

УДК 625.06/08(031)

Е. С. КЛИМОВ, доц. КрНУ, Кременчук

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ТОЧКИ КОНТАКТУ ЖОРСТКОГО
КЕРОВАНОГО ФАЛЬШ-КОЛЕСА З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ПРИ
ПОВОРОТІ НА МІСЦІ**

Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею. Отримано залежності, що її визначають. Установлено положення центра траєкторії руху точки контакту фальш-колеса.

Ключові слова: кероване фальш-колесо, точка контакту, траєкторія, центр.

Вступ. Конструктивні параметри кермових керувань та їх підсилювачів визначають за максимальним значенням моменту опору повороту керованих коліс, який виникає при їх повороті на місці на поверхнях з високим коефіцієнтом зчеплення. При цьому більша частина цього моменту (близько 80 %) припадає на момент опору повороту шини, метод розрахунку якого залежить від кінематики контактної відбитки шини.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз роботи [1] засвідчив, що існуючий метод розрахунку моменту опору повороту шини дозволяє визначити його для керованого колеса, яке при повороті на місці не обертається відносно осі цапфи. При цьому вважається, що точки контактної відбитки при повороті ковзають у площині опорної поверхні, повертаючись відносно точки зустрічі осі шворня із цією поверхнею. Такий підхід пояснюється тим, що у більшості автомобілів точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться в межах контактної відбитки, а керовані колеса при повороті на місці не перекочуються по опорній поверхні.

Але відомі конструкції керованих мостів автомобілів, у яких за наявності нахилу шворня та збільшення довжини цапфи за рахунок застосування незалежної торсійної підвіски та колісних редукторів точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться за межами контактної відбитки, а керовані колеса під час повороту на місці перекочуються по опорній поверхні. Аналіз роботи [1] показав, що такий поворот керованих коліс є маловивченим. Очевидно, що кінематика точок контактної відбитки у цьому випадку буде відрізнятися від попереднього. Ураховуючи, що момент опору повороту шини залежить від кінематики контактної відбитки, то важливо знати, по якій траєкторії буде рухатися контактний відбиток шини при перекочуванні керованого колеса під час повороту на місці.

Траєкторію руху контактної відбитки шини будемо визначати за відношенням до траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею.

Мета дослідження. Провести дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса при його перекочуванні по опорній поверхні під час повороту на місці та отримати залежності, що її визначають.

Матеріали та результати досліджень. Дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого фальш-колеса з опорною поверхнею будемо проводити з лівим керованим фальш-колесом за наявності тільки поперечного нахилу шворня. При цьому будемо враховувати наступні припущення: контакт фальш-колеса з опорною поверхнею відбувається у точці, фальш-колесо вільно обертається відносно осі цапфи, опорна поверхня не деформується, ковзання фальш-колеса при коченні по

© Е. С. Клімов, 2013

недеформованій опорній поверхні відсутнє, конструктивні параметри керованого моста (кути поперечного нахилу шворня та розвалу колеса в нейтральному положенні), а також рівнодіюча нормальних реакцій на кероване колесо є постійними.

Рух керованого колеса як при повороті на місці, так і під час руху автомобіля задає цапфа. Зусилля від цапфи до керованого колеса передається через точку перетину осі цапфи із середньою площиною колеса, якою є центр колеса. За умови перекочування керованого колеса під час повороту на місці кероване колесо та цапфу будемо розглядати як два окремі тіла, що конструктивно зв'язані між собою.

Розрахункову схему для визначення траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею наведено на рис. 1.

