УДК 625.06/08(031)

Е.С.Клімов
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ОПОРУ ПОВОРОТУ ШИНИ КЕРОВАНОГО КОЛЕСА НА МІСЦІ

Наведено аналіз існуючих методів дослідження моменту опору повороту шини керованого колеса на місці залежно від положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно контактного відбитка шини та характеру руху керованого колеса під час повороту. З'ясовано їх особливості, що дозволили отримати достовірні залежності для визначення моменту опору повороту шини керованого колеса на місці.

Ключові слова*: шина, момент опору повороту, центр повороту, кут повороту колеса.*
Рис 1. Форм 5. Літ 10

Э.С.Климов

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВОРОТУ ШИНЫ УПРАВЛЯЕМОГО КОЛЕСА НА МЕСТЕ

Приведен анализ существующих методов исследования момента сопротивления повороту шины управляемого колеса на месте в зависимости от положения точки встречи оси шкворня с опорной поверхностью относительно контактного отпечатка шины и характера движения управляемого колеса при повороте. Установлены их особенности, которые позволили получить достоверные зависимости для определения момента сопротивления повороту шины управляемого колеса на месте.

Ключевые слова*: шина, момент сопротивления повороту, центр поворота, угол поворота колеса.*

E.Klimov

DETERMINATION OF THE MOMENT OF STEERABLE WHEEL TIRE TURNING RESISTANCE

The article deals with the analysis of existing research methods of moment of steerable wheel tire turning resistance depending on the position of the point of pivot center relative to tire contact. The method for determination of the moment of steerable wheel tire turning resistance is defined by the type of the steerable wheel movement. The type of movement is determined by the position of the point of pivot center relative to the tire contact, and peculiarities of the steerable wheel drive. When the point of pivot center is within the tire contact, steerable wheel does'nt roll along the road surface. The steerable wheel rolls over the road surface, if the point of pivot center is beyond the tier contact. The existing dependencies make it possible to determine the moment of steerable wheel tire turning resistance if the steerable wheel at turning does not roll over the road surface. At the same time it is considered that the contact tier slides in the road surface. The point of pivot center is the center of rotation. These dependences take into account the load on the wheel, friction coefficient, tier contact dimensions, position of the point of pivot center relative to the tier contact geometric center, the steerable wheel rotation angle. The moment of steerable wheel tire turning resistance without steerable wheel rolling on road surface is not considered in the paper.

Key words: *tier, moment of steerable wheel tire turning resistance, centre of rotation, wheel rotation angle.*

Постановка проблеми. Момент опору повороту шини керованого колеса є складовою моменту опору повороту керованого колеса як під час руху автомобіля, так і при повороті керованого колеса на місці. Величина моменту опору повороту шини значно залежить від швидкості руху автомобіля. Так, при повороті на місці на поверхнях з високим коефіцієнтом зчеплення момент опору повороту шини набуває свого максимального значення. При цьому його частина у моменті опору повороту керованого колеса на місці сягає 90 %. За максимальним значенням моменту опору повороту керованих коліс на місці ведуть розрахунки конструктивних параметрів кермових керувань та їх підсилювачів.

Під час руху автомобіля величина моменту опору повороту шини значно зменшується, порівняно з поворотом на місці, що призводить до зменшення моменту опору повороту керованих коліс. Величину моменту опору повороту керованого колеса під час руху автомобіля необхідно знати при вирішенні питання стійкості керованих коліс проти коливань.

Таким чином, момент опору повороту шини керованого колеса необхідно визначати при розрахунках параметрів кермових керувань автомобілів та при забезпеченні стійкості керованих коліс проти коливань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням моменту опору повороту шини керованого колеса на місці займались такі вчені: Б. Є. Мітін [5], А. С. Літвінов [2], М. І. Лисов

©Е.С.Клімов

[4], П. П. Лукашенко [3], Л. Л. Гінцбург [1], І. П. Чайковський [10], В. В. Редчиц [7], А. П. Солтус [6, 8, 9] та ін.

Практично та теоретично важливим є аналіз особливостей методів, за якими вищезгадані автори визначали момент опору повороту шини та одержали залежності для визначення цього моменту.

Мета статті. Визначитись з особливостями методів визначення моменту опору повороту шини керованого колеса на місці, що дозволили отримати достовірні залежності для його розрахунку.

