

УДК 629.017



**В. П. Гармаш**

## **КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ МАНЕВРУВАННЯ ЧОТИРИКОЛІСНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ШАСІ З КОМБІНОВАНОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ**

*У статті проведено аналіз показників керованості чотириколісного спеціального шасі з комбінованою енергетичною установкою у випадку створення різниці крутних моментів на передніх колесах. Отримані аналітичні залежності дозволяють оцінювати керованість автомобілів з переднім поворотним ведучим мостом. Визначено, що показники керованості й повороткості такого автомобіля у разі створення на його колесах різниці крутних моментів вище, ніж у випадку рівності зазначених моментів. Досліджено вплив зміни різниці крутних моментів на кінематичні параметри повороту автомобіля. Визначено, що зі зміною різниці крутних моментів відносна кутова швидкість повороту автомобіля з часом зростає.*

*К л ю ч о в і с л о в а: гібридний привід, маневрування, керованість автомобіля, передній поворотний міст, мотор-колесо, модель складного руху.*

**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Дослідження існуючих зразків військової техніки Національної гвардії України, інших військових формувань України та країн блоку НАТО дозволило визначити напрями удосконалення військової техніки НГУ [1].

Для низки колісних транспортних засобів і спеціальних колісних технологічних машин є можливість виконати передній міст поворотним, що поліпшить маневреність зазначених машин. Роздільне управління мотор-колесами переднього мосту полегшить керування поворотом машини завдяки створенню різниці дотичних реакцій дороги на передніх колесах.

Вперше термін «експлуатаційні властивості автомобіля» використав у своїй праці [2] академік С. О. Чудаков. Всього ним визначено 13 експлуатаційних властивостей автомобіля, і в цьому переліку маневреність займає 9-те місце.

Визначення маневреності як складної експлуатаційної властивості вперше дав Я. Х. Закін [3]. В його трактуванні, маневреність – складна експлуатаційна властивість, що включає в себе більш прості (основні) властивості: керованість, повороткість і вписуваність.

На думку автора [3], маневреність автомобіля та автопоїзда є сукупністю таких властивостей, які забезпечують можливість їх безперешкодного поступального криволінійного руху опорною поверхнею, що має обмеження в розмірах своєї вільної (проїжджої) площини і її форми. Проте, маневруючи, автомобіль може рухатись не тільки криволінійною, а і прямолінійною траєкторією.

У словнику [4] поняття «маневреність» трактується як сукупність основних навігаційних властивостей судна або літака, що забезпечують швидку зміну напрямку (траєкторії) і швидкості руху під дією керма та інших органів керування. Стосовно автомобіля таке визначення у словнику не наведено.

Спроба дати визначення поняттю маневреності автомобіля була зроблена у праці [5]. У цій статті маневрування розглядалося як перехідний процес від одного режиму усталеного руху (динамічної рівноваги) до іншого. При цьому запропоновано розглядати маневрування як процес, а маневр – як закінчену дію.

Як зазначено у праці [3], керованість – властивість рухомого складу рухатись траєкторією різної кривизни в результаті дії водія на: рульове колесо і через рульовий привід – на керовані колеса. Проте при маневруванні керуючі дії можуть бути не тільки на рульове колесо, а також і на педаль подачі пального, гальма, важіль перемикавання передач [5, 6].

© В. П. Гармаш, 2022

Визначення поняття керованості наведені у працях різних авторів [2, 3, 7, 8–13]. Смысловий аналіз цих визначень керованості автомобіля дозволив авторам статті [5] сформулювати своє визначення, що, на їх думку, є найбільш простим і коректним: «Керованість колісної машини (автомобіля) характеризує її здатність адекватно реагувати на керуючу дію».

У праці [3] розглянута маневреність одиночного автомобіля і автопоїзда.

Автори дослідження [14] запропонували оцінювати маневреність військових автомобільних колон. На їх думку, під маневреністю автомобільної колони розуміється сукупність властивостей маневреності автомобілів, що входять в колону, які забезпечують зміну параметрів руху з необхідною точністю і швидкістю. Керованість автомобільної колони визначається здатністю автомобілів, що входять в колону, адекватно обробляти сигнал на зміну параметрів руху за мінімальний час.

Результати досліджень керованості і стійкості колісних машин (автомобілів і тракторів) наведені у значній кількості наукових праць [2, 7, 8, 9, 10, 15–21]. Проте в них відсутні кількісні критерії оцінювання маневреності.

**Метою статті** є дослідження можливості підвищення маневреності автомобілів з мотор-колесами на передньому поворотному мосту з комбінованою енергетичною установкою, використовуючи різницю дотичних реакцій дороги на колесах завдяки роздільному керуванню електродвигунами.