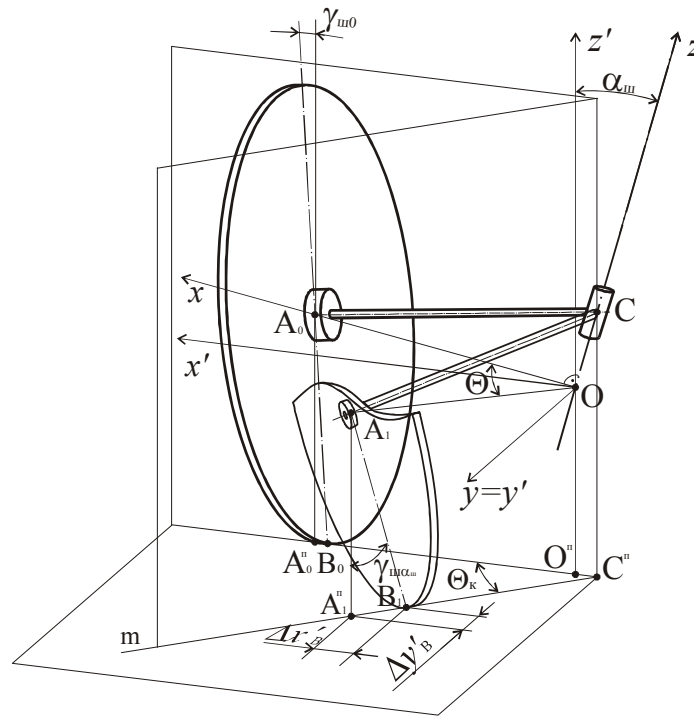


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення траєкторії руху точки контакту керованого фальш-колеса з опорною поверхнею

З аналізу рис. 1 видно, що фальш-колесо зображено у нейтральному та повернутому відносно осі шворня положеннях. Точки A_0 та A_1 є центрами фальш-колеса, точки B_0 та B_1 – точками контакту фальш-колеса з опорною поверхнею відповідно у нейтральному та повернутому положеннях. Кут Θ є кутом повороту цапфи, точка C є точкою перетину осі цапфи з віссю шворня, який має кут поперечного нахилу $\alpha_{ш}$.

Під час повороту цапфи відносно осі шворня центр фальш-колеса буде рухатись по дузі кола в площині, перпендикулярній осі шворня, відносно точки O , яка є центром повороту фальш-колеса. Точка контакту фальш-колеса з опорною поверхнею, точка B_0 , буде рухатись у площині опорної поверхні по криволінійній траєкторії, центр якої невідомий.

Для визначення центра, відносно якого рухається точка контакту керованого фальш-колеса з опорною поверхнею, будемо виходити з наступного: якщо суцільне тіло перекочується по опорній поверхні та відомо відносно якої точки рухається його центр, то проєкції на опорну поверхню кожної точки тіла будуть рухатись відносно проєкції на опорну поверхню точки, відносно якої рухається центр цього тіла.

Згідно з вищенаведеним, точка контакту фальш-колеса з опорною поверхнею та проєкції на цю поверхню всіх точок фальш-колеса будуть рухатись відносно проєкції на опорну поверхню центра повороту фальш-колеса, точки O^n . Цю точку будемо вважати центром траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса.

З аналізу рис. 1 також видно, що точка контакту фальш-колеса знаходиться у точці перетину трьох площин: середньої площини фальш-колеса, площини опорної поверхні та площини, що проходить через вісь цапфи A_1C та перпендикулярна опорній поверхні. Вона лежить на лінії m , яка утворена перетином останніх двох площин. Відрізок $A_1^n C^n$, що лежить на лінії m , є проєкцією на опорну поверхню осі цапфи A_1C .

Кут $\angle A_0^n C^n A_1^n$ між проєкціями на опорну поверхню осі цапфи при нейтральному положенні фальш-колеса $A_0^n C^n$ та повернутому відносно осі шворня $A_1^n C^n$ є кутом повороту фальш-колеса Θ_k .

Відрізок $A_1 B_1$ є радіусом фальш-колеса. Цей радіус при перетині у точці A_1 з вертикаллю $A_1 A_1^n$ утворює $\angle A_1^n A_1 B_1 = \gamma_{ш\alpha_{ш}}$, який є поточним кутом розвалу фальш-колеса при поперечному нахилі шворня. Відрізок $A_1^n B_1$ є проєкцією на опорну поверхню радіуса $A_1 B_1$.

З аналізу прямокутного трикутника $\Delta A_1^n A_1 B_1$ видно, що положення точки контакту з опорною поверхнею повернутого фальш-колеса, точки B_1 , можна визначити за положенням проєкції на опорну поверхню центра фальш-колеса, точки A_1^n , з урахуванням поточного кута розвалу фальш-колеса $\gamma_{ш\alpha_{ш}}$.

Траєкторію руху точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею будемо визначати за її координатами. Координати точки контакту будемо визначати за координатами центра фальш-колеса, точки A_1 , у площині, паралельній опорній поверхні. У цьому випадку координати точки A_1 будуть координатами її проєкції на опорну поверхню, точки A_1^n . За незалежний параметр беремо кут повороту цапфи Θ .