Матеріал і результати дослідження. Метод визначення моменту опору повороту шини керованого колеса на місці залежить від особливостей руху керованого колеса, яке у загальному випадку під час повороту може перекочуватись або не перекочуватись по опорній поверхні. Останнє залежить від стану привода керованого колеса (блокований або розблокований) і положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно контактного відбитка шини, яка може знаходитись як у межах контактного відбитка, так і за його межами [6].

Аналіз конструктивних параметрів керованих мостів автомобілів засвідчив, що у більшої їх частини точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться в межах контактного відбитка. Керовані колеса таких автомобілів за умови, що вони вільно обертаються відносно осі цапфи, при повороті на місці практично не перекочуються по опорній поверхні.

Разом з цим, відомі конструкції керованих мостів повноприводних автомобілів, у яких за рахунок збільшення довжини цапфи точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться за межами контактного відбитка. Це підтверджено аналізом установчих параметрів керованих коліс автомобіля високоефективної прохідності «ВЕПР», у якого наявність у конструкції керованого моста незалежної торсійної підвіски та колісних редукторів спричинила збільшення довжини цапфи та винесення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межі контактного відбитка. Керовані колеса цього автомобіля при повороті на місці перекочуються по опорній поверхні.

Дослідженню моменту опору повороту шини керованого колеса на місці при розблокованому приводі та розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею в межах контактного відбитка за умови, що кероване колесо при повороті не перекочується по опорній поверхні, присвячені роботи [1–7, 9–10].

З аналізу вищезгаданих робіт випливає, що при розблокованому приводі керованого колеса та розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею в межах контактного відбитка, з достатньою для практичних розрахунків точністю, уважають, що кероване колесо під час повороту на місці не обертається відносно осі цапфи, а контактний відбиток шини ковзає по опорній поверхні, повертаючись відносно точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею. При цьому зазначимо, що у роботах Б. Є. Мітіна, А. С. Літвінова, М. І. Лисова, П. П. Лукашенка, Л. Л. Гінцбурга, І. П. Чайковського, В. В. Редчица розглядається визначення тільки максимального значення моменту опору повороту шини на недеформованій опорній поверхні, яке виникає при великих кутах повороту керованих коліс на місці, коли всі точки контактного відбитка шини ковзають по цій поверхні.

На відміну від вищезгаданих робіт, А. П. Солтус визначає момент опору повороту шини залежно від кута повороту керованого колеса та швидкості його руху. При цьому поворот керованого колеса на місці автор розглядає як окремий випадок, коли швидкість руху колеса дорівнює нулю. На основі проведених досліджень А. П. Солтус робить висновок, що загальним при повороті керованого колеса на місці та під час руху автомобіля є кут закручування тіла шини, що знаходиться між контактним відбитком шини та жорстким ободом. При цьому автор зазначає, що кут закручування тіла шини керованого колеса, яке при повороті на місці не перекочується по опорній поверхні, є кутом повороту колеса.

Під час руху керованого колеса контактний відбиток шини постійно поновлюється, а кут закручування тіла шини, на відміну від повороту на місці, є функцією швидкості руху автомобіля, кутової швидкості повороту керованого колеса водієм, розмірів контактного відбитка шини та величини зміщення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно поздовжньої осі контактного відбитка шини. Автор рекомендує визначати цей кут закручування за виразом [6]:

©Е.С.Клімов

$$\Theta_з = \frac{(a + 2x)\cdot\dot{\Theta}}{2\cdot V}, \qquad (1)$$

де $\Theta_з$ – кут закручування тіла шини під час руху автомобіля в рад; a – поздовжня вісь відбитка шини керованого колеса в м; x – зміщення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно поперечної осі контактного відбитка шини в м; $\dot{\Theta}$ – кутова швидкість повороту керованого колеса водієм у рад/с; V – швидкість руху колеса в м/с.

Аналіз робіт А. П. Солтуса [6, 9] свідчить, що залежність моменту опору повороту шини від кута закручування тіла шини, який при повороті колеса на місці без його перекочування по опорній поверхні буде кутом повороту колеса, є функцією кута повороту колеса.

На рис. 1 наведено залежність $M_\varphi = f(\Theta)$ моменту опору повороту шини керованого колеса на місці на сухому асфальтобетоні при розблокованому приводі та розташуванні точки зустрічі осі шворня в межах контактного відбитка від кута повороту колеса Θ [6].