**Виклад основного матеріалу.** Використання мотор-колес на передньому мосту електромобіля чи гібридного автомобіля дозволяє виконати цей міст поворотним і шляхом створення різниці дотичних реакцій на передніх колесах забезпечувати поворот моста та автомобіля.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано удосконалення способу керування поворотом колісної машини з переднім поворотним мостом. Це можливо завдяки створенню різниці крутних моментів на зовнішньому і внутрішньому відносно центра повороту колесах. На вході у поворот (рис. 1) створюють більший крутний момент на зовнішньому колесі, а менший крутний момент – на внутрішньому. На виході з повороту створюють менший крутний момент на зовнішньому колесі, а більший – на внутрішньому (рис. 2).

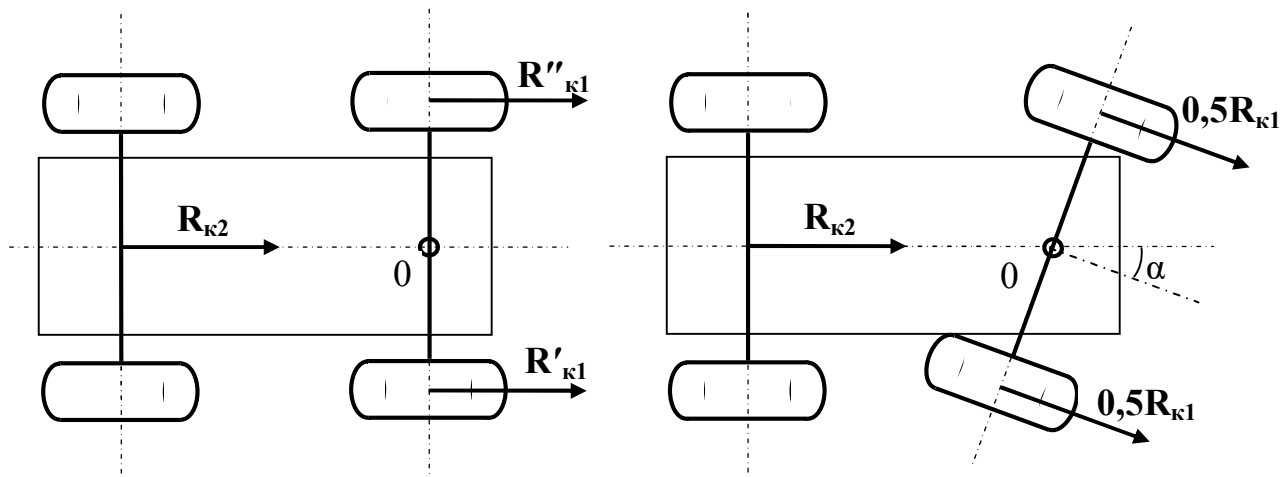


Рисунок 1 – Створення різниці дотичних реакцій дороги на передньому поворотному мосту на вході автомобіля у поворот

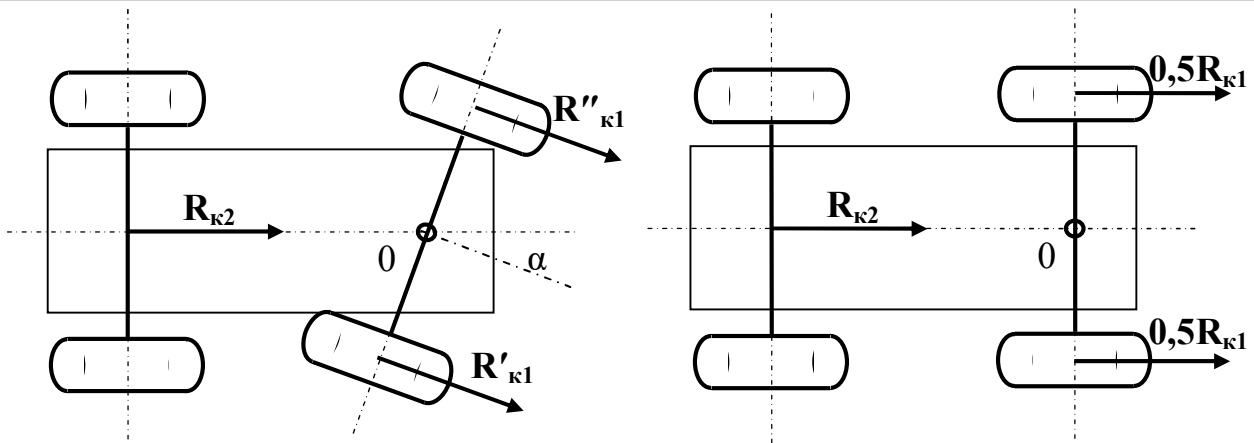


Рисунок 2 – Створення різниці дотичних реакцій дороги на передньому поворотному мосту на виході автомобіля з повороту

На повороті колеса заднього ведучого моста створюють постійне тягове зусилля (рис. 1, 2)  $R_{k2}$ , що забезпечує поступальний рух колісної машини. На вході у поворот на зовнішньому колесі створюють більший крутний момент  $M''_{k1}$ , а на внутрішньому – менший за величиною  $M'_{k1}$ .

