

УДК 625.06/08(031)

Е. С. КЛИМОВ, канд. техн. наук, доц. КрНУ, Кременчук**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ТОЧКИ КОНТАКТУ ЖОРСТКОГО КЕРОВАНОГО ФАЛЬШ-КОЛЕСА ПРИ КОМБІНОВАНОМУ НАХИЛІ ШВОРНЯ ПІД ЧАС ПОВОРОТУ НА МІСЦІ**

Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса з опорною поверхнею за наявності комбінованого нахилу шворня при повороті на місці. Отримано залежності, що її визначають. Визначено положення центра, відносно якого рухається точка контакту фальш-колеса. Визначальними конструктивними параметрами, що описують траєкторію руху точки контакту жорсткого фальш-колеса з опорною поверхнею, є довжина цапфи, поперечний і поздовжній нахили шворня, кут розвалу та радіус фальш-колеса.

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

Вступ. Залежно від конструктивних параметрів керованих мостів керовані колеса транспортних засобів при повороті на місці можуть перекочуватись або не перекочуватись по опорній поверхні. Кожний із зазначених випадків повороту визначає характер руху контактної відбитка шини, від якого залежить вибір методу розрахунку моменту опору повороту шини керованого колеса. Цей момент необхідно знати при визначенні моменту опору повороту керованих коліс як при повороті на місці, так і під час руху транспортного засобу, за яким у подальшому розраховуються конструктивні параметри кермового керування.

Аналіз основних досягнень і літератури засвідчив, що перекочування керованих коліс під час повороту на місці відсутнє за умови, що точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться в межах контактної відбитка. При розрахунках моменту опору повороту шини у цьому випадку виходять з того, що точки контактної відбитка при повороті ковзають по опорній поверхні, повертаючись відносно точки зустрічі осі шворня із цією поверхнею [1].

При розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межами контактної відбитка кероване колесо при повороті перекочується по опорній поверхні. Аналіз роботи [1] засвідчив, що такий поворот керованого колеса недостатньо вивчений. При цьому не визначено траєкторію та положення центра, відносно якого рухаються точки контактної відбитка шини.

На даному етапі досліджень траєкторію руху контактної відбитка шини будемо визначати за відношенням до траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею жорсткого керованого фальш-колеса. Жорстке фальш-колесо при однакових конструктивних параметрах керованих мостів (довжина цапфи, кути нахилу шворня та розвалу колеса у нейтральному положенні) замінює контактний відбиток шини точкою. Це дозволяє визначитись із центром, відносно якого буде рухатись точка контакту фальш-колеса з опорною поверхнею та описати траєкторію руху точки контакту фальш-колеса з опорною поверхнею аналітичними залежностями.

Мета дослідження. Провести дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса під час його повороту на місці за умови його перекочування по опорній поверхні при комбінованому нахилі шворня та отримати залежності для її визначення.

Матеріали та результати досліджень. Дослідження траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею жорсткого керованого фальш-колеса будемо проводити

© Е. С. Клімов, 2014

за умови, що фальш-колесо вільно обертається відносно осі цапфи, опорна поверхня не деформується, ковзання фальш-колеса при коченні відсутнє, кути поперечного та поздовжнього нахилів шворня та розвалу фальш-колеса в нейтральному положенні не змінюються. Дослідження проводимо з лівим керованим фальш-колесом.

Спочатку розглянемо поворот керованого колеса за наявності тільки поперечного нахилу шворня. Для цього скористаємось схемою, наведеною на рис. 1. З аналізу схеми видно, що жорстке фальш-колесо зображено в нейтральному та повернутому відносно осі шворня положенні. Вісь шворня має нахил тільки у поперечній площині під кутом $\alpha_{ш}$. 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 $\angle A_0OA_1 = \Theta$ є кутом повороту цапфи. 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.

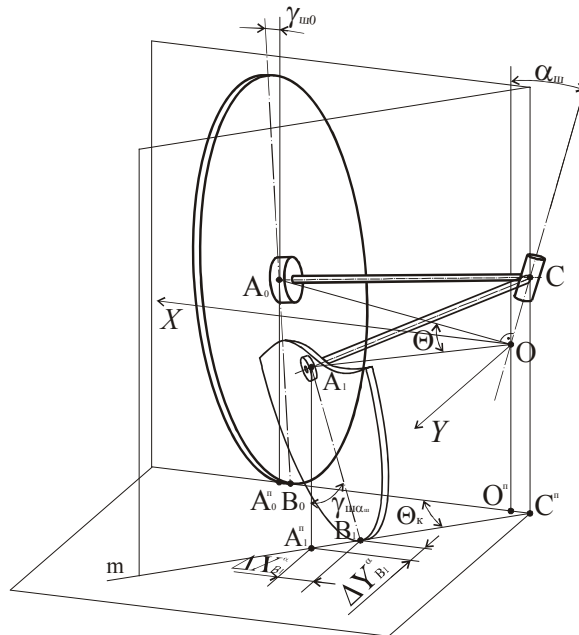


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення траєкторії руху точки контакту керованого фальш-колеса при поперечному нахилі шворня

