

М.А. Подригало,
О.С. Полянський,
Є.О. Дубінін,
М.В. Краснокутський,
В.А. Литвин

ПІДВИЩЕННЯ КЕРОВАНОСТІ ЗАДНЬОПРИВІДНОГО АВТОМОБІЛЯ З МОТОР-КОЛЕСАМИ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

У дослідженні розглянуто питання підвищення керованості колісних машин, запропоновано підвищити керованість задньопривідного автомобіля з мотор-колесами при повороті за рахунок усунення нелінійності типу «зони нечутливості». Запропоновано використовувати калібровану систему, що має два ступені свободи, з можливістю використання спільно кінематичного та динамічного способу повороту. В результаті отримано рівняння, що дозволяє організувати управління поворотом задньопривідного автомобіля з мотор-колесами за умови відсутності нелінійності типу «зона нечутливості». Для реалізації вказаного повороту необхідно проводити вимірювання маси автомобіля, коефіцієнта опору кочення коліс, середнього кута повороту напрямних коліс, положення центру мас автомобіля, крутних моментів на задніх привідних колесах.

Отримані результати мають важливе значення для поліпшення керованості колісних машин, забезпечуючи безпеку та надійність їхньої експлуатації.

Ключові слова: колісна машина, керованість, зона нечутливості, управління поворотом.

Abstract

The study considers the issue of increasing the controllability of wheeled vehicles, proposes to increase the controllability of a rear-wheel drive vehicle with motor wheels when turning by eliminating the nonlinearity of the “zone of insensitivity” type. Proposed to use the calibrated system with two degrees of freedom, with the possibility of using both kinematic and dynamic turning methods. As a result, an equation is obtained that allows organizing the control of turning a rear-wheel drive vehicle with motor wheels in the absence of a nonlinearity of the “zone of insensitivity” type. To realize the specified turn, it is necessary to measure the vehicle mass, wheel rolling resistance coefficient, average angle of rotation of the guide wheels, position of the vehicle's center of mass, and torques on the rear drive wheels.

The results obtained are important for improving the controllability of wheeled vehicles, ensuring the safety and reliability of their operation.

Key words: wheeled vehicle, controllability, zone of insensitivity, steering control.

Маневреність є однією з найважливіших експлуатованих властивостей автомобілів та інших колісних машин. Тому дослідженню комплексної експлуатаційної властивості автомобілів маневреності, а також складових її більш простих властивостей: керованості, поворотливості і стійкості – присвячено значну кількість наукових досліджень [1-6]. Комбінований спосіб управління поворотом знайшов переважне застосування на колісних тракторах, у зв'язку з чим підвищенню маневреності колісних тракторів у такий спосіб присвячені роботи [1,2].

Метою дослідження є підвищення керованості задньопривідних автомобілів з мотор-колесами за рахунок використання комбінованого способу керування. Для вирішення поставленої задачі розглянемо рівняння (1), яке можна перетворити до виду для задньопривідного автомобіля.

У роботі [1] отримано рівняння динаміки повороту чотириколісної повнопривідної машини з переднім напрямним мостом, що має такий вигляд

$$\frac{d}{dt}(Y_{zO_2} * \omega_z) = R''_{k_2} \left(R_2 + \frac{B}{2}\right) + R'_{k_2} \left(R_2 - \frac{B}{2}\right) + R''_{k_1} * R'_1 + R'_{k_1} * R'_1, \quad (1)$$

де Y_{zO_2} – момент інерції автомобіля відносно центру O_2 повороту,

$$Y_{zo_2} = m_2(i_z^2 + b^2 + L^2 \operatorname{ctg}^2 \bar{\alpha}), \quad (2)$$

де ω_z – кутова швидкість автомобіля у площині дороги;

i_z – радіус інерції автомобіля відносно вертикальної осі;