Крутні моменти  $M'_{k1}$  і  $M''_{k1}$  створюють дотичні реакції  $R'_{k1}$  і  $R''_{k1}$  на колесах, що спрямовані в сторону руху машини:

$$R'_{k1} = M'_{k1} / r_{\alpha 1} - fR'_{z1}, \quad (1)$$

$$R''_{k1} = M''_{k1} / r_{\alpha 1} - fR''_{z1}, \quad (2)$$

де  $r_{\alpha 1}$  – динамічний радіус передніх коліс;

$R'_{z1}$ ,  $R''_{z1}$  – нормальні реакції дороги на внутрішньому та зовнішньому колесах;  
 $f$  – коефіцієнт опору кочення.

Якщо  $R'_{k1} > R''_{k1}$  (вхід у поворот), на передньому мосту створюється момент, що повертає його в напрямі зменшення радіуса повороту. Якщо  $R'_{k1} < R''_{k1}$  (вихід з повороту), створюється від'ємний крутний момент, що повертає передній міст у напрямі збільшення радіуса повороту.

На діаграмі, що подана на рис. 3, показана зміна крутних моментів на внутрішньому та зовнішньому передніх колесах на вході в поворот і виході з нього. Суть вирішення задачі в тому, що утворюється почергова різниця гальмівних моментів на колесах зовнішнього та внутрішнього бортів переднього поворотного моста. Окрім гальмівних моментів на колесах переднього направляючого поворотного моста утворюються також крутні моменти. При цьому під час входження в поворот гальмується внутрішнє колесо, а на зовнішньому колесі утворюється крутний момент (рис. 4).

Для поліпшення маневреності в усталеній стадії повороту колісної машини на обох колесах переднього поворотного моста створюють крутні моменти. Відношення крутного моменту на зовнішньому колесі переднього моста до крутного моменту на внутрішньому колесі цього моста дорівнює відношенню радіусів руху цих коліс (рис. 4).

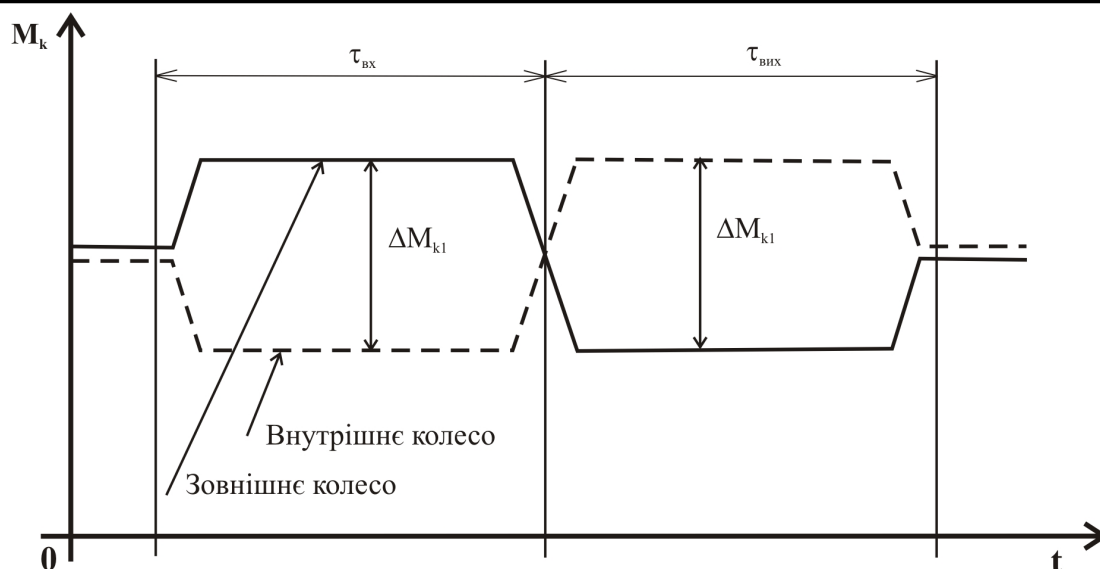


Рисунок 3 – Діаграма зміни крутних моментів на зовнішньому та внутрішньому колесах при вході в поворот та виході з нього ( $\tau_{вх}$  – час входу у поворот;  $\tau_{вих}$  – час виходу з повороту)