Автор умовно поділяє залежність $M_\varphi = f(\Theta)$ на три ділянки:

1) ділянка умовної лінійної залежності функції $M_\varphi = f(\Theta)$;

2) ділянка нелінійної залежності функції $M_\varphi = f(\Theta)$;

3) ділянка граничного за зчепленням моменту опору повороту шини $M_{\varphi max}$, на якій величина цього моменту набуває максимального значення, яке обмежено силами зчеплення елементів шини, що контактують з опорною поверхнею. Величина моменту опору повороту шини на цій ділянці не залежить від кута повороту колеса Θ.

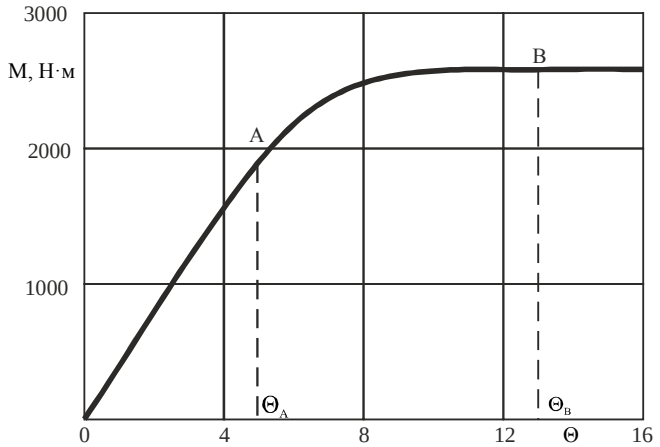

Рис. 1. **Залежність $M_\varphi = f(\Theta)$ моменту опору повороту шини керованого колеса на місці від кута повороту колеса Θ [6]**

З аналізу робіт [6, 9] випливає, що на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення при повороті керованого колеса на кут до 5° (ділянка OA) відбувається пружне закручування тіла шини, яке знаходиться між жорстким ободом і контактним відбитком шини, кожна точка якого знаходиться в стані зчеплення з опорною поверхнею. Момент опору повороту шини на цій ділянці залежить лише від сил пружної деформації тіла шини. Залежність моменту опору повороту шини на місці від кута повороту Θ на цій ділянці, з достатньою для практичних розрахунків точністю, рекомендується у роботі [6] визначати так:

$$M_\varphi = c_\omega \Theta, \qquad (2)$$

де c_ω – кутова жорсткість шини, яка визначається при повороті керованого колеса на місці на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення та залежить від навантаження на кероване колесо, тиску повітря в шині, типу шини.

При кутах повороту керованого колеса в межах 5–13° (ділянка AB) контактний відбиток шини буде мати зони ковзання та зчеплення. У міру збільшення кута повороту площа зон зчеплення зменшується, а зон ковзання збільшується. Момент опору повороту шини на цій ділянці можна визначити за запропонованою А. П. Солтусом у роботі [6] залежністю:

$$M_\varphi = M_{\varphi max} - \left(M_{\varphi max} - c_\omega \Theta_A\right)\left(\frac{\Theta_B - \Theta}{\Theta_B - \Theta_A}\right)^2, \tag{3}$$

де $M_{\varphi max}$ – граничний за зчепленням момент опору повороту шини; Θ_A – найбільший кут повороту колеса на місці, при якому зберігається умовно лінійна залежність функції $M_\varphi = f(\Theta)$. На опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення рекомендується у роботі [6] брати $\Theta_A = 5^0$; Θ_B – найменший кут повороту колеса на місці, при якому момент опору повороту шини набуває граничного за зчепленням значення $M_{\varphi max}$. На опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення рекомендується в роботі [6] брати $\Theta_B = 13^0$.

Поворот керованого колеса на кут більший за 13° призведе до відсутності зон зчеплення в контакті шини з опорною поверхнею. При цьому кожна точка контактного відбитка буде ковзати по опорній поверхні. На цій ділянці момент опору повороту шини набуває свого максимального значення $M_{\varphi max}$ і не залежить від кута повороту Θ.

На основі проведених досліджень А. П. Солтус дійшов до висновку, що величину моменту опору повороту шини у повному діапазоні кута повороту керованого колеса можна описати трьома залежностями.