З аналізу рис. 1 також видно, що точка контакту фальш-колеса лежить на лінії m перетину площини опорної поверхні та площини, що проходить через вісь цапфи A_1C та перпендикулярна до опорної поверхні. Кут $\angle A_1^n A_1 B_1 = \gamma_{ш\alpha_{ш}}$ є поточним кутом розвалу фальш-колеса при поперечному нахилі шворня.

З аналізу прямокутного трикутника $\Delta A_1^n A_1 B_1$ видно, що положення точки контакту повернутого 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 $\gamma_{ш\alpha_{ш}}$.

При повороті фальш-колеса його центр буде рухатись у площині, перпендикулярній до осі шворня, по дузі кола з центром у точці O . Точка контакту фальш-колеса з опорною поверхнею буде рухатись у площині опорної поверхні по криволінійній траєкторії. Центром цієї траєкторії згідно з даними, наведеними у роботі [2], буде точка O^n , яка є проекцією на опорну поверхню центра повороту фальш-колеса.

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 до опорної 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 . При цьому будемо вважати, що при повороті площина опорної поверхні є нерухомою, а шворінь переміщується вертикально.

Оскільки точка контакту фальш-колеса рухається в площині опорної поверхні, то її траєкторія буде визначатись двома координатами. Уведемо плоску систему координат OXY , у якої центр знаходиться у точці O , площина XOY паралельна до опорної поверхні, а вісь OY скеровано вздовж поздовжньої осі транспортного засобу. Координати точки контакту фальш-колеса в цій системі координат можна визначити за залежностями:

$$\begin{aligned} X_{B_1}^\alpha &= X_{A_1}^\alpha - \Delta X_{B_1}^\alpha, \\ Y_{B_1}^\alpha &= Y_{A_1}^\alpha - \Delta Y_{B_1}^\alpha \end{aligned} \quad (1)$$

де $X_{A_1}^\alpha, Y_{A_1}^\alpha$ – координати центра фальш-колеса, точки A_1 , при поперечному нахилі шворня;

$\Delta X_{B_1}^\alpha, \Delta Y_{B_1}^\alpha$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , відносно точки A_1^n відповідно вздовж осі OX та осі OY .

Координати $X_{A_1}^\alpha, Y_{A_1}^\alpha$ визначаються за залежностями [2]

$$\begin{aligned} X_{A_1}^\alpha &= l_y \cos(\alpha_{uw} + \gamma_{uw0}) \cos \alpha_{uw} \cos \Theta \\ Y_{A_1}^\alpha &= l_y \cos(\alpha_{uw} + \gamma_{uw0}) \sin \Theta \end{aligned} \quad (2)$$

Зміщення $\Delta X_{B_1}^\alpha, \Delta Y_{B_1}^\alpha$ визначимо за виразами

$$\begin{aligned} \Delta X_{B_1}^\alpha &= r_\kappa \sin \gamma_{uw\alpha_{uw}} \cos \Theta_\kappa \\ \Delta Y_{B_1}^\alpha &= r_\kappa \sin \gamma_{uw\alpha_{uw}} \sin \Theta_\kappa, \end{aligned} \quad (3)$$

де Θ_κ – кут повороту фальш-колеса;

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

При комбінованому нахилі шворня траєкторія руху точки контакту фальш-колеса зміниться. Центром цієї траєкторії згідно з наведеними у роботі [2] дослідженнями буде також проекція на опорну поверхню центра повороту фальш-колеса. Цей центр буде зміщений відносно центра траєкторії руху при поперечному нахилі шворня вздовж транспортного засобу. Ураховуючи, що величина цього зміщення є незначною, то в даних дослідженнях координати точки контакту фальш-колеса з опорною поверхню будемо визначати в системі координат OXY аналогічно до координат точки контакту фальш-колеса при поперечному нахилі шворня за наступними залежностями

$$\begin{aligned} X_{B_1} &= X_{A_1} - \Delta X_{B_1}, \\ Y_{B_1} &= Y_{A_1} - \Delta Y_{B_1}, \end{aligned} \quad (4)$$

де X_{A_1}, Y_{A_1} – координати точки A_1 при комбінованому нахилі шворня;

