

УДК 629.017

В. В. Глущенко

ВПЛИВ НЕСИМЕТРИЧНОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ВАНТАЖУ В КУЗОВІ НА ЧАСТОТУ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ АВТОМОБІЛЯ В ПЛОЩИНІ ДОРОГИ

Оцінено вплив зміщення центра мас відносно поздовжньої осі на частоту власних коливань автомобіля в площині дороги. Отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити частоту власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги за наявності бокового зміщення його центра мас відносно поздовжньої осі симетрії.

К л ю ч о в і с л о в а : зсув центра мас відносно поздовжньої осі, власна частота коливань у площині дороги.

Постановка проблеми. У разі збігу частоти власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги з частотою збудовуючих впливів виникає резонанс, що призводить до втрати стійкості і керованості машини. Зміщення центра мас відносно поздовжньої осі симетрії автомобіля, що відбувається в поперечній площині, спричинює зниження частоти власних (вільних) коливань. У статті визначено гранично допустиме за умовою збереження стійкості і керованості зміщення центра мас відносно поздовжньої осі автомобіля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше запропоновано використовувати частоту власних (вільних) коливань в площині дороги як критерій стійкості і керованості автомобіля у працях [1–3]. Отримано аналітичний вираз для обчислення зазначеного показника, що має такий вигляд:

$$v_{\text{власн}} = \frac{L}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{y1}/m_a}{\left(1 + \frac{C_{y1}}{C_{y2}}\right) \left[i_z^2 + a^2 \left(\frac{C_{y1} - b}{C_{y2} a} \right)^2 \right]}}, \quad (1)$$

де L – поздовжня колісна база автомобіля; a, b – відстані від передньої і задньої осей до проекції центра мас автомобіля на горизонтальну площину, що проходить через зазначені осі; C_{y1}, C_{y2} – сумарні бічні жорсткості шин передніх і задніх коліс автомобіля відповідно; m_a – загальна маса автомобіля; i_z – радіус інерції автомобіля відносно вертикальної осі.

При оцінюванні стійкості і керованості автомобіля власну частоту коливань $v_{\text{власн}}$ порівнювали з частотою збудовуючих коливань $v_{\text{збур}}$, що створює водій шляхом впливу на кермове керування. У праці [4] наведені результати експериментальних досліджень керованості автомобілів, які показують, що частота синусоїдальної кривої, яка використовувалась для здійснення маневру по траєкторії за рахунок відповідного повороту кермового колеса, становить 0,7 Гц. Така частота є причиною того, що час від завершення першого повороту кермового колеса (перший пік) до завершення повороту у зворотному напрямку (другий пік) становить приблизно 714 мс, незалежно від заданої величини кута повороту кермового колеса [4]. Ці результати отримані у праці [4] на підставі численних досліджень верхньої межі здатності людини виконувати поворот при маневрах з подвійним переходом з однієї смуги на іншу. Результати зазначених досліджень використані в міжнародному стандарті [5] для визначення умов проведення випробувань автомобілів на стійкість.

У публікаціях [1–3] для оцінювання стійкості і керованості прийняте максимальне значення частоти збудовуючих впливів $v_{\text{збур}} = 0,7$ Гц. При цьому частота власних коливань повинна перевищувати зазначену частоту за будь-якого поєднання конструктивних параметрів автомобіля та експлуатаційних умов. Однак у зазначених працях не розглянуто вплив зсуву центра мас автомобіля відносно поздовжньої осі на зниження частоти його власних коливань в площині дороги та на стійкість і керованість машини.

Мета статті – обґрунтувати забезпечення стійкості і керованості автомобіля шляхом обмеження асиметрії розташування вантажу в кузові.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити залежність частоти власних коливань в площині дороги від величини зміщення центра мас відносно поздовжньої осі автомобіля.

Виклад основного матеріалу. Для визначення частоти власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги скористаємося методикою, запропонованою у працях [1–3]. На рис. 1 наведена схема навантаження автомобіля поворотним моментом за наявності бокового зміщення центра мас відносно поздовжньої осі.