L – поздовжня колісна база автомобіля;

b – відстань від задньої осі до проекції центра мас на горизонтальну площу;

m_a – маса автомобіля;

B – колія автомобіля (приймається рівною для передньої і задньої осей);

R_2 – радіус повороту середини задньої осі автомобіля, якій визначається за формулою

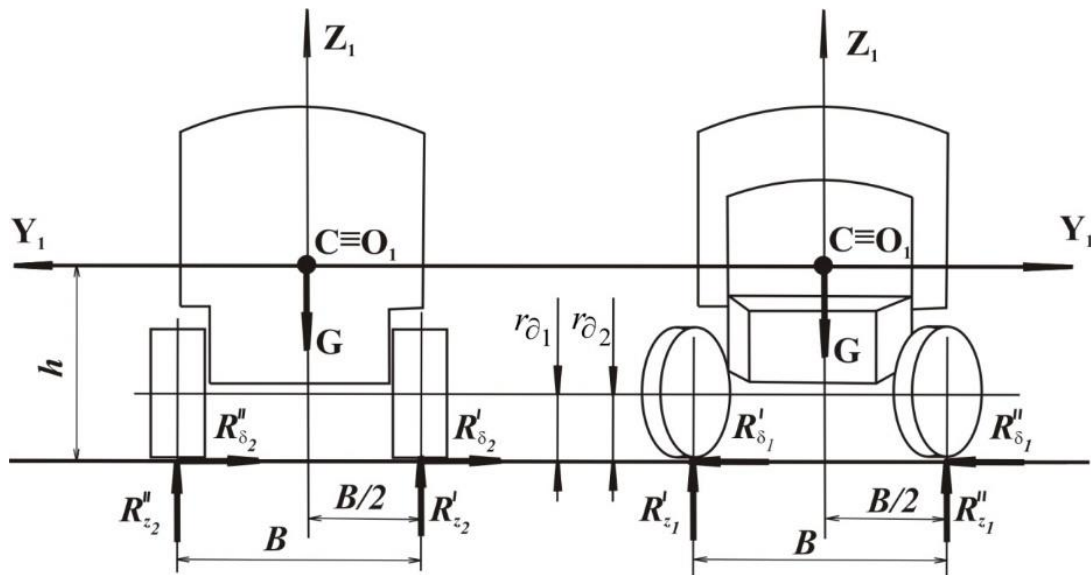
$$R_2 = L * \operatorname{ctg} \bar{\alpha}, \quad (3)$$

де $\bar{\alpha}$ – серединний кут повороту напрямних передніх коліс автомобіля;

$R''_{k_1}; R'_{k_1}$ – дотичні реакції дороги на внутрішньому та зовнішньому задніх ведучих колесах автомобіля;

$R'_1; R'_1$ – радіуси повороту передніх внутрішнього та зовнішнього коліс.

Для визначення нормальних реакцій R'_{z_2} і R''_{z_2} розглянуто схему навантаження автомобіля при русі на повороті (рис.1).



а – вид позаду; б – вид спереду

Рисунок 1 – Схема сил, діючих на автомобіль у поперечній площині при повороті

Нормальні реакції дороги на задніх колесах при повороті автомобіля (рис.3а) визначаються за формулами

$$R'_{z_2} = 0.5m_a g \frac{a}{L} - P_{\text{ц}} \frac{a}{L} \frac{h}{B}; \quad (4)$$

$$R''_{z_2} = 0.5m_a g \frac{a}{L} + P_{\text{ц}} \frac{a}{L} \frac{h}{B}, \quad (5)$$

де a – відстань від передньої осі до проекції центру мас автомобіля на горизонтальну площину (рис.1);

$P_{\text{ц}}$ – відцентрова сила інерції, яка визначається за формулою

$$P_{\text{ц}} = m_a \omega_z^2 R_c; \quad (6)$$

R_c – радіус повороту центру мас автомобіля визначається як

$$R_c = \sqrt{R_2^2 + b^2} = \sqrt{L^2 \tan^2 \bar{\alpha} + b^2} = L \sqrt{\frac{b^2}{L^2} + \tan^2 \bar{\alpha}}. \quad (7)$$

