

УДК 629.113

В.П. Сахно, професор, д-р техн. наук*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна***В.О. Банніков, ст. викладач,****В.Г. Вербицький, професор, д-р фіз.-мат. наук,****А.Є. Бондаренко, доцент, канд. техн. наук***Донецька академія автомобільного транспорту, м. Донецьк, Україна***АНАЛІЗ ПОВОРОТКОСТІ ТРИКОЛІСНОГО ЕКІПАЖУ**

Розглянуто уточнені рівняння плоскопаралельного руху моделі триколісного мікроавтомобіля із закріпленням рульовим керуванням, отримані значення кутів повороту керованого модуля, що забезпечують рух по колу з постійним радіусом при варіації поздовжньої швидкості; визначено градієнт недостатньої повороткості.

Ключові слова: триколісний мікроавтомобіль, керований модуль, градієнт недостатньої повороткості.

Постановка проблеми. Криволінійний рух характеризується поперечною складовою швидкості центру мас, радіусом повороту, кутами повороту керованих коліс й інтенсивністю зміни цих величин у випадку довільного (несталого) руху. Істотне зменшення довжини, ширини й збільшення кута повороту керованого модуля, реалізоване в триколісному екіпажі, дозволяють значно поліпшити оціночні показники маневреності. Однак, перехід до такої схеми вимагає додаткових досліджень, пов'язаних з урахуванням нелінійності сил відведення, зміною колісної бази в процесі керування і повороткості самого екіпажу.

Аналіз існуючих досліджень. Один з напрямків дослідження маневреності триколісного екіпажу пов'язаний з визначенням стійких кругових стаціонарних режимів [1, 2]. Поряд із чисельним інтегруванням диференціальних рівнянь руху моделі, що дає можливість простежити всю еволюцію зміни фазових змінних, поперечного прискорення й радіуса кривизни при вході екіпажу в поворот, можливий аналіз стаціонарних режимів на основі ітераційних чисельних методів. Це дозволяє визначити всю множину можливих стаціонарних режимів і далі виділити серед них стійкі, тобто реалізовані на практиці. Ці два підходи доповнюють одне одного й можуть гарантувати необхідну точність обчислень.

У наукових публікаціях, присвячених проблемам маневреності, найбільша увага приділяється проблемам маневреності автопоїздів [3, 4], задача в цьому випадку зводиться до вибору належного керування, що забезпечує відстеження траєкторії ведучої ланки (загалом кажучи, досить далекої від траєкторії з мінімально можливим радіусом) веденими ланками. У зв'язку з цим, уточнення вимагають постановки задач по визначенню граничних маневрених властивостей і повороткості екіпажу, що особливо актуально для триколісного екіпажу (урахування нелінійних залежностей сил відведення при наявності розвалу [5, 6], реального положення плями контакту, мінливості колісної бази, що обумовлено конструктивними особливостями компоновання мікроавтомобіля).

Мета статті. Визначення градієнту недостатньої повороткості, щодо триколісного екіпажу з урахуванням нахилу осі керованого модуля.

Основний розділ. Точність визначення параметрів кругового стаціонарного режиму залежить від повноти й ступеня адекватності математичної моделі. На рис.1 зображена розрахункова схема 3-х колісного екіпажу (один з геометричних параметрів R_D визначає відстань від центра повороту до точки D на поздовжній осі екіпажу, другий L_{CD} – відстань від центра мас C до точки D), що враховує основні геометричні характеристики реального прототипу. Так при повороті керованого модуля на кут ψ_0 , реалізується розвал χ_0 – наслідок поздовжнього нахилу передньої стійки; у цьому випадку крім сили відведення, викликаній ненульовим кутом відведення, з'являється складова, викликана кутом розвалу. Вплив п'яткового моменту на параметри стаціонарного режиму не враховано, бо в порівнянні з моментом бічної сили відносно вертикальної він значно менший.

Геометричні та інерційно-масові характеристики розрахункової схеми триколісного екіпажу наведені в [1], на рисунку 1 позначені лише традиційні для плоскої моделі кінематичні та геометричні характеристики:

a ; b – відстань від центра мас екіпажу до передньої (керованої) осі й відповідно до задньої осі:
 $a = c_w - l_f$; $b = l_r$;

$2H$ – колія;

V – поздовжня складова швидкості центра мас;

u_c – поперечна складова швидкості центра мас;

ω – кутова швидкість екіпажу щодо вертикальної осі;

θ – курсовий кут передньої стійки відносно корпусу.

