

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, РЕМОНТА И СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ

УДК 629.113-592

ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ «КРАБОМ»

М.А. Подригало, проф., д.т.н., О.О. Бобошко, к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Р.О. Кайдалов, докторант, к.т.н., А.І. Нікорчук, ад'юнкт, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Анотація. Запропоновано спосіб руху автомобіля по прямій під кутом до своєї поздовжньої осі за рахунок повороту передніх напрямних коліс й одночасного загальмування коліс зовнішнього борту. Отримано рівняння, що описує умову забезпечення руху «крабом» повноприводного автомобіля.

Ключові слова: комбінований спосіб, рух автомобіля, крутні моменти, рух «крабом».

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ «КРАБОМ»

М.А. Подригало, проф., д.т.н., А.А. Бобошко, к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Р.О. Кайдалов, докторант, к.т.н., А.И. Никорчук, адъюнкт, Национальная академия Национальной гвардии Украины, г. Харьков

Аннотация. Предложен способ движения автомобиля по прямой под углом к своей продольной оси за счет поворота передних направляющих колес и одновременного торможения колес внешнего борта. Получено уравнение, описывающее условие обеспечения движения «крабом» полноприводного автомобиля.

Ключевые слова: комбинированный способ, движение автомобиля, крутящие моменты, движение «крабом».

APPLICATION OF A COMBINATION METHOD OF VEHICLE CONTROL FOR THE IMPLEMENTATION OF VEHICLE CRIP MOTION

M. Podryhalo, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Boboshko, Cand. Sc. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University, R. Kaidalov, P. G. student, Cand. Sc. (Eng.), A. Nikorchuk, Adj., National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv

Abstract. A method of vehicle straight angle motion relative its axial axis by turning the front wheels and simultaneous braking of the external side wheels is offered. An equation describing the condition of four-wheel drive vehicle crip motion is obtained.

Key words: combined method, vehicle movement, torque, crip motion.

Вступ

У наш час з'явилися автомобілі з усіма напрямними (поворотними) колесами. При повороті усіх коліс в один бік на однаковий кут автомобіль має можливість рухатись по прямій під кутом до своєї поздовжньої осі. Такий рух може здійснюватись під час паркування автомобілів або під час обгону; для спеціалізованих військових колісних машин – під час руху в натовпі для його розосередження, об'їзду пошкоджених машин автомобільної колони – у разі нападу на неї. Однак реалізувати такий спосіб маневрування на вантажних або багатоосьових машинах важко.

У статті запропоновано спосіб руху автомобіля по прямій під кутом до своєї поздовжньої осі за рахунок повороту передніх напрямних коліс й одночасного загальмування коліс зовнішнього борту.

Аналіз публікацій

Дослідженню руху автомобіля «крабом» присвячено роботи [1, 2]. Такий спосіб руху використовується для паркування автомобіля для більш точної його установки на потрібне місце. Вказаний спосіб руху вже не можна називати поворотом, оскільки відсутній поворот поздовжньої осі машини.

Тому у відомій літературі [1–3] він отримав назву маневру – «рух крабом». Такий маневр може використовуватись під час переходу з однієї смуги руху на іншу (маневр «перестановка»). «Рух крабом» при виконанні маневру «перестановка» дозволяє скоротити час на обгін без збільшення габаритів автомобіля у поперечному перерізі дороги, що позитивно впливає не тільки на безпеку руху, а й зменшує імовірність ураження військових машин.

Однак реалізація «руху крабом» з поворотом усіх коліс на вантажних та багатоосьових автомобілях пов'язана з багатьма конструктивними складнощами. Допомогти у вирішенні вказаного завдання може застосування комбінованого способу повороту [4], але під час загальмування коліс зовнішнього, а не внутрішнього борту [5].

Дослідженню комбінованого способу повороту колісних машин присвячено роботи [3–6].

На рис. 1 наведено схему повороту чотириколісної повноприводної машини [4, 6].

У роботах [4, 6] отримані рівняння динаміки кругового руху машини при комбінованому способі керування поворотом

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\text{tg}\bar{\alpha}}{1 + \frac{b^2 + l_z^2}{L^2} \text{tg}^2\bar{\alpha}} \times \left[\frac{1}{m \cdot L} \left(\frac{M_{k1}}{r_{d1}} + \frac{M_{k2}}{r_{d2}} \right) - \frac{fg}{L} - \frac{fh}{L^3} \right] \times \left[V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right] \text{tg}^2\bar{\alpha} + \frac{B}{2L^2 m} \text{tg}\bar{\alpha} \times \left[\frac{M''_{k1} - M'_{k1}}{r_{d1}} - \frac{M''_{k2} - M'_{k2}}{r_{d2}} \right] \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість автомобіля у площині дороги; t – час; $\bar{\alpha}$ – середній кут повороту напрямних коліс,