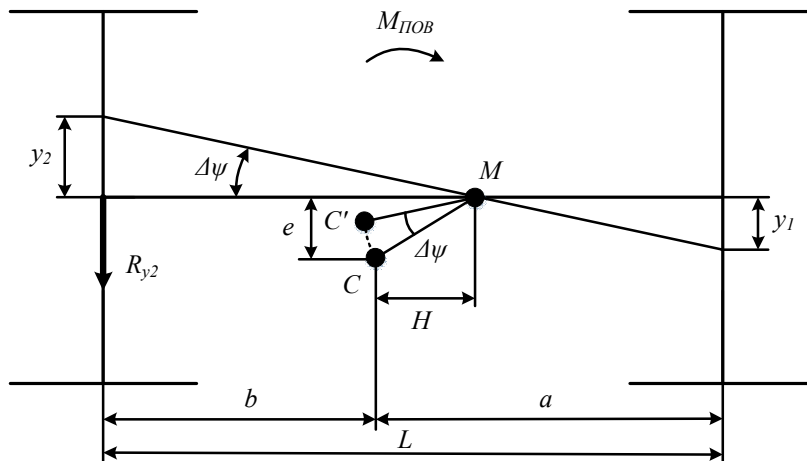


Рис. 1. Схема навантаження автомобіля поворотним моментом за наявності бокового зміщення центра мас на величину e :

C, C' – положення центра мас автомобіля при $M_{пов} = 0$ та $M_{пов} \neq 0$ відповідно; M – центр пружності автомобіля в площині дороги; R_{y1}, R_{y2} – сумарні бічні реакції дороги на передні та задні колеса; L – колісна база автомобіля; $\Delta\Psi$ – кут повороту поздовжньої осі; H – відстань від центра мас до центра пружності

Зі схеми на рис. 1 визначимо, використовуючи вирази, наведені у працях [1–3], кут повороту поздовжньої осі автомобіля під дією поворотного моменту $M_{пов}$:

$$\Delta\Psi = \frac{y_2}{b+H} = \frac{y_1}{a-H}, \quad (2)$$

де y_1 та y_2 – бічні деформації шин передніх і задніх коліс під дією бічних реакцій дороги R_{y1} та R_{y2} .

$$y_1 = \frac{R_{y1}}{C_{y1}}; \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{R_{y2}}{C_{y2}}. \quad (4)$$

Вираз (2) з урахуванням формул (3) і (4) [1–3] набиратиме такого вигляду:

$$\Delta\Psi = \frac{R_{y2}}{C_{y2} \cdot (b+H)} = \frac{R_{y1}}{C_{y1} \cdot (a-H)}. \quad (5)$$

Сумарні бічні реакції дороги на передні і задні колеса [1–3]:

$$R_{y1} = R_{y2} = R_y = \frac{M_{пов}}{L}. \quad (6)$$

Підставляючи формулу (6) у вираз (5), остаточно отримаємо:

$$\Delta\Psi = \frac{M_{пов}}{L \cdot C_{y2} \cdot (b+H)} = \frac{M_{пов}}{L \cdot C_{y1} \cdot (a-H)}. \quad (7)$$

Кутова жорсткість автомобіля $C_{кут}$ у площині дороги визначається за виразом

$$C_{кут} = \frac{M_{пов}}{\Delta\Psi} = L \cdot C_{y2} \cdot (b+H) = L \cdot C_{y1} \cdot (a-H). \quad (8)$$

За даними, наведеними у працях [1–3], координату центра пружності H визначають за виразом

$$H = \frac{a \cdot C_{y1} - b \cdot C_{y2}}{C_{y1} + C_{y2}} \quad (9)$$

Момент інерції автомобіля I_{ZM} відносно вертикальної осі, що проходить через центр його пружності M , визначаємо за формулою

$$I_{ZM} = I_{ZC} + m_a \cdot (H^2 + e^2) = m_a \cdot (i_z^2 + H^2 + e^2), \quad (10)$$

де I_{ZC} – момент інерції автомобіля, що проходить через центр мас.

Частота власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги може бути визначена як

$$\nu_{\text{власн}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_{\text{кут}}}{I_{ZM}}} \quad (11)$$

Після підставлення рівнянь (8) і (10) у вираз (11) отримуємо:

$$\nu_{\text{власн}} = \frac{L}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{y1} / m_a}{\left(1 + \frac{C_{y1}}{C_{y2}}\right) \left[i_z^2 + e^2 + a^2 \frac{\left(\frac{C_{y1} - b}{C_{y2} a}\right)^2}{1 + \frac{C_{y1}}{C_{y2}}} \right]}} \quad (12)$$

Аналіз рівняння (12) показує, що із збільшенням зміщення центра мас відносно поздовжньої осі автомобіля e відбуваються зменшення частоти власних коливань в площині дороги і збільшення небезпеки виникнення резонансу. Максимальне значення e визначимо з виразу (12) за умови, що значення $\nu_{\text{власн}}$ не зменшиться до величини 0,7 Гц, яке дорівнює максимальному значенню частоти збурюючих впливів $\nu_{\text{збур}}^{\text{max}} = 0,7$ Гц.