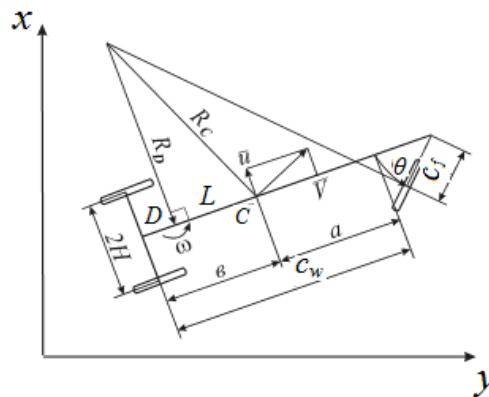


Рисунок 1 – Розрахункова схема триколісного екіпажу

Визначимо швидкість ЦМ автомобіля щодо полюса. За полюс вибирається центр задньої осі екіпажа. Швидкість будь-якої точки тіла в плоскопаралельному русі складається зі швидкості полюса (поступальний рух разом з полюсом) і швидкості точки щодо полюса (швидкість обертального руху навколо полюса). Полюс має швидкість $\{V, u\}$, швидкість ЦМ $\{V, u + b\omega\}$.

Замість лінеаризованих виразів для курсового кута θ і кута розвалу χ в існуючі рівняння руху [1] підставимо їх точні вирази $\theta = \arctg(\tg(\psi) \cos(\lambda))$, $\chi = \arcsin(\sin(\psi) \sin(\lambda))$.

Диференціальні рівняння руху триколісного екіпажу:

- в поперечному напрямі

$$m_t(U - V\omega) - m_t l_t \varepsilon_\theta - m_f d \varepsilon_\psi + \alpha_f((u - c_w \omega + c_f \Psi) / V + \arctg(\tg(\psi) \cos(\lambda)) + \alpha_{r1} u / (V - H\omega) + \alpha_{r2} u / (V + H\omega) + K_f \arcsin(\sin(\psi) \sin(\lambda)) = 0; \quad (1)$$

- відносно вертикальної осі

$$(m_r l_r^2 + R_{zz} + m_f(c_w + l_f)^2 + F_{zz})\varepsilon_\theta + (-F_{yz} \sin(\lambda) + m_f d(c_w + l_f) + F_{zz} \cos(\lambda)) \varepsilon_\psi - m_t l_t (U - V\omega) - C_f V \Psi \sin(\lambda) / R_k - M_\psi \cos(\lambda) - c_w \alpha_f((u - c_w \omega + c_f \Psi) / V + \arctg(\tg(\psi) \cos(\lambda)) - c_w K_f \arcsin(\sin(\psi) \sin(\lambda)) = 0; \quad (2)$$

- відносно осі керованого модуля

$$(-F_{yz} \sin(\lambda) + m_f d(c_w + l_f) + F_{zz} \cos(\lambda))\varepsilon_\theta + (m_f d^2 - 2 F_{yz} \sin(\lambda) \cos(\lambda) + F_{yy} \sin^2(\lambda) + F_{zz} \cos^2(\lambda)) \varepsilon_\psi - m_f(U - V\omega)d + C_f V \omega \sin(\lambda) / R_k + M_\psi + c_f \alpha_f((u - c_w \omega + c_f \Psi) / V + \arctg(\tg(\psi) \cos(\lambda)) + c_f K_f \arcsin(\sin(\psi) \sin(\lambda)) - g v \sin(\lambda) \psi = 0. \quad (3)$$

Щоб проаналізувати маневреність та поворотність екіпажу на основі чисельного інтегрування, а саме отримати значення параметрів керування V і ψ , які забезпечують сталість R_D при варіюванні параметра поздовжньої швидкості, приведемо рівняння руху до нормального виду Коші (розв'яжемо систему рівнянь руху відносно старших похідних):

$$\dot{u} = f_1(V, \psi, \omega, u); \quad \dot{\omega} = f_2(V, \psi, \omega, u). \quad (4)$$

Система (4) має лише дві фазові змінні u , ω , оскільки керований модуль будемо вважати жорстко «зафіксованим»: $\psi = \text{const}$, $\Psi = 0$.

Чисельне моделювання виконано для трьох фіксованих значень радіуса повороту і наведено в таблиці 1 $R_D = 8; 15; 25$ м, (V , м/с ; ψ , рад).

