

# ВІСНИК

ЦЕНТРАЛЬНОГО НАУКОВОГО ЦЕНТРУ  
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

З'2000



УДК 531.8+ 629.113.004.58

## ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЖОРСТКІСНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ЕЛАСТИЧНОЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ ДОРОЖНЬОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Канд. техн. наук, доц. МАКАРОВ В.А., канд. фіз.-мат. наук, доц. ХРЕБЕТ В.Г., асист. ДУГЕЛЬНИЙ В.П.

Керованість та стійкість руху дорожнього транспортного засобу (ДТЗ) багато в чому визначаються бічними силами в контактах шин з опорною поверхнею. До основних причин, що викликають ці бічні сили, у першу чергу, відносять: характеристики доріг, кути встановлення коліс, технічний стан шин тощо. Важливою характеристикою, що визначає технічний стан шини, є її жорсткісна неоднорідність, яка істотно впливає на характер кочення еластичного колеса, що, з одного боку, безпосередньо пов'язано з безпекою руху, з іншого - представляє самостійний теоретичний інтерес для дослідження. Жорсткісна неоднорідність шини може бути спеціально передбачена самою конструкцією [1,2], а може бути зумовлена недосконаліостями, отриманими при виробництві й експлуатації виробів (конусність, нерівномірне зношення тощо), тобто її вплив на стійкість автомобіля може розглядатися як у позитивному, так і негативному аспектах. У будь-якому випадку, за наявності такої жорсткісної неоднорідності шини по її профілю, бічна сила в контакті протектора виникає навіть при перпендикулярності площини обертання колеса до його опорної поверхні і відсутності всіх інших причин, зазначених вище.

У роботі пропонується жорсткісну неоднорідність шини враховувати як параметр, що відповідає деякому куту розвалу колеса ДТЗ.

Розглянемо модель автомобіля із закріпленим рульовим керуванням (рис. 1), взаємодія якого з опорною площиною описується відомою аксіоматикою [3]. Передні колеса повертаються

ся щодо корпусу на кут  $\theta$

Зневажаючи перерозподіл нормальних реакцій між колесами однієї осі, замінимо їх одним приведеним колесом на середині осі [4]. Сили бокового відведення  $Y_i = Y_i(\delta_i)$  - являють собою сумарну бічну реакцію кожної осі і є емпіричними функціями кутів бічного відведення  $\delta_i$ . Рівняння руху аналізованої моделі в проекціях на осі системи координат  $X_0, Y_0$  незмінно пов'язаною з нею і, з урахуванням несиметричності шин, викликані жорсткісною неоднорідністю, мають вигляд:

$$\begin{cases} m(\ddot{u} + \omega \dot{v}) = (Y_1 + \alpha_1) \cos \theta + Y_2 + \alpha_2, \\ I \ddot{\omega} = a(Y_1 + \alpha_1) \cos \theta - b(Y_2 + \alpha_2), \end{cases} \quad (1)$$

де:

$m$  - маса ДТЗ;

$v$  і  $u$  - подовжня і поперечна складові швидкості центру мас;

$I$  - момент інерції щодо вертикальної осі, що проходить через точку С;

$\omega$  - кутова швидкість;

$a$  і  $b$  - відстань від центра мас до передньої і задньої осей відповідно;

$\alpha_1$  і  $\alpha_2$  - додатки, обумовлені жорсткісною неоднорідністю шин.

Проаналізуємо можливі стаціонарні стани системи при різноманітних значеннях параметрів  $v$  і  $\theta$ . Множина стаціонарних станів задається системою нелінійних кінцевих рівнянь, структуру яких визначають нелінійні залежності  $Y_i = Y_i(\delta_i)$ . При цьому точкам площини керування  $v$  і  $\theta$  можуть відповідати декілька стаціонарних станів  $u$  і  $\omega$ , яким у площині дороги відповідають кругові рухи автомобіля різноманітного радіуса. Значенням біфуркаційних параметрів  $v$  і  $\theta$  будуть відповідати кратні стаціонарні рішення вихідної системи.