Таким чином, отримуємо:

$$\frac{e}{L} < 0,227 \cdot \sqrt{\frac{\frac{C_{y1}}{m_a}}{\left(1 + \frac{C_{y1}}{C_{y2}}\right)} - 19,34 \cdot \frac{i_z^2}{L^2} + \frac{a^2}{L^2} \cdot \frac{\left(\frac{C_{y1} - b}{C_{y2} a}\right)^2}{1 + \frac{C_{y1}}{C_{y2}}}} \quad (13)$$

На рис. 2 представлений графік залежності максимального зміщення центра мас відносно поздовжньої осі від сумарної бічної жорсткості шин передніх коліс автомобіля Урал-4320. Для цього прикладу $m_a = 13\,025$ кг, $a = 2,97$ м, $b = 1,23$ м, $L = 4,2$ м, $i_z = 1,47$ м (умовно припускаємо, що вага та колісна база 2 і 3-осового автомобілів однакові).

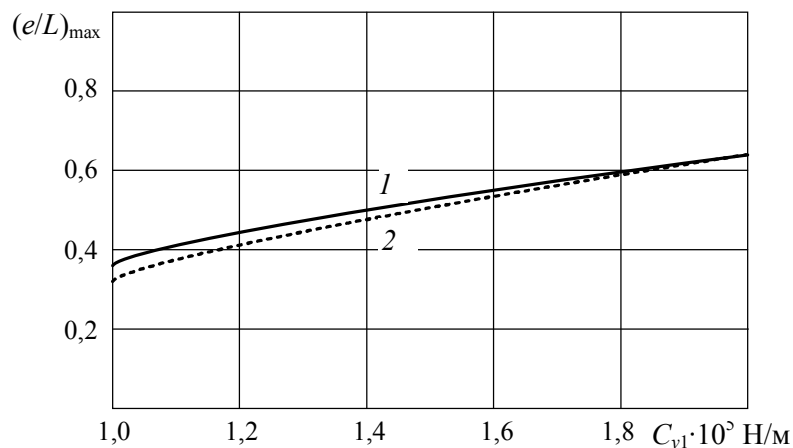


Рис. 2. Залежність максимального бічного зміщення центра мас автомобіля Урал-4320 відносно поздовжньої осі від сумарної бічної жорсткості шин передніх коліс:
1 – автомобіль у триосовому виконанні; 2 – автомобіль у двоосовому виконанні

Розглянемо 2 і 3-осьовий автомобілі у повністю навантаженому стані. Для триосьового виконання $C_{y_1} / C_{y_2} = 0,5$, для двоосьового – $C_{y_1} / C_{y_2} = 1$. Аналіз графіків, представлених на рис. 2, показує, що зі збільшенням C_{y_1} відбувається збільшення допустимого бокового зміщення центра мас автомобіля, за умови $v_{\text{власн}} > 0,7$ Гц. З рис. 2 також видно, що зона допустимих значень бокового зміщення центра мас триосьового автомобіля дещо більше, ніж двоосьового.

Висновки

1. Зміщення центра мас автомобіля в поперечній площині відносно поздовжньої осі, спричинене несиметричністю розташування вантажу в кузові, призводить до зниження частоти власних (вільних) коливань машини в площині дороги і погіршення її стійкості та керованості.
2. Отримані аналітичні вирази дозволяють визначити частоту власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги за наявності бокового зміщення його центра мас відносно поздовжньої осі симетрії.
3. За умови недопущення зниження частоти власних (вільних) коливань автомобіля в площині дороги нижче рівня 0,7 Гц (точка можливого резонансу), визначена зона допустимих значень бокового зміщення центра мас відносно поздовжньої осі машини.

Список використаних джерел

1. Подригало, М. А. Обеспечение управляемости и устойчивости автомобилей при установившемся движении [Текст] / М. А. Подригало, Д. М. Клец, В. И. Гацько // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – Х. : Изд-во ХНАДУ, 2013. – Вып. 60. – С. 42–48.
2. Подригало, М. А. Оценка устойчивости и управляемости автомобиля по собственной частоте его колебаний в плоскости дороги [Текст] / М. А. Подригало, Д. М. Клец, В. И. Гацько // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 5. – С. 29–33.
3. Подригало, М. А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов [Текст] : монография / М. А. Подригало. – Х. : Акад. ВВ МВД Украины, 2013. – 222 с.
4. Forkenbrock, Garrick I., Elsasser D., An Assessment of Human Driver Steering Capability, NHTSA Technical Report, DOT HS 809875, October 2005. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/vrtc/ca/capubs/HTSA-forken-brock_driver_steeringcapabilityrpt.pdf. – Назва з екрана.
5. Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/ Add.8 – [Введены в Глобальный регистр. 2008-06-26]. – Женева : Глобальный регистр. Организация объединённых наций, 2008. – 116 с.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2015 р.