$\Delta X_{B_1}, \Delta Y_{B_1}$ – зміщення точки контакту жорсткого фальш-колеса, точки B_1 , відносно точки A_1^n відповідно вздовж осі Ox та осі Oy , які визначаються так:

$$\begin{aligned} \Delta X_{B_1} &= r_k \sin \gamma_{ш} \cos \Theta_k \\ \Delta Y_{B_1} &= r_k \sin \gamma_{ш} \sin \Theta_k, \end{aligned} \quad (5)$$

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

Координати X_{A_1}, Y_{A_1} визначимо за наступними формулами

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= X_{A_1}^\alpha + \Delta X_{A_1}^\beta \\ Y_{A_1} &= Y_{A_1}^\alpha + \Delta Y_{A_1}^\beta, \end{aligned} \quad (6)$$

де $X_{A_1}^\alpha, Y_{A_1}^\alpha$ – координати точки A_1 при поперечному нахилі шворня;

$\Delta X_{A_1}^\beta, \Delta Y_{A_1}^\beta$ – відхилення від координат центра фальш-колеса $X_{A_1}^\alpha, Y_{A_1}^\alpha$, точки A_1 , зумовлене поздовжнім нахилом шворня.

Відхилення $\Delta X_{A_1}^\beta, \Delta Y_{A_1}^\beta$ визначимо за виразами

$$\begin{aligned} \Delta X_{A_1}^\beta &= X_{A_1}^\beta - X_{A_1\Theta=0}^\beta \\ \Delta Y_{A_1}^\beta &= Y_{A_1}^\beta - Y_{A_1\Theta=0}^\beta, \end{aligned} \quad (7)$$

де $X_{A_1}^\beta, Y_{A_1}^\beta$ – координати центра фальш-колеса, точки A_1 , при поздовжньому нахилі шворня;

$X_{A_1\Theta=0}^\beta, Y_{A_1\Theta=0}^\beta$ – координати центра фальш-колеса при поздовжньому нахилі шворня у нейтральному положенні.

При визначенні координат центра фальш-колеса при поздовжньому нахилі шворня $X_{A_1}^\beta, Y_{A_1}^\beta$ скористаємось зв'язком між поперечним, поздовжнім кутами нахилу шворня та кутом повороту керованого колеса [3].

Ураховуючи цей зв'язок, координати центра фальш-колеса при поздовжньому нахилі шворня визначаються так

$$\begin{aligned} X_{A_1}^\beta &= X_{A_1}^{\alpha=\beta}(90^\circ \pm \Theta) = l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \beta_{uu} \cos(90 \pm \Theta) = \\ &= \mp l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \beta_{uu} \sin \Theta \\ Y_{A_1}^\beta &= Y_{A_1}^{\alpha=\beta}(90^\circ \pm \Theta) = l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \sin(90 \pm \Theta) = \\ &= l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \Theta \end{aligned} \quad (8)$$

де $X_{A_1}^{\alpha=\beta}(90^\circ \pm \Theta), Y_{A_1}^{\alpha=\beta}(90^\circ \pm \Theta)$ – координати центра фальш-колеса при поперечному нахилі шворня та повороті цапфи на кут $90^\circ \pm \Theta$ і рівності кутів $\alpha_{uu} = \beta_{uu}$; β_{uu} – кут поздовжнього нахилу шворня.

Знак (+) у цій формулі беремо для лівого колеса при повороті ліворуч від нейтрального положення, знак (-) – при повороті праворуч.

Координати центра фальш-колеса при поздовжньому нахилі шворня у нейтральному положенні визначимо, використовуючи залежності (8) при $\Theta = 0$

$$\begin{aligned} X_{A_1\Theta=0}^\beta &= 0 \\ Y_{A_1\Theta=0}^\beta &= l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \end{aligned} \quad (9)$$

З урахуванням вищенаведеного залежності (7) для визначення величин відхилень $\Delta X_{A_1}^\beta, \Delta Y_{A_1}^\beta$ набудуть наступного вигляду

$$\begin{aligned} \Delta X_{A_1}^\beta &= \mp l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \beta_{uu} \sin \Theta \\ \Delta Y_{A_1}^\beta &= l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \Theta - l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \end{aligned} \quad (10)$$

Після підстановки залежностей (10) до залежностей (6) остаточно отримаємо координати центра жорсткого фальш-колеса при комбінованому нахилі шворня

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \alpha_{uu} \cos \Theta \mp l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) \cos \beta_{uu} \sin \Theta \\ Y_{A_1} &= l_y \cos(\alpha_{uu} + \gamma_{u0}) \sin \Theta + l_y \cos(\beta_{uu} + \gamma_{u0}) (\cos \Theta - 1) \end{aligned} \quad (11)$$

Ураховуючи (11) та (5) координати точки контакту жорсткого фальш-колеса з опорною поверхнею при комбінованому нахилі шворня визначаються так

$$\begin{aligned} X_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \cos \alpha_{ш} \cos \Theta \mp l_y \cos(\beta_{ш} + \gamma_{ш0}) \cos \beta_{ш} \sin \Theta - r_k \sin \gamma_{ш} \cos \Theta_k \\ Y_{B_1} &= l_y \cos(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \Theta + l_y \cos(\beta_{ш} + \gamma_{ш0}) (\cos \Theta - 1) - r_k \sin \gamma_{ш} \sin \Theta_k \end{aligned} \quad (12)$$

З аналізу отриманих залежностей (12) видно, що координати точки контакту керованого фальш-колеса з опорною поверхнею при комбінованому нахилі шворня 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.

