

УДК 629.017



М. А. Подригало



А. А. Побережний



В. П. Гармаш

ПОЛІПШЕННЯ МАНЕВРЕНОСТІ ЧОТИРИВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ ЗБІЛЬШЕННЯМ ЧИСЛА СТУПЕНІВ РУХЛИВОСТІ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ

У статті досліджено шляхи підвищення маневреності чотиривісних повнопривідних автомобілів шляхом застосування різних схем керування колесами. Визначено взаємозв'язок між числом керуючих впливів на повороті в площині дороги чотиривісного повнопривідного автомобіля із двома поворотними платформами та числом ступенів рухливості останнього.

Ключові слова: чотиривісний повнопривідний автомобіль, число ступенів рухливості, маневреність автомобіля.

Постановка проблеми. У ході виконання службово-бойових завдань підрозділами Національної гвардії України виникає необхідність подолання вузьких проїздів вулиць і різного роду перешкод. У цьому випадку до показників маневреності автомобільної техніки висувають підвищені вимоги.

У даній статті обґрунтовано взаємозв'язок між маневреністю багатівісного (чотиривісного) повнопривідного автомобіля й числом ступенів рухливості його ходової частини. Визначено, що, якщо виконати передній і задній двохосьові ходові візки поворотними, це дозволить у п'ять разів збільшити число ступенів рухливості, порівнюючи з чотиривісним автомобілем, що має традиційну ходову частину з двома передніми керованими (напрямними) мостами.

Результати дослідження можуть бути корисними також при проведенні модернізації автомобільної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теорії механізмів і машин [1] розглядається структурна схема кінематичного ланцюга загального виду. Для просторових механізмів, що мають k вільних ланок, П. І. Сомовим (1887 р.) та А. П. Малишевим (1923 р.) запропоновані формули для визначення числа ступенів рухливості кінематичного ланцюга. Кінцевий вираз одержав назву формули Сомова–Малишева. Він має такий вигляд:

$$\omega = H - 6 = 6(k - 1) - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1, \quad (1)$$

де H – число ступенів свободи кінематичного ланцюга;

ω – число ступенів рухливості кінематичного ланцюга щодо нерухомої ланки;

k – число ланок кінематичного ланцюга;

$P_5; P_4; P_3; P_2; P_1$ – число кінематичних пар у кінематичному ланцюзі 5-го, 4-го, 3-го, 2-го та 1-го класів відповідно.

Варто нагадати [1], що клас кінематичної пари визначається числом обмежень, які накладаються на переміщення ланок, що складають кінематичну пару.

Для плоских механізмів у 1869 році П. Л. Чебишевим запропонована структурна формула визначення числа ступенів рухливості

$$\omega = 3n - 2P_5 - P_4, \quad (2)$$

де n – число рухомих ланок, $n = k - 1$.

Будь-який кінематичний ланцюг [1] можна уявити таким, що складається з нормального ланцюга й вихідного механізму. Оскільки число ступенів рухливості нормального ланцюга дорівнює нулю, то

число ступенів рухливості механізму дорівнює числу незалежних вихідних механізмів (числу незалежних зовнішніх рухів, переданих механізму).

Вихідний механізм є частиною механізму, через який здійснюється керування останнім. У статті [2] досліджений вплив числа ступенів рухливості на керованість двохосового автомобіля на прикладі виконання маневру «поворот». Показано, що крім здійснення керуючого впливу у вигляді повороту керуючих коліс, можливе також створення різниці кутових швидкостей (тягових зусиль) на колесах різних бортів колісних машин [3, 4, 5].

Якщо прийняти за вихідну величину системи, якою є ходова частина, кутову швидкість повороту автомобіля в площині дороги ω_z [2], то у випадку декількох паралельних керуючих впливів запропоновано використовувати рівняння повного диференціала

$$d\omega_z = \frac{\partial\omega_z}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_i} dx_i + \dots + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_m} dx_m = \sum_{i=1}^m \frac{\partial\omega_z}{\partial x_i} dx_i, \quad (3)$$

де m – число паралельних керуючих впливів;

x_i – i -й керуючий вплив.