Переходячи до безрозмірних залежностей  $\bar{Y}_i$  з урахуванням умов стаціонарності  $\dot{u} = 0, \dot{\omega} = 0$ , одержимо:

$$\begin{cases} \frac{v\omega}{g} = \bar{Y}_1 \frac{b}{l} + \bar{Y}_2 \frac{a}{l} + Q, \\ \bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 - M, \end{cases} \quad (2)$$

де  $l = a + b$ , а додатки  $Q = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{mg}$  і  $M = \frac{\alpha_1 a + \alpha_2 b}{mgab}$  - розглядаються як безрозмірна бічна сила і деякий момент щодо вертикальної осі, що проходить через центр мас, обумовлені жорсткісною неоднорідністю шини.

Прямий шлях побудови біфуркаційної множини базується на тому, що біфуркаційна крива є геометричним місцем точок простору параметрів, у яких є кратні стаціонарні рішення. Його побудова зводиться до кривої, яка визначає собою множину

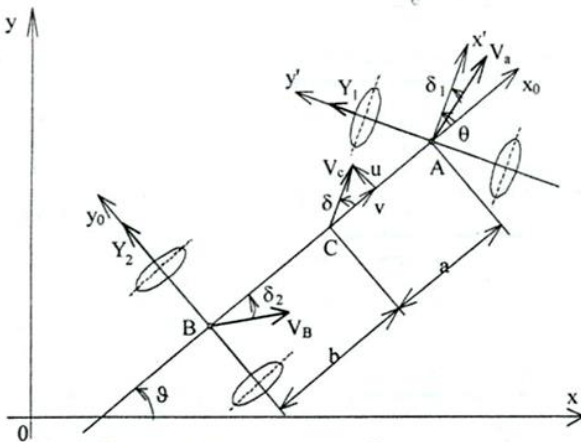


Рис.1. Розрахункова схема автомобіля

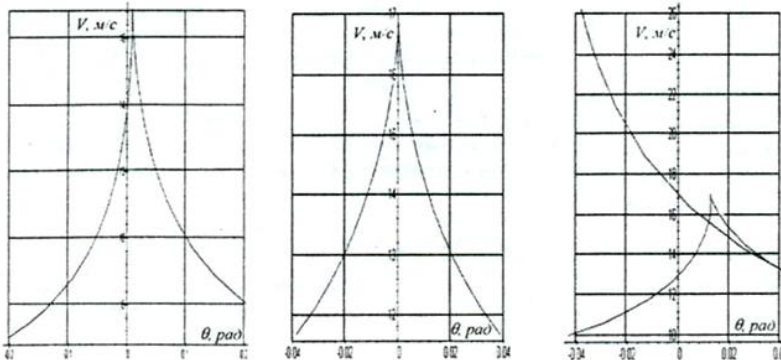


Рис. 2 Біфуркаційні множини, що відповідають різним жорсткісним неоднорідностям

стаціонарних станів. Приймаючи до уваги [5], перейдемо до визначального рівняння від однієї змінної:

$$\frac{v^2}{gl} (\theta + \delta_2 - \delta_1) = \bar{Y} (\delta_2 - \delta_1) + M \frac{a}{l} + Q \quad (3)$$

При переході до цього рівняння використовувалися такі передумови, що спрощують:

$$\cos \theta \approx 1, \omega \approx \frac{v}{l} (\theta + \delta_2 - \delta_1) \quad (4)$$

Стаціонарним рішенням відповідають точки перетину прямої з кутовим коефіцієнтом  $\frac{v^2}{gl}$  і нерухою кривою  $\bar{Y}(\delta_2 - \delta_1)$  [5], для визначення параметрів якої необхідний перехід від залежностей  $Y_i = Y_i(\delta_i)$  до обер-