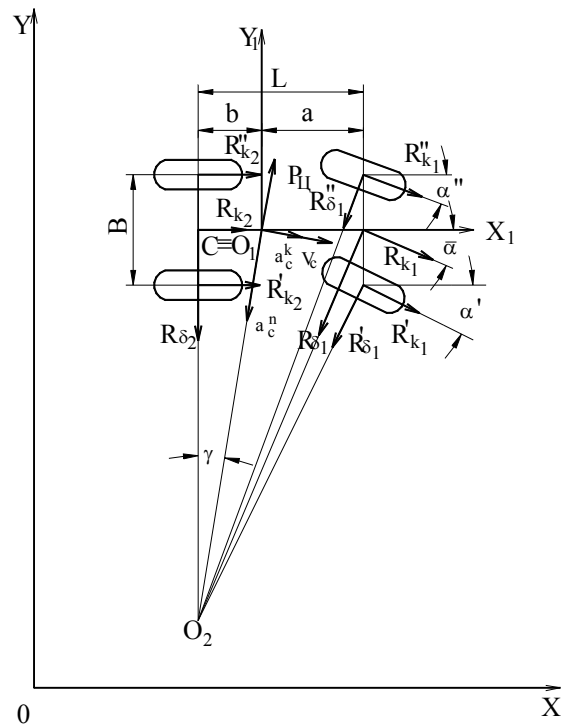


Рис. 1. Схема повороту чотириколісної повноприводної машини з переднім мостом [4, 6]

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{2}(\alpha' + \alpha''); \quad (2)$$

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

площину; m – маса автомобіля; L – поздовжня колісна база автомобіля; M_{k1} ; M_{k2} – сумарні крутні моменти на колесах передньої та задньої осей відповідно; r_{d1} ; r_{d2} – динамічні радіуси передніх і задніх коліс (допускається $r_{d1} = r_{d2} = r_d$); f – коефіцієнт опору кочення коліс автомобіля; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; h – висота центра мас автомобіля; i_z – радіус інерції автомобіля відносно вертикальної осі; V_{x1} – лінійна швидкість автомобіля у напрямку поздовжньої осі; M'_{k1} ; M''_{k1} – крутні моменти на внутрішньому і зовнішньому передніх колесах; M'_{k2} ; M''_{k2} – крутні моменти на внутрішньому і зовнішньому задніх колесах.

Із рівняння (1) видно, що різниці крутних моментів на ведучих колесах

$$\Delta M_{k1} = M''_{k1} - M'_{k1} \quad (3)$$

$$\Delta M_{k2} = M''_{k2} - M'_{k2} \quad (4)$$

збільшують кутове прискорення $d\omega/dt$ автомобіля у площині дороги. Якщо змінити знак указаних різниць на протилежний в рівнянні (1), то можна досягнути ситуації, при якій $d\omega/dt = 0$.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є визначення закону керування крутними моментами на колесах автомобіля, при реалізації якого можливий «рух крабом».

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити різницю крутних моментів на ведучих колесах автомобіля, що забезпечує «рух крабом»;
- провести аналіз отриманої залежності різниці крутних моментів від конструктивних параметрів автомобіля й експлуатаційних факторів.

Визначення потрібної різниці крутних моментів

Праву частину рівняння (1) можна подати у вигляді суми членів ряду парціальних прискорень. У цьому випадку рівняння (1), з урахуванням (3) та (4), набуде вигляду

$$\frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega}_m + \dot{\omega}_f + \dot{\omega}_{\Delta m}, \quad (5)$$

де $\dot{\omega}_m$ – парціальне прискорення ($\dot{\omega}_m > 0$), що створюється сумарними крутними моментами на ведучих колесах,

$$\dot{\omega}_m = \frac{\overline{\text{tg}\alpha}}{m \cdot L \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right)} \frac{M_{k1} + M_{k2}}{r_d}; \quad (6)$$

$\dot{\omega}_f$ – парціальне прискорення ($\dot{\omega}_f < 0$), що створюється силами опору кочення на колесах автомобіля,

$$\dot{\omega}_f = - \frac{f \cdot \overline{\text{tg}\alpha}}{L \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right)} \times \left[g + \frac{h}{L^2} \left(V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right) \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right], \quad (7)$$

де $\dot{\omega}_{\Delta m}$ – парціальне прискорення ($\dot{\omega}_{\Delta m} > 0$), що створюється сумарними крутними моментами на передніх та задніх ведучих колесах,

$$\dot{\omega}_{\Delta m} = \frac{B}{2L^2 \cdot m} \frac{\overline{\text{tg}^2 \alpha}}{1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha}} \times \frac{\Delta M_{k1} + \Delta M_{k2}}{r_d}. \quad (8)$$

