

УДК 629.017

О.Л. Ляшук, д-р. техн. наук, Р.В. Хорошун, Пиндус Ю.І. канд. техн. наук,
Пиндус Т.Б.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДИНАМІКИ ПІДРЕСОРЕНОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЇХ КЕРОВАНІСТЬ

О

. DYNAMIC PART OF WHEELED VEHICLES ON THEIR STEERABILITY

Л Однією із експлуатаційних характеристик колісних транспортних засобів (КТЗ) є керованість [1-2]. Вона характеризує здатність змінювати напрям руху автомобіля і утримувати заданий напрям руху за рахунок дії водія на кермове колесо, що в кінцевому випадку приводить до зміни кута між вектором швидкості руху КТЗ і площиною кермованих коліс. Керованість автомобіля залежить як від зовнішніх, так і внутрішніх чинників, які є в певній мірі взаємопов'язаними.

к Питання керованості слід розглядати у комплексі із урахуванням динаміки ПЧ. Питання впливу динаміки відносного та переносного рухів ПЧ КТЗ на величину динамічної сили тиску кермованих коліс, а значить моменту опору повороту шини (керованості КТЗ) дозволить аналітично оцінити стійкість до руху транспортного засобу для опису деяких якісних особливостей поведінки автомобіля [3-4].

Для плоскої розрахункової моделі КТЗ, яка представлена на рис. 1. необхідно визначити динамічну силу тиску кермованих коліс на опорну поверхню (дорогу) у залежності від основних внутрішніх чинників системи не підресорена-підресорена частини. Саме динамічна сила тиску відіграє домінуючу роль у визначенні моменту опору повороту шин. Система підвіски характеризується пружними силами та силами опору, які описуються залежностями [6-7] $F_{i\delta} = \tilde{n}_3 \Delta_3^{v+1}$, $R_{ii} = \alpha_3 \Delta_3^{v+1}$, де c_i, α_3, s - сталі, Δ_3 та s_{i3} відповідно деформація пружних амортизаторів та її швидкість ($i=1$ - для передньої підвіски та $i=2$ - для задньої підвіски); максимальне значення пружної сили СП під час уздовжньо-кутових коливань ПЧ є значно більшою величиною від максимального значення сили опору демпферних пристроїв; цент ваги ПЧ по відношенню до бази автомобіля визначається параметрами a, b, c (див.рис.1).

У

.

Р

у

п

н

д

у

с

,

ПЧ в процесі руху здійснює малі коливання навколо центру мас (O) і її відносне положення однозначно визначається параметром φ (відносним кутом повороту навколо

казаного центру по відношенню до рівноважного положення); пружними властивостями коліс можна знехтувати або $F_{i\delta} = \tilde{n}_3 \Delta_3^{v+1}$ можна вважати рівнодійною силою сили пружності амортизаторів та пружної сили коліс.

Для механічної системи не підресорена - підресорена частина (ПЧ) які впливають із принципу Д'Аламбера [5] із них впливає

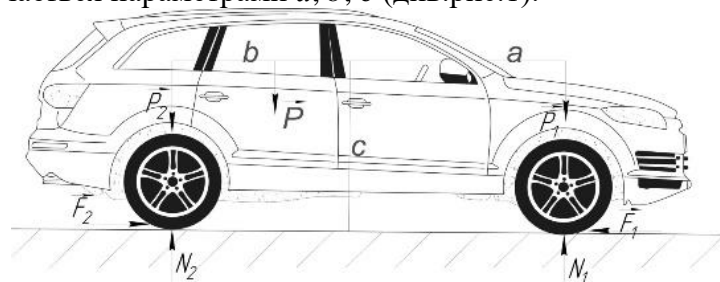


Рис 1. Розрахункова модель та розподіл зовнішніх сил, які діють на КТЗ.

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P - N_1 - N_2 = 0, F_2 - F_{\text{іо.}} = 0, \\ (N_2 - P_2)(a + b) - Pa + M_A^0 = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де P, P_1, P_2 - відповідно вага ПЧ, заднього (привідного) та переднього мостів, $F_2, F_{\text{іпр}}$ - рушійна та сила опору, N_1, N_2 - нормальні складові реакцій дороги і $\dot{\varphi}$ - момент сил інерції ПЧ відносно точки контакту (дотику) керованого колеса та дорожнього покриття (т. А) Система алгебраїчних рівнянь (1) визначає невідомі реакції

$$N_1 = P_1 + P - \frac{Pa - M_A^0}{a + b}, N_2 = P_2 + \frac{Pa - M_A^0}{a + b}, F_2 = F_{\text{іо.}} \quad (2)$$