Щодо граничного за зчепленням моменту опору повороту шини, то його дослідженню присвячені роботи [1–7, 9–10]. Найбільш глибоко цей момент було досліджено у роботах В. В. Редчица [7] та А. П. Солтуса [6, 9]. Для отримання універсальних залежностей для визначення цього моменту автори приводять відбиток шини, що може мати форму овалу, еліпса, круга, до рівновеликого прямокутника. Отриманий прямокутник ділять на чотири прямокутники так, що точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею є загальною вершиною для кожного з них. У цьому випадку величина моменту опору повороту шини буде дорівнювати сумі моментів опору повороту кожного із прямокутників.

У роботі [7] автор наводить залежність, яку отримано за умови, що рівнодіючу сил тертя-ковзання прикладено у геометричному центрі кожного із чотирьох прямокутників, коефіцієнти зчеплення та нормальний тиск у кожній точці контактного відбитка однакові:

$$M_\varphi = \frac{1}{16} p\varphi \begin{bmatrix} (b+2l_0)(a+2y)\sqrt{(b+2l_0)^2+(a+2y)^2} + (b+2l_0)(a-2y)\sqrt{(b+2l_0)^2+(a-2y)^2} + \\ +(b-2l_0)(a-2y)\sqrt{(b-2l_0)^2+(a-2y)^2} + (b-2l_0)(a+2y)\sqrt{(b-2l_0)^2+(a+2y)^2} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

де p – питомий тиск шини на опорну поверхню; φ – коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею; a, b – поздовжня та поперечна осі контактного відбитка шини; l_0, y – зміщення центра повороту (точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею) відносно поздовжньої та поперечної осі контактного відбитка.

У роботі [6] момент опору повороту кожного прямокутника визначається розв'язанням подвійного інтеграла $M_{\varphi max} = \varphi p \int_0^a \int_0^b \sqrt{x^2+y^2}\,dydx$. Представлена у цій роботі залежність для визначення граничного за зчепленням моменту опору повороту шини має вигляд:

$$M_{\varphi max} = \frac{\varphi G_к}{6ab}\left[\begin{array}{l} a_1^3 ln\frac{b_1+\sqrt{a_1^2+b_1^2}}{a_1} + 2a_1b_1\sqrt{a_1^2+b_1^2} + b_1^3 ln\frac{a_1+\sqrt{a_1^2+b_1^2}}{b_1} + \\ + a_2^3 ln\frac{b_2+\sqrt{a_2^2+b_2^2}}{a_2} + 2a_2b_2\sqrt{a_2^2+b_2^2} + b_2^3 ln\frac{a_2+\sqrt{a_2^2+b_2^2}}{b_2} + \\ + a_3^3 ln\frac{b_3+\sqrt{a_3^2+b_3^2}}{a_3} + 2a_3b_3\sqrt{a_3^2+b_3^2} + b_3^3 ln\frac{a_3+\sqrt{a_3^2+b_3^2}}{b_3} + \\ + a_4^3 ln\frac{b_4+\sqrt{a_4^2+b_4^2}}{a_4} + 2a_4b_4\sqrt{a_4^2+b_4^2} + b_4^3 ln\frac{a_4+\sqrt{a_4^2+b_4^2}}{b_4} \end{array}\right], \quad (5)$$

де $a_1 = \frac{a}{2} - y$, $b_1 = \frac{b}{2} - l_0$; $a_2 = \frac{a}{2} - y$, $b_2 = \frac{b}{2} + l_0$; $a_3 = \frac{a}{2} + y$, $b_3 = \frac{b}{2} + l_0$; $a_4 = \frac{a}{2} + y$, $b_4 = \frac{b}{2} - l_0$; y – плече стабілізації; l_0 – плече обкотки.

Наведені залежності (4), (5) дозволяють визначити граничний за зчепленням момент опору повороту шини керованого колеса при розташуванні центра повороту в межах контактного відбитка за умови, що при повороті на місці кероване колесо не перекочується по опорній поверхні.

З аналізу наведених залежностей видно, що граничний за зчепленням момент опору повороту шини залежить від навантаження на колесо, коефіцієнта зчеплення, розмірів контактного відбитка та положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно геометричного центра відбитка шини і не залежить від кута повороту Θ.

