

УДК 625.06/08(031)

Е.С. Клімов, доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Україна, 39600

edward.klimov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ТОЧКИ КОНТАКТУ ЖОРСТКОГО КЕРОВАНОГО ФАЛЬШ-КОЛЕСА ПРИ ПОВОРОТІ НА МІСЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД НАХИЛІВ ШВОРНЯ

Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею жорсткого керованого фальш-колеса при повороті на місці залежно від нахилів шворня.

Ключові слова: жорстке кероване фальш-колесо, траєкторія, кути нахилу шворня.

Постановка проблеми. Керовані колеса автомобілів під час повороту на місці можуть перекочуватись або не перекочуватись по опорній поверхні [1]. Кожний із зазначених випадків повороту залежить від конструктивних параметрів керованого моста та визначає кінематику контактного відбитка шини, яка, у свою чергу, буде визначати метод розрахунку моменту опору повороту шини. Цей момент є складовою моменту опору повороту керованого колеса на місці, за величиною якого ведуть розрахунки параметрів кермових керувань та їх підсилювачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчив, що кероване колесо під час повороту на місці не перекочується по опорній поверхні у тих автомобілів, у яких конструкція керованих мостів забезпечує розташування точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею в межах контактного відбитка [1]. При розрахунках моменту опору повороту шини таких керованих коліс уважають, що при повороті точки контактного відбитка ковзають у площині опорної поверхні, повертаючись відносно точки зустрічі осі шворня з цією поверхнею.

Перекочування керованого колеса під час повороту на місці спостерігається в автомобілів, у яких за рахунок збільшення довжини цапфи, що спричинено застосуванням у конструкції керованих мостів незалежної торсійної підвіски та колісних редукторів, точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться за межами контактного відбитка. Аналіз роботи [1] свідчить, що такий поворот є маловивченим. При цьому не встановлено, по якій траєкторії та відносно якого центра рухається відбиток шини.

Оскільки кінематика контактного відбитка впливає на метод розрахунку моменту опору повороту шини, то визначення траєкторії руху контактного відбитка керованого колеса, що під час повороту на місці перекочується по опорній поверхні, має практичний інтерес.

Ураховуючи, що пневматична шина є складним механізмом, нами запропоновано траєкторію руху контактного відбитка шини визначати за відношенням до траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса.

Мета статті. Провести дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса, яке під час повороту на місці перекочується по опорній поверхні, залежно від нахилів шворня, та отримати залежності, що її визначають.

Матеріали та результати дослідження. Відомо, що рух керованому колесу при його повороті відносно осі шворня задає цапфа. За умови перекочування під час повороту кероване колесо буде обертатись відносно осі цапфи, а, значить, цапфу та кероване колесо у даному випадку необхідно розглядати як два тіла, що конструктивно зв'язані між собою.

Проведемо дослідження траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею лівого керованого жорсткого фальш-колеса. При цьому будемо враховувати наступні припущення: контакт фальш-колеса з опорною поверхнею відбувається в точці, опорна поверхня не деформується, ковзання фальш-колеса по опорній поверхні при коченні відсутнє, кути нахилу шворня та розвалу фальш-колеса у нейтральному положенні не змінюються.

На рисунку 1 наведено розрахункову схему для визначення траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса за наявності комбінованого нахилу шворня. З аналізу схеми видно, що жорстке фальш-колесо зображено в нейтральному та повернутому відносно осі шворня положенні. Вісь шворня має нахил у поперечній площині під кутом $\alpha_{ш}$, а у поздовжній площині – під кутом $\beta_{ш}$. Вона перетинається з віссю цапфи у точці C . Точки A_0 та A_1 є центрами фальш-колеса, точки B_0 та B_1 – точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею відповідно у нейтральному та повернутому положеннях. Точка O утворена перпендикуляром, опущеним із центра фальш-колеса на вісь шворня, і є центром повороту фальш-колеса. Кут $\angle A_0OA_1 = \Theta$ між перпендикулярами A_0O та A_1O є кутом повороту

цапфи. При цьому додатним будемо вважати кут повороту цапфи ліворуч від нейтрального положення, а від'ємним – праворуч від нейтрального положення. Кут $\angle A_0^n C^n A_1^n = \Theta_k$ між проекціями на опорну поверхню осі цапфи у нейтральному $A_0^n C^n$ і повернутому $A_1^n C^n$ положеннях є кутом повороту фальш-колеса.