Для отримання $d\omega/dt = 0$ необхідно прирівняти праву частину рівняння (5) до нуля

$$\dot{\omega}_{\Delta m} = - \left(\dot{\omega}_m + \dot{\omega}_f \right) \quad (9)$$

або, з урахуванням (6) та (7), отримаємо

$$\dot{\omega}_{\Delta m} = \frac{\overline{\text{tg}\alpha}}{L \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right)} \times \left[fg + \frac{fh}{L^2} \left(V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right) \text{tg}^2 \overline{\alpha} - \frac{M_{k1} + M_{k2}}{m \cdot r_d} \right] \quad (10)$$

або

$$\dot{\omega}_{\Delta M} = -\frac{\overline{\text{tg}\alpha}}{L\left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha}\right)} \times \left[\frac{M_{k1} + M_{k2}}{m \cdot r_d} - fg - \frac{fh}{L^2} \left(V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right) \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right] \quad (11)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (8) та (11), отримаємо

$$\Delta M_{k1} + \Delta M_{k2} = -\frac{2L}{B \cdot \text{tg}\overline{\alpha}} \left\{ M_{k1} + M_{k2} - f \cdot m \cdot r_d \times \left[g + \frac{h}{L^2} \left(V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right) \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right] \right\} \quad (12)$$

або

$$\sum \Delta M_{k1} = -\frac{2L}{B \cdot \text{tg}\overline{\alpha}} \left\{ \sum M_k - f \cdot m \cdot r_d \times \left[g + \frac{h}{L^2} \left(V_{x1}^2 + b \frac{dV_{x1}}{dt} \right) \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right] \right\}, \quad (13)$$

де $\sum \Delta M_{k1}$ – сумарна різниця крутних моментів по бортах автомобіля; $\sum M_k$ – сумарний крутний момент на колесах автомобіля.

Отримане рівняння (13) дозволяє визначити потрібну, за умови «руху крабом», сумарну різницю крутних моментів по бортах автомобіля.

Аналіз отриманої залежності

Сумарний крутний момент на ведучих колесах може бути розрахований як

$$\sum M_k = r_d \left(P_f + P_w + m \dot{V}_{x1} \right), \quad (14)$$

де P_f – сила опору кочення коліс автомобіля;

$$P_f = m \cdot g \cdot f; \quad (15)$$

P_w – сила аеродинамічного опору.

Оскільки у роботах [3, 5] при отриманні рівняння (1) сила опору повітря P_w не враховувалась, то вираз (14) також спроститься

$$\sum M_k = r_d \left(P_f + m \dot{V}_{x1} \right). \quad (16)$$

Після підстановки (16) у (13) отримаємо

$$\sum \Delta M_k = -\frac{2L \cdot m \cdot r_d}{B \cdot \text{tg}\overline{\alpha}} \times \left[\frac{dV_{x1}}{dt} \left(1 - fb \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right) - f \frac{h}{L} V_{x1}^2 \cdot \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right]. \quad (17)$$

Оскільки

$$fb \frac{h}{L} \text{tg}^2 \overline{\alpha} \ll 1, \quad (18)$$

то вираз (17) можна спростити до вигляду

$$\sum \Delta M_k = -\frac{2L \cdot m \cdot r_d}{B \cdot \text{tg}\overline{\alpha}} \left[\frac{dV_{x1}}{dt} - f \frac{h}{L^2} V_{x1}^2 \cdot \text{tg}^2 \overline{\alpha} \right]. \quad (19)$$

На рис. 2 наведені графіки залежності $\sum \Delta M_{k1}(V_{x1})$ за умови різних значень dV_{x1}/dt .

Із рівняння (19) видно, що $\sum \Delta M_k = 0$ у випадку

$$\frac{dV_{x1}}{dt} = f \frac{h}{L^2} V_{x1}^2 \text{tg}^2 \overline{\alpha}. \quad (20)$$

Графік залежності $\frac{dV_{x1}}{dt}(V_{x1})$ за умови різних значень $f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha}$ наведено на рис. 3.

Залежність швидкості V_{x1} автомобіля від часу t , реалізація якої дозволяє забезпечити рух автомобіля «крабом» без створення різниці крутних моментів по бортах, може бути визначена шляхом вирішення диференціального рівняння (20) першого порядку зі змінними, що розділяються. Розв'язок маємо у вигляді

$$V_{x1} = \frac{1}{C - f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \overline{\alpha}}, \quad (21)$$

де C – стала генерування, яка визначається із граничних умов.