У праці [2] показано, що збільшення ступенів рухливості автомобіля спричиняє зменшення часу наростання керуючого впливу t_n й часу здійснення маневру t_m , тобто забезпечує поліпшення маневреності колісної машини. Однак у цій праці досліджені тільки двохосові автомобілі й не розглянуті багатівісні, зокрема чотиривісні автомобілі.

Метою статті є сприяння підвищенню ефективності виконання підрозділами Національної гвардії України службово-бойових завдань шляхом покращення маневреності чотиривісних повнопривідних автомобілів завдяки застосуванню двох поворотних двохосових платформ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу визначення числа ступенів рухливості ходової частини повнопривідного чотиривісного автомобіля з двома поворотними двохосовими платформами.

Виклад основного матеріалу. Оскільки нами визначене, що число ступенів рухливості ходової частини визначається числом незалежних керуючих впливів, що здійснюють поворот автомобіля в площині дороги, то, визначивши кількість зазначених впливів, ми визначимо число ступенів рухливості ходової частини машини.

У таблиці 1 подані результати аналізу числа можливих незалежних керуючих впливів для здійснення повороту чотиривісного автомобіля в площині дороги.

Таблиця 1 – Визначення числа ступенів рухливості чотиривісного автомобіля

Схема керування колесами автомобіля	Число ступенів рухливості
1 Поворот однієї платформи (передньої або задньої)	
1.1 Один ведучий міст	2
1.2 Два ведучих моста	3
1.3 Роздільний привід ведучих коліс різних бортів	
– однієї осі	4
– двох осей	5
2 Поворот двох платформ	
2.1 Один ведучий міст	3
2.2 Два ведучих моста	4
2.3 Три ведучих моста	5
2.4 Чотири ведучих моста	6
2.5 Роздільний привід ведучих коліс різних бортів	10
3 Гальмування коліс одного борта автомобіля при двох поворотних платформах	
3.1 Однієї осі	7
3.2 Двох осей	8
3.3 Трьох осей	9
3.4 Чотирьох осей	10
4 Рух крабом при двох поворотних платформах і всіх ведучих колесах	2

З таблиці видно, що повнопривідний чотиривісний автомобіль із двома поворотними платформами при роздільному керуванні ведучими колесами дозволяє реалізувати 10 ступенів рухливості ходової частини в площині дороги. Автомобіль із традиційною схемою виконання ходової частини, що має всі ведучі колеса й два передні напрямні мости, дозволяє реалізувати при повороті в площині дороги $\omega=2$ ступені рухливості (оскільки співвідношення між кутами повороту напрямних коліс постійне). Таким чином, розглянута схема ходової частини шасі дозволяє, порівнюючи з її традиційним виконанням, збільшити число ступенів рухливості в 5 разів, що значно поліпшує маневреність автомобіля й забезпечує підвищення ефективності виконання службово-бойових завдань підрозділами Національної гвардії України.

Створення багатоканальної системи керування поворотом чотиривісного повнопривідного автомобіля з двома поворотними платформами потребує використання елементів штучного інтелекту.

Висока маневреність автомобілів забезпечується не тільки збільшенням ступенів рухливості [2], а й великим запасом потужності двигуна [6, 7, 8]. Для вирішення поставленого завдання необхідне правильне встановлення датчиків прискорень (акселерометрів) з орієнтацією вимірювальних осей по всіх можливих переміщеннях, обумовлених числом ступенів рухливості автомобіля [9]. Для обробки результатів вимірювань доцільно використовувати метод парціальних прискорень [10].

З метою роздільного керування ведучими колесами автомобіля можна використовувати гідромотори-колеса або електромотори-колеса, привід яких вбудований у комбіновані гідромеханічні або електричні трансмісії. У разі керування шляхом загальмовування коліс одного борта доцільно використовувати гідравлічну систему гальм, запропоновану у праці [11].

Висновки

1. У результаті проведеного дослідження визначено взаємозв'язок між числом керуючих впливів при повороті в площині дороги чотиривісного повнопривідного автомобіля з двома поворотними платформами й числом ступенів рухливості останнього.

2. Порівнюючи з традиційною схемою ходової частини чотиривісного автомобіля, пропонується конструкція, що дозволяє збільшити число ступенів рухливості від $\omega=2$ до $\omega=10$. Останнє досягається використанням двох поворотних ходових візків і роздільного керування ведучими колесами автомобіля.