У роботі [8] автори наводять результати дослідження граничного за зчепленням моменту опору повороту шини керованого колеса при розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межами її контактного відбитка та заблокованому приводі. Експериментальні дослідження проводились на автомобілі високої прохідності сімейства «ВЕПР», обладнаного шинами розміром 12.00 – 20 моделі К-70, при значеннях плеча обкатки 147 і 252 мм. Аналіз результатів цих досліджень свідчить, що при повороті на місці шина керованого колеса із заблокованим приводом ковзає по опорній поверхні без перекочування, а центром повороту контактного відбитка є точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею. Отримано залежність для визначення граничного за зчепленням моменту опору повороту шини.

Разом з цим, у цій роботі автори зазначають, що при розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межами контактного відбитка процес повороту керованого колеса принципово змінюється, якщо привод керованого колеса розблокований. У цьому випадку керованому колесу надається додатковий ступінь вільності – поворот навколо осі цапфи. При повороті на місці таке кероване колесо перекочується по опорній поверхні. У цій роботі також зазначається практична та теоретична доцільність дослідження повороту на місці керованого колеса при розблокованому приводі та розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межами відбитка шини.

Висновки. Поворот на місці розблокованого керованого колеса з пневматичною шиною за відсутності його кочення по опорній поверхні відбувається за умови розташування точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею в межах контактного відбитка. При цьому центром повороту відбитка шини вважається точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею. Існують залежності, що дозволяють визначити момент опору повороту шини на місці у повному діапазоні кута повороту колеса. Вони враховують навантаження на колесо, коефіцієнт зчеплення, розміри контактного відбитка, положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею відносно геометричного центра відбитка шини, кут повороту колеса.

Процес повороту на місці керованого колеса з пневматичною шиною при розташуванні точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею за межами відбитка шини залежить від стану привода керованого колеса. При заблокованому приводі кероване колесо не перекочується по

опорній поверхні, а центром повороту контактного відбитка буде точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею. Відома залежність для визначення моменту опору повороту шини для для цього випадку. При розблокованому приводі кероване колесо буде перекочуватись по опорній поверхні. Поворот на місці такого керованого колеса в даній роботі не розглядається.

1. Гинцбург Л. Л. Расчет и выбор параметров гидравлической системы усилителя рулевого управления / Л. Л. Гинцбург // Автомобильная промышленность. – 1960. – № 1.
2. Литвинов А. С. Теория криволинейного движения колесных машин : дис. … доктора техн. Наук : 05.05.03 / Литвинов Андрей Сергеевич. – М., 1959. – 236 с.
3. Лукашенко П. П. Исследование нагрузочных режимов рулевого управления автомобиля : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Лукашенко Петр Петрович. – М., 1966. – 205 с.
4. Лысов М. И. Усилители рулевого управления автомобилей / М. И Лысов // Автомобильная промышленность. – 1955. – № 6 – С. 12–15
5. Митин Б. Е. Исследование основных конструктивных факторов, влияющих на легкость рулевого управления автомобиля : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.03 / Б. Е. Митин. – Минск, 1952. – 14 с.
6. Основы теории рабочего процесса и расчета колесных управляющих модулей : монография / А. П. Солтус. – Деп. в Укр. НИИНТИ №501-Ук90 ВИНИТИ "Деп. науч. труды", 1990. – № 7(290), б/о 203. – 234 с.
7. Редчиц В. В. Определение максимального момента сопротивления повороту управляемых колес на месте / В. В. Редчиц // Автомобильная промышленность. – 1973. – № 9. – С. 17 – 18.
8. Солтус А. П. Вплив плеча обкатки на граничний за зчепленням момент повороту шини // А. П. Солтус, В. І. Пилипенко // Вісник КДПУ. – 2008. – № 1 (48). – Ч. 1. – С. 71–74.
9. Солтус А. П. Основы теории рабочего процесса и расчёта колёсных управляющих модулей : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.03 / Солтус Анатолий Петрович. – К., 1994. – 250 с.
10. Чайковский И. П. Исследование нагрузок, действующих на детали рулевого управления колесных машин / И. П. Чайковский // «Весник техники» – 1965. – № 3. – С. 15–20.

Стаття надійшла до редакції 07.04.2014.

©Е.С.Клімов