Уведемо основну систему координат $Oxyz$ із центром у точці O . Вісь Oz направимо вздовж осі шворня, а вісь Ox – уздовж перпендикуляра $A_0 O$.

Координати центра колеса, точки A_0 , при нейтральному положенні фальш-колеса у системі координат $Oxyz$ запишемо так:

$$\begin{aligned} X_{A_0} &= l_y \cos(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \\ Y_{A_0} &= 0 \\ Z_{A_0} &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

де X_{A_0} , Y_{A_0} , Z_{A_0} – координати центра, точки A_0 , у нейтральному положенні фальш-колеса.

При повороті фальш-колеса відносно осі шворня його центр буде рухатись у площині xOy по колу із центром у точці O . При цьому перпендикуляр A_1O буде утворювати з віссю Ox кут Θ , який є кутом повороту цапфи.

Координати центра, точки A_1 , повернутого фальш-колеса у системі координат $Oxyz$ визначимо за виразами:

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \cos \Theta \\ Y_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \\ Z_{A_1} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Уведемо додаткову систему координат $Ox'y'z'$, у якій центр знаходиться в точці O , а площина $x'Oy'$ паралельна опорній поверхні. Цю систему отримано з основної системи $Oxyz$ поворотом відносно осі Oy на кут α_{u0} .

Координати точки A_1 у додатковій системі координат $Ox'y'z'$ набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} X'_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \cos \alpha_{u0} \cos \Theta \\ Y'_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \\ Z'_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \alpha_{u0} \cos \Theta. \end{aligned} \quad (3)$$

Оскільки точка контакту фальш-колеса рухається в площині опорної поверхні, яка паралельна площині $x'Oy'$, то її траєкторія буде визначатись координатами відносно осей Ox' та Oy' .

Ураховуючи, що координати X'_{A_1} та Y'_{A_1} , визначені за виразом (3), є координатами проєкції на опорну поверхню точки A_1 , якою є точка A_1^n , то координати точки B_1 відносно осей Ox' та Oy' додаткової системи координат $Ox'y'z'$ запишемо так:

$$\begin{aligned} X'_{B_1} &= X'_{A_1} - \Delta X'_{B_1}, \\ Y'_{B_1} &= Y'_{A_1} - \Delta Y'_{B_1}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $\Delta X'_{B_1}$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , уздовж осі Ox' відносно точки A_1^n ;

$\Delta Y'_{B_1}$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , уздовж осі Oy' відносно точки A_1^n .

Зміщення $\Delta X'_{B_1}$, $\Delta Y'_{B_1}$ визначимо за виразами:

$$\begin{aligned}\Delta X'_{B_1} &= r_k \sin \gamma_{ш\alpha_{ш}} \cos \Theta_k \\ \Delta Y'_{B_1} &= r_k \sin \gamma_{ш\alpha_{ш}} \sin \Theta_k,\end{aligned}\tag{5}$$

де Θ_k – кут повороту фальш-колеса;

$\gamma_{ш\alpha_{ш}}$ – поточний кут розвалу фальш-колеса при поперечному нахилі шворня.

Остаточно координати точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею, точки B_1 , набудуть вигляду:

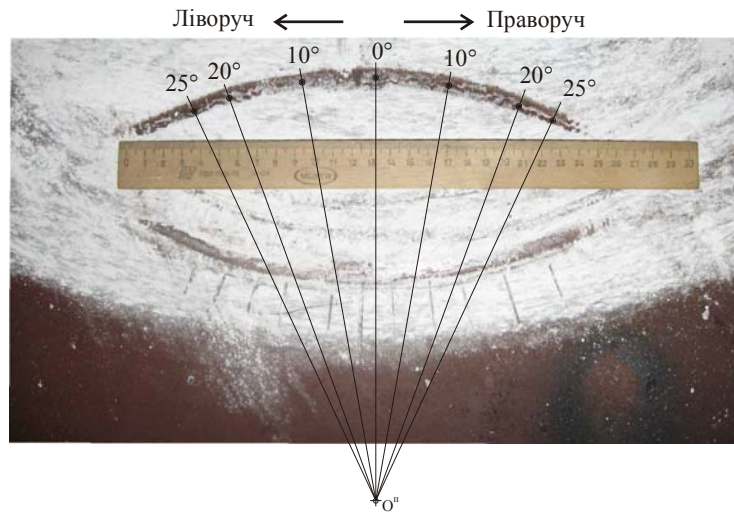
$$\begin{aligned}X'_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \cos \alpha_{ш} \cos \Theta - r_k \sin \gamma_{ш\alpha_{ш}} \cos \Theta_k \\ Y'_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \Theta - r_k \sin \gamma_{ш\alpha_{ш}} \sin \Theta_k.\end{aligned}\tag{6}$$