нених залежностей  $\delta = \delta(Y_1)$ . Тоді  $\delta, -\delta = G(Y_1)$  і параметричні рівняння біфуркаційної множини будуть мати вигляд:

$$\theta = (Y_1 + Ma^{-1} + Q)G_1(Y_1) - G_1(Y_1), \quad (5)$$

$$v = \sqrt{\frac{gl}{G'(Y_1)}}. \quad (6)$$

На рис. 2 подані біфуркаційні множини, що відповідають різноманітним жорсткісним неоднорідностям: 2а) - ідеальні шини, 2б) - шини з жорсткісною неоднорідністю за профілем (2б) відповідає жорсткісній неоднорідності однієї спрямованості, наприклад, односторонньому зносу, 2в) - різноманітним спрямованостям).

В ідеальному випадку множина керуючих параметрів, за яких реалізуються стійкі стаціонарні режими, симетричні щодо кута керування  $\theta$ . Значенню  $\theta=0$  відповідає прямолінійний рух, стійкий в діапазоні швидкостей  $v < v_{кр}$ , де  $k_1$  - безрозмірний коефіцієнт відведення  $k_1 = k_1 \cdot G_1^{-1}$ .

Цій точці відповідає точка повернення біфуркаційної множини ( $v \approx 16$  м/с). Будь-якій точці на межі області відповідає втрата стійкості кругового режиму. За межами області стійкості стаціонарних режимів не існує. На рис. 2а подано випадок, якому відповідає наявність сили і несуттєвого моменту. При цьому біфуркаційна множина втрачає симетричність щодо реалізації прямолінійного руху. Необхідно коригування за кутом  $q$ , причому поворот в одну сторону може відповідати сталому повороту автомобіля як вправо, так і вліво. За відсутності необхідного коригування ( $\theta = 0$ ) автомобіль буде рухатися круговою траєкторією при швидкості  $v < 14$  м/с. Рис. 2б відповідає випадку  $M \neq 0$ , при цьому структура біфуркаційної множини істотно змінюється. Виникає область, у якій відсутній стійкий стаціонарний стан в інтервалі швидкостей від 13 до 17 м/с. При зна-

ченнях  $\theta \leq 0,05$  повороти рульового колеса вліво або вправо призводять до втрати стійкості автомобіля в цій області. Аналіз зазначених ситуацій призводить до висновку щодо необхідності враховування жорсткісної неоднорідності еластичних пневматичних шин у математичних моделях, що застосовуються для оцінки стійкості руху ДТЗ. Розробка таких моделей дозволить при конструюванні шин рекомендувати раціональну жорсткісну неоднорідність нових шин, в залежності від характеру їх експлуатації, прогнозувати стійкість руху ДТЗ, а також обґрунтувати нормативні значення жорсткісної неоднорідності нових шин і тих, що були в експлуатації (наприклад, допустимий розмір одностороннього зносу). Крім цього, це дозволить шляхом ретроспекції досліджувати причини дорожньо-транспортних подій, обумовлених відмовами шин.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Четырнадцатидневный лидер** // Автомобильный транспорт, №3, 1998. - С.38.
2. **Каждому мосту по соответствующей шине.** // Автомобильный транспорт. - 1998. - №3. - С.43.
3. **Рокар И.** Неустойчивость в механике. Автомобили. Самолеты. Висячие мосты. - М.: Изд-во иностр. лит., 1959. - 287с.
4. **Лобас А.Г., Вербицкий В.Г.** Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. - Киев.: Наук. Іюмка, 1990. - 232с.
5. **Певзнер Я.М.** Теория устойчивости автомобиля. - М.: Машгиз, 1947. - 156с.
6. **Вербицкий В.Г., Лобас А.Г.** Бифуркации стационарных состояний в системах с качением при постоянных силовых возмущениях // ПММ. - 1994. - Т.58. - Вып. 5. - С.165-170.