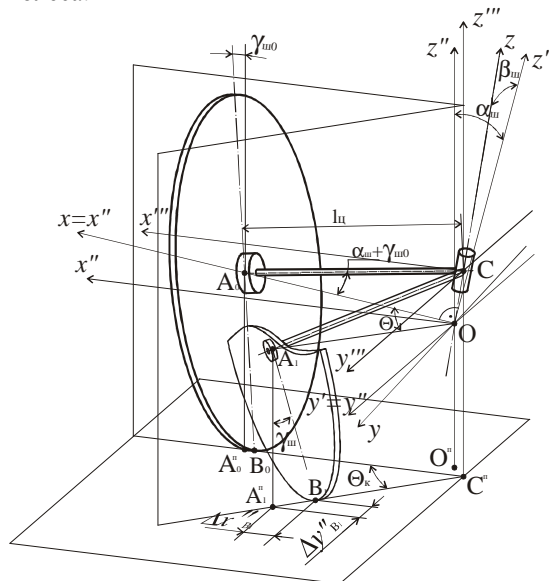


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса при комбінованому нахилі шворня

утворений перетином радіуса $A_1 B_1$ з вертикаллю $A_1 A_1^n$, є поточним кутом розвалу фальш-колеса. З аналізу прямокутного трикутника $\Delta A_1^n A_1 B_1$ видно, що положення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , можна визначити за положенням проекції на опорну поверхню центра фальш-колеса, точки A_1^n , з урахуванням поточного кута розвалу фальш-колеса γ_{u0} .

Траєкторію руху точки контакту фальш-колеса 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 проекції 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 скеруємо вздовж осі шворня, а вісь Ox – уздовж перпендикуляра $A_0 O$.

Координати центра фальш-колеса, точки A_1 , після повороту цапфи на кут Θ в основній системі координат $Oxyz$ набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= l_u \cos(\alpha_u + \gamma_{u0}) \cos \Theta \\ Y_{A_1} &= l_u \cos(\alpha_u + \gamma_{u0}) \sin \Theta \\ Z_{A_1} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Для отримання координат центра фальш-колеса, точки A_1 , у площині, паралельній опорній поверхні, уведемо додаткові системи координат $Ox'y'z'$ та $Ox''y''z''$ із центрами у точці O . Систему координат $Ox'y'z'$ отримано з основної системи координат $Oxyz$ поворотом на кут β_u відносно осі Ox , а систему координат $Ox''y''z''$ отримано із додаткової системи координат $Ox'y'z'$ поворотом на кут α_u

відносно осі Oy' . Після відповідних перетворень координати центра, точки A_1 , повернутого фальш-колеса в додатковій системі координат $Ox''y''z''$ набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} X''_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \cos \Theta \cos \alpha_{u0} + l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \sin \beta_{u0} \sin \alpha_{u0}, \\ Y''_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \cos \beta_{u0}, \\ Z''_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \cos \Theta \sin \alpha_{u0} - l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \sin \beta_{u0} \cos \alpha_{u0}. \end{aligned} \quad (2)$$

Координати точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею, точки B_1 , визначимо за наступними залежностями:

$$X''_B = X''_{A_1} - \Delta X''_B, \quad Y''_{B_1} = Y''_{A_1} - \Delta Y''_{B_1}, \quad (3)$$

де $\Delta X''_B$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , уздовж осі Ox'' відносно точки A_1'' ; $\Delta Y''_{B_1}$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , уздовж осі α_{u0} відносно точки A_1'' . Ці зміщення визначимо за виразами:

$$\Delta X''_{B_1} = r_k \sin \gamma_{u0} \cos \Theta_k, \quad \Delta Y''_{B_1} = r_k \sin \gamma_{u0} \sin \Theta_k. \quad (4)$$

Після підстановки виразів (2) та (4) до залежностей (3) отримаємо залежності для визначення координат точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею:

$$\begin{aligned} X''_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \cos \Theta \cos \alpha_{u0} + l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \sin \beta_{u0} \sin \alpha_{u0} - r_k \sin \gamma_{u0} \cos \Theta_k \\ Y''_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{u0} + \gamma_{u0}) \sin \Theta \cos \beta_{u0} - r_k \sin \gamma_{u0} \sin \Theta_k. \end{aligned} \quad (5)$$

З аналізу залежностей (5) видно, що координати точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею залежать від довжини цапфи, кутів нахилу шворня, поточного кута розвалу фальш-колеса та кута його розвалу у нейтральному положенні, радіуса фальш-колеса та кутів повороту цапфи та фальш-колеса.

Невідомою величиною в отриманих залежностях є кут повороту фальш-колеса Θ_k . Цей кут з достатньою для практичних розрахунків точністю можна прирівняти до кута повороту цапфи [2].

Перевірку достовірності залежностей (5) проводили за радіусом кривизни траєкторії руху точки контакту фальш-колеса, розрахункове значення якого визначали за виразом:

$$R = \sqrt{X''_{B_1}{}^2 + Y''_{B_1}{}^2}. \quad (6)$$

Експериментальні значення цього радіуса визначали за методикою, викладеною у роботі [3], при поперечному та комбінованому нахилах шворня на створеному у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського стенді [4]. Дослідження проводили з лівим керованим фальш-колесом при поперечному нахилі шворня $\alpha_{u0} = 9^\circ 30'$ і комбінованому нахилі шворня $\alpha_{u0} = 9^\circ 30'$, $\beta_{u0} = 5^\circ 30'$. Кут розвалу фальш-колеса у нейтральному положенні $\gamma_{u0} = -0,84^\circ$, довжина цапфи $l_y = 0,225$ м, радіус фальш-колеса $r_k = 0,571$ м.

