

$$\omega = \frac{B}{2 \cdot L^2} \cdot v \cdot P_T \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right) \times \frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T}. \quad (12)$$

Вираз  $\frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T}$  являє собою відносну різницю гальмівних сил автомобіля.

Загальна гальмівна сила може бути визначена як

$$P_T = m_x m_a \phi g, \quad (13)$$

де  $m_x$  – тангенціальний коефіцієнт використання зчипної ваги [3].

Підставляючи (13) в (12), отримаємо

$$\omega = \frac{B}{2 \cdot L^2} \cdot v \cdot m_x m_a \phi g \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right) \times \frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T}. \quad (14)$$

Курсовий кут автомобіля в кінці гальмування

$$\psi = \int_0^T \omega_z \cdot dt = \frac{B}{2 \cdot L^2} \cdot m_x m_a \phi g \times \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right) \cdot \frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T} \int_0^T v dt, \quad (15)$$

де  $T$  – час гальмування,

$$T = \frac{v_0}{m_x \phi g}. \quad (16)$$

Якщо припустити, що гальмування відбувається за постійного сповільнення [3]

$$j_{\text{уст}} = m_x \phi g, \quad (17)$$

то лінійну швидкість  $v$  можна визначити як

$$v = v_0 - m_x \phi g t. \quad (18)$$

Підставляючи (18) в (15), отримаємо після інтегрування

$$\psi = \frac{B}{4 \cdot L^2} \cdot m_a \cdot v_0^2 \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right) \times \frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T}. \quad (19)$$

Якщо курсовий кут автомобіля в кінці гальмування обмежується допустимою величиною  $[\psi]$ , то обмеження відносної різниці гальмівних сил на бортах із рівняння (19) можна визначити як

$$\frac{\Delta P_{T1} + \Delta P_{T2}}{P_T} \leq \frac{4L^2}{B} \cdot \frac{[\psi]}{m_a \cdot v_0^2 \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right)}. \quad (20)$$

За припущення, що допустима різниця гальмівних сил на окремих осях є пропорційною загальній гальмівній силі на кожній осі, отримаємо

$$\frac{\Delta P_{T2}}{\Delta P_{T1}} = \frac{1 - \beta_\delta}{\beta_\delta}. \quad (21)$$

Звідси маємо

$$\Delta P_{T2} = \Delta P_{T1} \frac{1 - \beta_\delta}{\beta_\delta}. \quad (22)$$

Підставляючи (22) в нерівність (20), отримаємо

$$\frac{\Delta P_{T1}}{P_T} \leq \frac{4L^2}{B} \cdot \frac{\beta_\delta [\psi]}{m_a \cdot v_0^2 \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right)}. \quad (23)$$

Або з урахуванням (21), отримаємо

$$\frac{\Delta P_{T1}}{P_T} \leq \frac{4L^2}{B} \cdot \frac{(1 - \beta_\delta) [\psi]}{m_a \cdot v_0^2 \cdot \left( \frac{1}{K_{y1}} + \frac{1}{K_{y2}} \right)}. \quad (24)$$

### **Висновки**

Отримані залежності дозволяють визначати допустиме значення різниці гальмівних сил на бортах і колесах окремих осей при гальмуванні без блокування коліс і обмежене відхиленням курсового кута автомобіля в кінці гальмування.

### **Література**

1. Устойчивость колёсных машин при заносе и способы её повышения / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.Ю. Степанов, М.В. Доброгорский / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – 335 с.
2. Иларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
3. Подригало М.А., Волков В.П. Кирчатый В.И. Устойчивость колёсных машин при торможении. – Харьков: ХГАДТУ, 1999. – 93 с.

Рецензент: О.С. Полянський, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 20 березня 2009 р.