Базою для його визначення може служити диференціальне рівняння відносних поздовжньо - кутових коливань ПЧ

$$I_o \ddot{\varphi} = -a(F_{\text{іпр.}} + R_{\text{іон.}}) - b(F_{\text{2пр.}} + R_{\text{іон.}}) \quad (3)$$

де I_o - момент інерції ПЧ відносно горизонтальної осі, яка проходить через центр ваги її і перпендикулярна до вектора швидкості переносного руху КТЗ, тобто,

$I_o = P/(3g)(a^2 + b^2 + c^2/4)$, $\varphi(t)$ - відхилення в довільний момент часу від рівноважного положення ПЧ. Як наголошувалось вище, метою роботи є дослідити вплив поздовжньо – кутових коливань на керованість КТЗ. У випадку вказаних коливань ПЧ з точністю до величин другого порядку малини пружні сили можна записати у вигляді

$$F_{\text{іпр.}} = c_1(\varphi a - \Delta_{\text{ст.}})^{\nu+1}, F_{\text{2пр.}} = c_2(\varphi b + \Delta_{\text{ст.}})^{\nu+1} \quad (4)$$

де $\Delta_{\text{ст.}}$ - статична деформація пружних елементів. Це дозволяє диференціальне рівняння (4) записати у вигляді

$$I_o \ddot{\varphi} + (c_1 a^{\nu+2} + c_2 b^{\nu+2}) \varphi^{\nu+1} = (\nu+1) \Delta_{\text{ст.}} (c_1 a^{\nu+1} - c_2 b^{\nu+1}) \varphi^{\nu} - [\alpha_1 a^{s+2} + \alpha_2 b^{s+2}] \dot{\varphi}^{s+1} \quad (5)$$

Ефективність їх використання у значній мірі залежить від можливості побудови розв'язку незбуреного аналогу рівняння (5), тобто рівняння

$$I_o \ddot{\varphi}_0 + (c_1 a^{\nu+2} + c_2 b^{\nu+2}) \varphi_0^{\nu+1} = 0 \quad (6)$$

Рівняння (6) та рівняння (5) будуть описувати коливальний процес ПЧ, якщо параметр $\nu+1$ у них визначається співвідношенням $\nu+1 = (2m+1)/(2n+1)$. ($m, n = 0, 1, 2, \dots$). До того ж, періодичний розв'язок рівняння (6) у вказаному випадку виражається через періодичні Атеб-функції у вигляді [7]

$$\varphi_0(t) = a_{\varphi} \text{ca}(\nu+1, 1, \omega(a_{\varphi})t + \theta) \quad (7)$$

де a_{φ} , $\omega(a_{\varphi}) = \sqrt{(c_1 a^{\nu+2} + c_2 b^{\nu+2})(\nu+2)/(2I_o) a_{\varphi}^2}$ - відповідно амплітуда та частота власних поздовжньо-кутових коливань ПЧ, $\omega(a_{\varphi})t + \theta$ - фаза. Часту власних коливань можна замінити більш зручною залежністю виходячи із наступних міркувань: якщо параметри “жорсткості” пружних амортизаторів СП КТЗ c_1, c_2 зв'язані співвідношенням $c_2 = \kappa c_1$ (κ - відома стала), то більш доцільно використати поняття статичної деформації пружних амортизаторів - $\Delta_{\text{ст.}}$. В такому разі $c_1 = P/((1+\kappa)\Delta_{\text{ст.}}^{\nu+1})$, а частота власних коливань приймає значення

$$\omega(a_{\varphi}) = \sqrt{P(a^{\nu+2} + \kappa b^{\nu+2})(\nu+2)/(2(1+\kappa)I_o \Delta_{\text{ст.}}^{\nu+1})} a_{\varphi}^{\frac{\nu}{2}} \quad (8)$$

Представлені співвідношення та побудовані на їх базі графічні залежності показують одну із принципів різниць коливань ПЧ КТЗ із нелінійною характеристикою СП у порівнянні із лінійним її аналогом – частота власних коливань

ПЧ КТЗ залежить від амплітуди, до того ж, для СП із прогресивною характеристикою пружних амортизаторів більшим значенням амплітуди поздовжньо-кутових коливань відповідає більше значення власної частоти, для регресивної – навпаки: більшим значенням амплітуди відповідає менше значення власної частоти. На рис.2 за різних значень силових характеристик СП подано залежність власної частоти коливань від амплітуди за таких значень параметрів $P = 10^5 \text{ Н}$, $P_1 = 10^4 \text{ Н}$, $a = c = 1 \text{ м}$, $b = 1,1 \text{ м}$, $\kappa = 1,2$.