З аналізу залежностей (6) видно, що координати точки контакту керованого фальш-колеса з опорною поверхнею за наявності поперечного нахилу шворня залежать від довжини цапфи, кута нахилу шворня, поточного кута розвалу фальш-колеса та кута його розвалу у нейтральному положенні, радіуса фальш-колеса та кутів повороту цапфи та фальш-колеса.

В отриманих залежностях невідомою величиною є кут повороту фальш-колеса Θ_k . З достатньою для практичних розрахунків точністю цей кут можна прирівняти до кута повороту цапфи [2].

Перевірку достовірності отриманих залежностей (6), що визначають теоретичну траєкторію руху точки контакту жорсткого фальш-колеса, проводили на створеному на кафедрі "Автомобілі та трактори" Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського стенді [3], який побудовано на базі складових автомобіля КрАЗ-260. Для цього на місці лівого керованого колеса закріплювали жорстке фальш-колесо, яке складається з обода бездискового колеса розміром 440-533, металевієї пластини, що приварена до обода у середній його площині та ребер жорсткості. Радіус закруглення зовнішнього боку металевієї пластини дорівнював 0,571 мм. Кут поперечного нахилу шворня $\alpha_{ш} = 9^{\circ}30'$, кут розвалу фальш-колеса у нейтральному положенні $\gamma_{ш} = -0,84^{\circ}$, довжина цапфи $l_y = 0,225$ м.

При проведенні експерименту на опорній поверхні під фальш-колесо встановлювали пофарбовану металеву пластину, на яку фальш-колесо спиралось. Фальш-колесо повертали важелем ліворуч і праворуч від нейтрального положення на кут до 25° , після чого на металевій пластині залишився слід, який зображено на рис. 2. Далі на пластині було нанесено центр траєкторії руху точки контакту фальш-колеса, точку O^n . Від цього центра за координатами, розрахованими за залежностями (6), було відкладено точки. Збіг нанесених точок зі слідом засвідчив достовірність отриманих залежностей (6), а також підтвердив, що центром траєкторії руху точки контакту керованого фальш-колеса з опорною поверхнею під час його повороту на місці є проекція на цю поверхню центра повороту фальш-колеса.



• - розраховані за залежностями (6)

Рисунок 2 – Слід жорсткого фальш-колеса на металевій пластині

Висновки

1. Точка контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею при його коченні під час повороту на місці рухається по криволінійній траєкторії відносно центра, яким є проекція на опорну поверхню центра повороту фальш-колеса.

2. Отримано залежності, що описують траєкторію руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею. Траєкторія руху визначається довжиною цапфи, кутом нахилу шворня, кутами розвалу фальш-колеса у нейтральному та повернутому положеннях, радіусом фальш-колеса, кутами повороту цапфи та фальш-колеса.

Список літератури: 1. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля / А. П. Солтус. – К. : Арістей, 2006. – 176 с. 2. Солтус А. П. О функціональній взаємозв'язи углов поворота цапфы и управляемого колеса автомобиля / А. П. Солтус, С. М. Черненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – № 6 (17). – С. 63 – 65. 3. Пат. 70671 Україна, МПК G 01 L 5/13. Стенд для визначення зміщення центра відносного повороту відбитка пневматичної шини керованого колеса / Солтус А. П., Клімов Е. С. ; власник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u 2011 13111, заявл. 07.11.2011 ; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

Надійшла до редколегії 05.05.13.

УДК 625.06/08(031)

Дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею при повороті на місці / Е. С. Клімов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 42–47. – Бібліогр.: 3 назв.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований траектории движения точки контакта жесткого управляемого колеса с опорной поверхностью. Получены зависимости для ее определения. Установлено положение центра траектории движения точки контакта фальш-колеса.

Ключевые слова: управляемое фальш-колесо, точка контакта, траектория, центр.

The results of the theoretical and experimental studies of the rigid steering wheel-road contact point have been studied. The dependence for its calculation has been obtained. The wheel-road contact point trajectory centre have been determined.

Keywords: steering rigid wheel, contact point, trajectory, centre.