В отриманих залежностях невідомою величиною є кут повороту фальш-колеса Θ_k . Цей кут з достатньою для практичних розрахунків точністю можна порівняти до кута повороту цапфи [4].

Залежності (12) дозволяють визначити радіус кривизни траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого колеса, величину якого у подальшому буде використано при розрахунках моменту опору повороту шини:

$$R = \sqrt{X_{B_1}^2 + Y_{B_1}^2} \quad (13)$$

Достовірність залежності (13) було перевірено експериментально за методикою, наведеною в роботі [5]. Експеримент проводили на створеному у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського стенді [6] з лівим керованим фальш-колесом при комбінованому нахилі шворня $\alpha_{ш} = 9^\circ 30'$, $\beta_{ш} = 5^\circ 30'$. Кут розвалу фальш-колеса у нейтральному положенні $\gamma_{ш0} = -0,84^\circ$, довжина цапфи $l_y = 0,225$ м, радіус фальш-колеса $r_k = 0,571$ м.

Результати експериментальних даних і розраховані за залежністю (13) значення радіуса кривизни траєкторії руху точки контакту з опорною поверхнею жорсткого керованого фальш-колеса наведено на рис. 2. Із аналізу наведених даних видно, що експериментальні та розраховані дані збігаються, розбіжність між ними не перевищує 3,8 %.

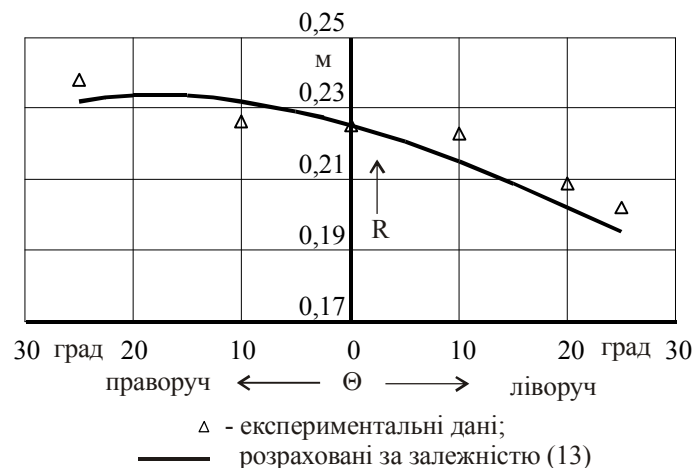


Рисунок 2 – Залежність радіуса кривизни траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса від кута повороту фальш-колеса

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. Визначальними конструктивними параметрами, що описують траєкторію руху точки контакту жорсткого фальш-колеса з опорною поверхнею, є довжина цапфи, поперечний і поздовжній нахили шворня, кут розвалу та радіус фальш-колеса.

Список літератури: 1. Солтус А. П. Основы теории рабочего процесса и расчета колесных управляющих модулей : монография / А. П. Солтус. – Деп. в Укр. НИИТИ №501-Ук90 ВИНТИ "Деп. науч. труды", 1990. – № 7(290), б/о 203. – 234 с. 2. Клімов Е.С. 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. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 29(1002) – С. 42 – 47. 3. Солтус А. П. Визначення впливу поздовжнього нахилу шворня на ваговий стабілізуючий момент / А. П. Солтус, С. М. Черненко // Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал "Машинознавство". – 2003. – № 6(72). – С. 47 – 50. 4. 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. 5. 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. 6. 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 05.03.14.

УДК 625.06/08(031)

Дослідження траєкторії руху точки контакту жорсткого керованого фальш-колеса при комбінованому нахилі шворня під час повороту на місці / Е. С. Клімов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 148-154. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-6840.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований траектории движения точки контакта жесткого управляемого колеса с опорной поверхностью при комбинированном наклоне шворня при повороте на месте. Получены зависимости для ее определения. Определено положение центра, относительно которого двигается точка контакта фальш-колеса.

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

Study to paths of the moving the point of the contact hard operated cheating travell about under multifunction slopping pivot during tumbling on place / E. S. Klimov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 148-154. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2078-6840.

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

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