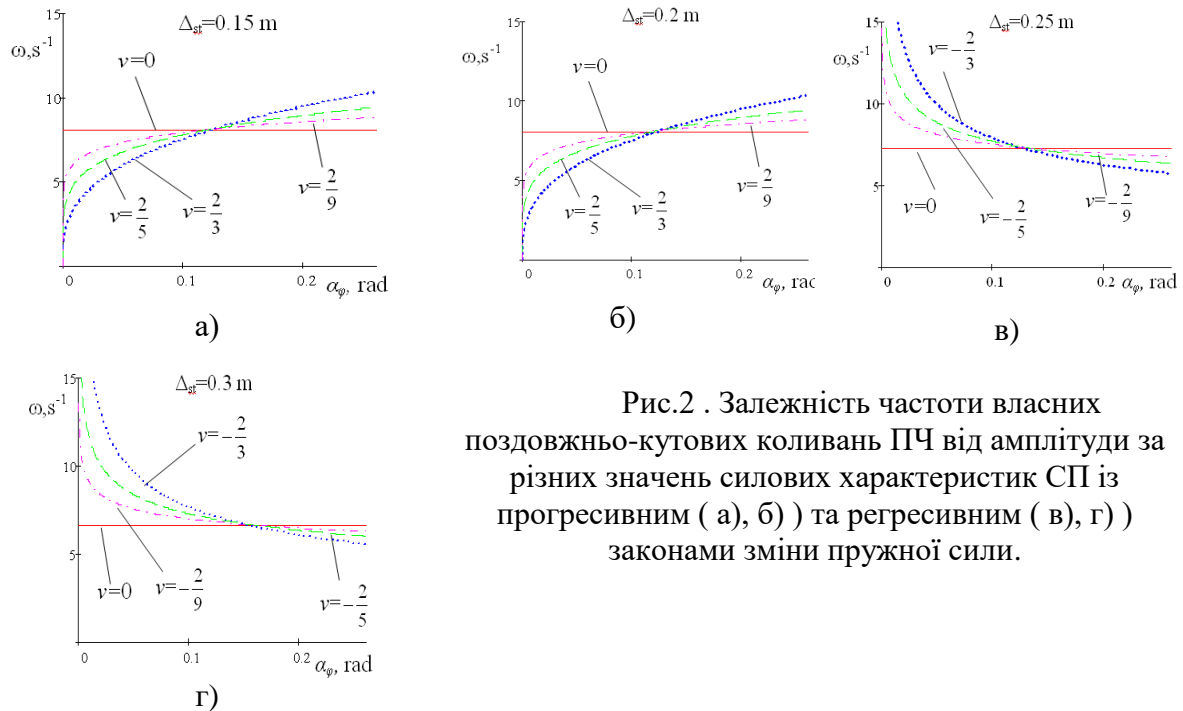


Рис.2 . Залежність частоти власних поздовжньо-кутових коливань ПЧ від амплітуди за різних значень силових характеристик СП із прогресивним (а, б) та регресивним (в, г) законами зміни пружної сили.

Література

1. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Арістей, 2010. –155 с.
2. Грубель М.Г. Вплив відновлювальної сили пружної підвіски на коливання та стійкість руху колісних транспортних засобів/ М.Г. Грубель, Р.А. Нанівський, М.Б. Сокіл. // Перспективи розвитку озброєння і військової техніки СВ: тези доповідей Міжнародної НТК. – Львів: АСВ, 2014. – С. 35.
3. Sokil B, Lyashuk O, Sokil M, Popovich P, Vovk Y, Perenchuk O. Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2018;15(1): 4880-4892.
4. Кузьо І.В. Вплив параметрів підвіски на нелінійні коливання транспортних засобів / І.В. Кузьо, Б.І. Сокіл, В.М. Палюх // Вісник НУ “ЛП” “Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”. – 2007. №588 – С. 49-52.
5. Коул Дж. Методы возмущений в прикладной математике / Джулиан Коул ; [пер. с англ. А. И. Державиной и В. Н. Диесперова, под ред. О. С. Рыжова]. // – М. : Мир, 1972. – 276 с.
6. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974 – 504 с.
7. Сенік П. М. Обернення неповної Beta-функції / П.М. Сенік // Укр. мат. журн. – К., 1969. – 21, № 3. – С. 325-333.