В результаті проведених досліджень визначено необхідну різницю крутних моментів на задніх привідних колесах

$$\Delta M_k = 2 \left[\frac{m_a \cdot r \partial \cdot g f}{B \cdot \tan^2 \bar{\alpha}} (\tan \bar{\alpha} + 2b \operatorname{cosec} 2\bar{\alpha}) + \omega_z^2 \frac{m_a \cdot r \partial \cdot a h f}{\tan \bar{\alpha}} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \tan^2 \bar{\alpha}} - \frac{L}{B \tan \bar{\alpha}} (M''_{k_2} + M'_{k_2}) \right]. \quad (8)$$

Таким чином отримано рівняння (8), що дозволяє організувати управління поворотом задньопривідного автомобіля з мотор-колесами за умови відсутності нелінійності типу «зона нечутливості». Для реалізації умови необхідно виміряти такі параметри: масу автомобіля m_a ; коефіцієнт опору кочення f ; середній кут повороту напрямних коліс $\bar{\alpha}$; координати центру мас автомобіля a, b, h ; крутні моменти на задніх привідних колесах M''_{k_2}, M'_{k_2} .

В результаті проведеного дослідження запропоновано підвищити керованість задньопривідного автомобіля з мотор-колесами при повороті за рахунок усунення нелінійності типу «зони нечутливості». Для вирішення зазначеної задачі запропоновано використати калібровану систему, що має два ступені свободи, з можливістю використання спільно кінематичного та динамічного способу повороту. В результаті проведеного дослідження отримано рівняння, що дозволяє організувати управління поворотом задньопривідного автомобіля з мотор-колесами за умови відсутності нелінійності типу «зона нечутливості». Для реалізації вказаного повороту необхідно проводити вимірювання маси автомобіля, коефіцієнта опору кочення коліс, середнього кута повороту напрямних коліс, розташування центру мас автомобіля, крутні моменти на задніх привідних колесах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобошко О. А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд техн наук: спец. 05.02.02 «Автомобілі і трактори» / О. А. Бобошко. - Харків, 2002. - 20 с.
2. Бобошко О. А. Наукові основи підвищення показників автомобілів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.02.02 "Автомобілі і трактори" / О. А. Бобошко. - Харків, 2019. - 40 с.
3. Гармаш В.П. Поліпшення маневреності колісних машин шляхом використання роздільного приводу коліс поворотного мосту: дис. канд. техн. наук: 274- Автомобільний транспорт / Гармаш В'ячеслав Петрович. - Харків, 2023. - 189 с.
4. Підвищення маневреності колісного транспортного засобу шляхом вдосконалення способу управління поворотом / М.А. Подригало, В.П. Гармаш та ін. // Вісник національного технічного університету "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР. №1. 2023. С. 68-75.
5. Траяновська. У.П., Поксидаєв С.П. Моделювання криволінійного руху колісних та гусеничних тракторних агрегатів. Монографія. - Київ: АграрМедіаГруп, 2013. – 303 с.
6. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. Маневреність. Керованість. Стійкість: [навчальний посібник] / В.П. Сахно, В.М. Поляков, А.В. Костенко [та ін.]; Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015. - 400 с.

Подригало Михайло Абович, д.т.н., професор, завідувач кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: pmikhab@gmail.com

Полянський Олександр Сергійович, д.т.н., професор, професор кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: khadi.pas@gmail.com

Дубінін Євген Олександрович, д.т.н., професор, професор кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: dubinin-gmn@ukr.net

Краснокутський Максим Володимирович, аспірант кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: simson1988@ukr.net

Литвин Віталій Анатолійович, аспірант кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: litvinitaliy7@gmail.com