Таблиця 1 – Результати чисельного моделювання руху мікроавтомобіля

R_D , м	V_1 , м/с	a_{1yc} , м/с	ψ_1 , рад	V_2 , м/с	a_{2yc} , м/с	ψ_2 , рад	V_3 , м/с	a_{3yc} , м/с	ψ_3 , рад
8	1,5	0,28	0,250	3,5	1,53	0,258	5,5	3,78	0,265
15	1,5	0,15	0,134	3,5	0,82	0,138	5,5	2,02	0,142
25	3,5	0,49	0,083	5,5	0,49	0,086	9,5	3,61	0,096

Діаграму поворотності триколісного екіпажа побудовано за допомогою методу найменших квадратів. При цьому K_u визначено як тангенс нахилу залежності $\psi = f(a_{yc})$.

Співставлення отриманих результатів з традиційним [4], виглядом прямої поворотності

$$\psi = c_w / R_D + K_u a_{yc}; \quad K_u = (\bar{k}_2 - \bar{k}_1) / \bar{k}_1 \bar{k}_2, \quad (5)$$

вказує на необхідність корекції загального вигляду градієнта недостатньої поворотності та кута Акермана у виразі (5) для випадку ненульового кута нахилу передньої стійки.

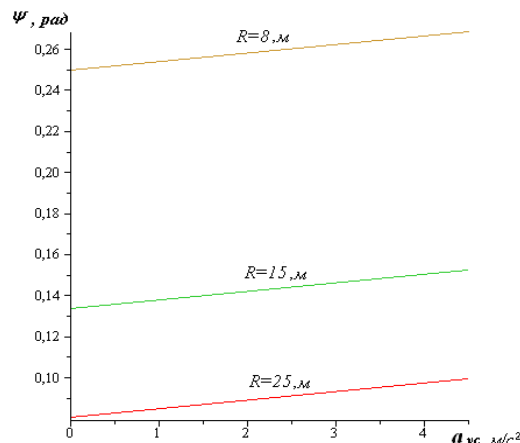


Рисунок 2 – Діаграма поворотності триколісного екіпажу при різних радіусах повороту

Висновки. В усіх трьох розглянутих випадках $R_D = 8; 15; 25$ м градієнт недостатньої поворотності K_u має одне й теж значення, а саме: $K_u = 0,004$, тобто конструктивні особливості моделі, а саме нахил керованої стійки, призводять до суттєвої кількісної зміни градієнту недостатньої поворотності; величини кутів Акермана теж зазнають певних змін в порівнянні з їх класичним визначенням.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Сахно В.П. Вплив конструктивних параметрів триколісного екіпажу на його маневреність / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, В.О. Банніков // Вісник центрального наукового центру транспортної академії наук, окремий випуск. Автошляховик України. — Червень 2009. — Вип. 12. — С. 178–183.
2. Лобас Л.Г. Неголономные модели колесных экипажей / Л.Г. Лобас. — Киев: Наук. думка, 1986. — 232 с.
3. Сахно В.П. К определению габаритной полосы движения неуправляемого автопоезда / В.П. Сахно, В.М. Поляков, А.М. Таранов // Автомоб. транспорт: респ. міжвід. наук.-техн. зб. — К., 1988. Вип. 25. — С. 67–71.
4. Поляков В.М. Модульный автопоезд для дорожных экспериментальных исследований / В.М. Поляков, А.Н. Тимков, А.В. Горпинюк // Автомобильный транспорт. — Харьков: ХНАДУ, 2003. — № 13. — С. 68–70.
5. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. — М.: Машиностроение, 1978. — 376 с.
6. Gillespie, Thomas D. Fundamentals of Vehicle Dynamics / Thomas D. Gillespie // Society of Automotive Engineers, Inc. — 1992. — 470 p.

Надійшла до редакції 27.05.2011 р.

Сахно В.П., Банников В.О., Вербицкий В.Г., Бондаренко А.Е. Анализ поворачиваемости трехколесного экипажа

Рассмотрены уточненные уравнения плоскопараллельного движения модели трехколесного микроавтомобиля с закрепленным рулевым управлением, получены значения углов поворота управляемого модуля, которые обеспечивают движение по кругу с постоянным радиусом при вариации продольной скорости; определен градиент недостаточной поворачиваемости.

Ключевые слова: трехколесный микроавтомобиль, управляемый модуль, градиент недостаточной поворачиваемости.

Sahno V.P., Bannikov V.O., Verbickij V.G., Bondarenko A.E. Analysis of three-wheel steer crew

The specified equalizations of trivial parallel motion of model of the three-wheeled micro car are considered with the envisaged steering management, got values of corners of turn of the guided module, that provide motion on a circle with a permanent radius at variation of longitudinal speed; the gradient of insufficient agility is certain.

Keywords: three-wheeled micro car, guided module, gradient of insufficient agility.