На рисунку 2 наведено експериментальні та розраховані за виразом (6) значення радіуса кривизни траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею жорсткого керованого фальш-колеса при поперечному та комбінованому нахилах шворня. Розбіжність між наведеними даними не перевищує 3,89 %. Аналіз отриманих результатів свідчить, що при поперечному нахилі шворня під час повороту фальш-колеса ліворуч і праворуч радіус зменшується однаково. Найявністю поздовжнього нахилу шворня збільшує величину радіуса при повороті праворуч та зменшує її при повороті ліворуч.

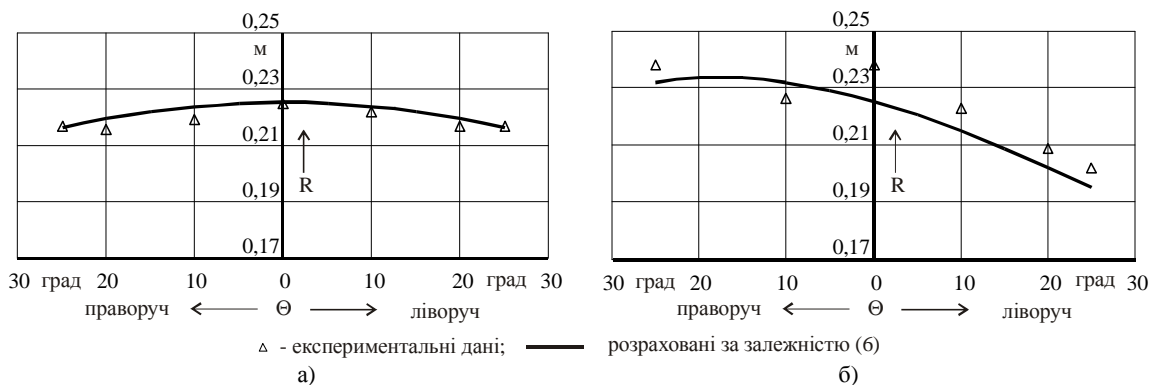


Рисунок 2 – Залежність радіуса кривизни траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса від кута повороту фальш-колеса: а) $\alpha_{ш} = 9^{\circ}30'$, $\beta_{ш} = 0$; б) $\alpha_{ш} = 9^{\circ}30'$, $\beta_{ш} = 5^{\circ}30'$

Висновки. Точка контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею при коченні фальш-колеса під час повороту на місці рухається по криволінійній траєкторії відносно проекції на опорну поверхню центра повороту фальш-колеса. При цьому центр повороту лежить на осі шворня та створений перпендикуляром, опущеним із центра фальш-колеса на вісь шворня. Отримані залежності дозволяють визначити траєкторію руху точки контакту та радіус кривизни цієї траєкторії, залежно від довжини цапфи, кутів нахилу шворня, поточного кута розвалу фальш-колеса та кута розвалу у нейтральному положенні, радіуса фальш-колеса та кута повороту цапфи. Наявність поздовжнього нахилу шворня призведе до збільшення радіуса кривизни траєкторії при повороті фальш-колеса праворуч і зменшення при повороті ліворуч.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля / А.П. Солтус. – К. : Арістей, 2006. – 176 с.
2. Солтус А.П. О функциональной взаимосвязи 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. Солтус А. П. Дослідження впливу положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею на поворот керованого колеса на місці / А. П. Солтус, Е. С. Клімов, В. І. Пилипенко // Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал «Машинознавство». – 2009. – № 6 (144). – С. 41–44.
4. 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. – № у 2011 13111, заявл. 07.11.2011 ; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

Надійшла до редакції 17.06.2013 р.

Клімов Э.С. Исследования траектории движения точки контакта жесткого управляемого фальш-колеса при повороте на месте в зависимости от наклонов шкворня

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований траектории движения точки контакта с опорной поверхностью жесткого управляемого фальш-колеса при повороте на месте в зависимости от наклона шкворня.

Ключевые слова: жесткое управляемое фальш-колесо, траектория, углы наклона шкворня.

Klimov E.S. The study of rigid steering wheel-road contact point trajectory in dependence on pivot inclinations

The results of the theoretical and experimental studies of the rigid steering wheel-road contact point trajectory in dependence on pivot inclinations have been studied. The dependence of its calculation has been obtained.

Keywords: rigid steering wheel, trajectory, pivot inclinations.