При $t = 0$ величини $V_{x1} = V_{x10}$. Ми не можемо взяти $V_{x10} = 0$, оскільки при цьому $C \rightarrow \infty$. З урахуванням граничних умов вираз (21) набуде вигляду

$$V_{x1} = \frac{V_{x10}}{1 - f \frac{h}{L^2} V_{x10} \cdot \text{tg}^2 \bar{\alpha} \cdot t}. \quad (22)$$

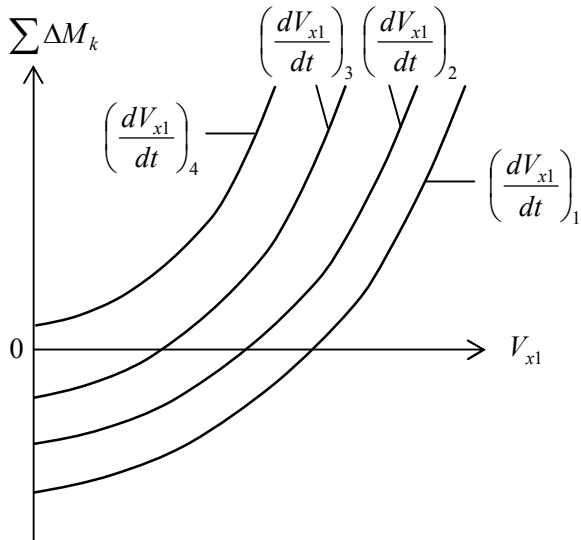


Рис. 2. Графіки залежності $\sum \Delta M_k(V_{x1})$ за різних значень dV_{x1}/dt :

$$\left(\frac{dV_{x1}}{dt}\right)_4 < \left(\frac{dV_{x1}}{dt}\right)_3 < \left(\frac{dV_{x1}}{dt}\right)_2 < \left(\frac{dV_{x1}}{dt}\right)_1$$

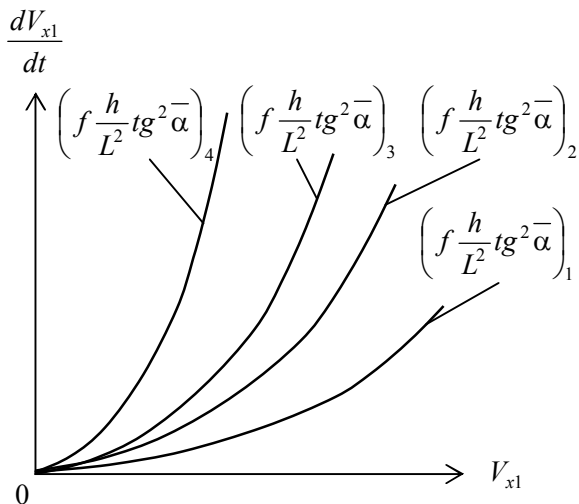


Рис. 3. Графіки залежності $\frac{dV_{x1}}{dt}(V_{x1})$ за різних значень $f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}$:

$$\text{них значень } f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}:$$

$$\left(f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}\right)_1 < \left(f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}\right)_2 < \left(f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}\right)_3 < \left(f \frac{h}{L^2} \text{tg}^2 \bar{\alpha}\right)_4$$

Вираз (22) характеризує залежність лінійної швидкості автомобіля від часу, реалізація якої дозволить здійснити «рух крабом» без створення різниці крутних моментів по бортах. Таким чином, аналіз отриманої залежності (19) дозволяє оцінити можливість руху автомобіля «крабом» без створення різниці крутних моментів по бортах.

Висновки

Унаслідок проведеного дослідження отримано рівняння, що описує умову забезпечення «руху крабом» повноприводного автомобіля. Аналіз отриманого рівняння дозволив оцінити можливість руху автомобіля «крабом» без створення різниці крутних моментів по бортах.

Література

1. Бобошко А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі і трактори» / А.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 19 с.
2. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колёсных машин / А.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2006. – 172 с.
3. Динамика автомобиля / М.А. Подригало, В.П. Волков, А.А. Бобошко, В.А. Павленко и др., под ред. М.А. Подригало. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 424 с.
4. Манёвренность и тормозные свойства колёсных машин / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 403 с.
5. Кайдалов Р.О. Застосування комбінованого способу повороту колісних машин для підвищення їх маневреності / Р.О. Кайдалов, А.І. Нікорчук // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки [гол. ред. Олексієнко Б.М.]. – 2015. – №2(64). – С. 174–183.
6. Підвищення маневреності колісних тракторів / М. Подригало, Л. Греко, А. Бобошко // Машинознавство. Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал. – 1999. – №10. – С. 55–58.

Рецензент: С.М. Шуклінов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 липня 2016 р.