Перелік джерел посилання

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва : Наука, 1975. 640 с.
2. Подригало М. А., Клец Д. М. Влияние числа степеней подвижности на управляемость двухосного автомобиля (в порядке обсуждения). *Автомобильный транспорт* : сб. науч. тр. Харьков : ХНАДУ, 2012. Вып. 31. С. 29–34.
3. Бобошко А. А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин. Харьков : ХНАДУ, 2006. 172 с.
4. Чайковский И. П., Соломатин П. А. Рулевое управление автомобилей. Москва : Машиностроение, 1987. 176 с.
5. Динаміка повороту переднього мосту автомобіля при різниці крутних моментів на колесах / М. А. Подригало та ін. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2021. № 24. С. 64–71.
6. Подригало М. А., Клец Д. М. Энергетический аспект обеспечения маневренности автомобилей. *Транспортна академія України : 20 років (1992 – 2012)*. Київ : НТУ, 2012. С. 182–191.
7. Клец Д. М. Концепція забезпечення стабільності показників стійкості та керованості автомобілів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Харків, 2015. 528 с.
8. Мазін О. С. Підвищення енергоефективності автомобілів при маневруванні зниженням непродуктивних витрат енергії : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20. Харків, 2020. 186 с.
9. Визначення необхідної кількості акселерометрів і місця їх установки при динамічних випробуваннях мобільних машин / М. П. Абрамов та ін. *Механіка та машинобудування*. 2012. № 2. С. 127–135.

10. Артьомов М. П., Подригало М. А. Застосування методу парціальних прискорень для оцінки керованості мобільних машин : зб. матеріалів 16-ї Міжнародної конференції «Технології XXI сторіччя». м. Суми, 6–11 верес. 2010 р. Ч. 1. Суми, 2010. С. 14.

11. Systems of Automatic Brake Torque Reduction on the Wheels of One Axle of the Car / М. Podrigalo et al. *SAE Technical Paper*, 2021-01-1266. P. 6. DOI : 10.4271/2021-01-1266.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2022 р.

UDC 629.017

М. Podrigalo, А. Poberezhnyi, V. Garmash

IMPROVING THE MANEUVERABILITY OF FOUR-AXLE VEHICLES BY INCREASING THE NUMBER OF DEGREES OF MOBILITY OF THE UNDERCARRIAGE

In the course of performing service and combat missions, the units of the National Guard of Ukraine need to overcome narrow passages of streets and various kinds of obstacles. In this case, the automotive equipment used in the course of performing the assigned tasks is subject to increased requirements in terms of maneuverability.

The purpose of the study was to increase the efficiency of the performance of service and combat missions by units of the National Guard of Ukraine by increasing the maneuverability of four-axle all-wheel drive vehicles.

It was shown, that the number of degrees of mobility of the undercarriage is determined by the number of independent control actions causing the car to turn in the road plane. From the analysis of the number of possible independent control actions for turning a four-axle vehicle in the road plane, it can be seen that an all-wheel drive four-axle vehicle with two turntables with separate control of the drive wheels makes it possible to implement 10 degrees of mobility of the running gear in the road plane. A car with a traditional design of the undercarriage, which has all driving wheels and two front guide axles, makes it possible to realize the number of degrees of freedom equal to $\omega=2$ when turning in the road plane (since the ratio between the angles of rotation of the guide wheels is constant).

Thus, result of the study, is substantiated the relationship between the maneuverability of a multi-axle (four-axle) all-wheel drive vehicle and the number of degrees of mobility of its undercarriage. It has been determined that the implementation of the front and rear two-axle undercarriages as swivel allows a five-fold increase in the number of degrees of freedom compared to a four-axle vehicle with a traditional undercarriage with two front steered (guide) axles. This significantly improves the maneuverability of the vehicle and ensures an increase in the efficiency of the performance of service and combat missions by units of the National Guard of Ukraine.

К е у в о р д с : four-axle all-wheel drive vehicle, number of degrees of mobility, vehicle maneuverability.

Подригало Михайло Абович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

<https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

Побережний Андрій Анатолійович – науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-8984-6912>

Гармаш В'ячеслав Петрович – старший науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-5681-0980>