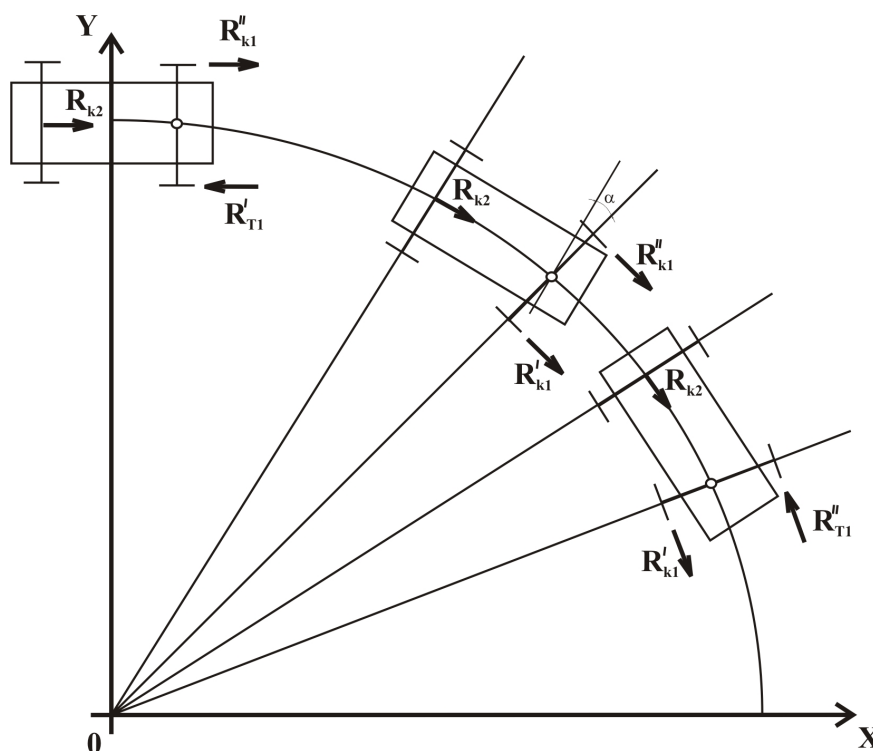


Рисунок 4 – Схема зусиль, що діють на колеса автомобіля при повороті (передній поворотний міст)

Під час руху на повороті колеса заднього ведучого моста створюють постійне тягове зусилля  $R_{k2}$ , що забезпечує поступальний рух транспортного засобу (рис. 4). Під час входу в поворот тягове зусилля  $R_{k1}$  на зовнішньому колесі та гальмове зусилля  $R_{T1}$  на внутрішньому колесі створюють поворотальний момент, що забезпечує поворот переднього моста на кут  $\alpha$ . Під час досягнення кута

повороту на обох колесах створюються тягові сили  $R'_k$  та  $R''_k$ , котрі повинні дорівнювати одна одній. Для цього на зовнішньому та внутрішньому колесах потрібно створювати крутні моменти

$$M'_{k1} = fR'_{z1}, \quad (3)$$

$$M''_{k2} = fR''_{z2}, \quad (4)$$

де  $M'_{k1}$  та  $M''_{k2}$  – крутні моменти на внутрішньому та зовнішньому колесах,

$$M''_{k2} > M'_{k1}, \quad (5)$$

$R'_{z1}$  та  $R''_{z2}$  – нормальні реакції дороги на колесах внутрішнього та зовнішнього бортів переднього мосту.

Під час усталеного руху на повороті повинна виконуватись рівність

$$R'_{k1} = R''_{k2}. \quad (6)$$

Для цього необхідно, щоб виконувалась рівність

$$\frac{M'_{k1}}{r_{\partial}} - fR'_{z1} = \frac{M''_{k1}}{r_{\partial}} - fR''_{z1}. \quad (7)$$

З рівняння (6) отримаємо

$$M''_{k1} - M'_{k1} = f(R''_{z1} - R'_{z1}) = \Delta M_{k1}. \quad (8)$$

Під час усталеного руху на повороті необхідно підтримувати постійну різницю  $\Delta M_{k1}$  крутних моментів на зовнішньому і внутрішньому колесах. Це забезпечує постійне значення кута  $\alpha$  повороту переднього мосту. На виході з повороту на внутрішньому колесі створюється тягова сила  $R'_{k1}$ , а на зовнішньому колесі – гальмівна сила  $R''_{T1}$  завдяки створенню від'ємного повертального моменту. Передній міст повертається у положення  $\alpha = 0$ . Після досягнення цього положення переднього мосту дію крутних та гальмівних моментів припиняють.

Діаграму зміни крутних і гальмівних моментів за час здійснення повороту подано на рис. 5. На діаграмі визначено  $\tau_{\text{вх}}$  – час входу в поворот,  $\tau_{\text{уст}}$  – час усталеного повороту,  $\tau_{\text{вих}}$  – час виходу з повороту.

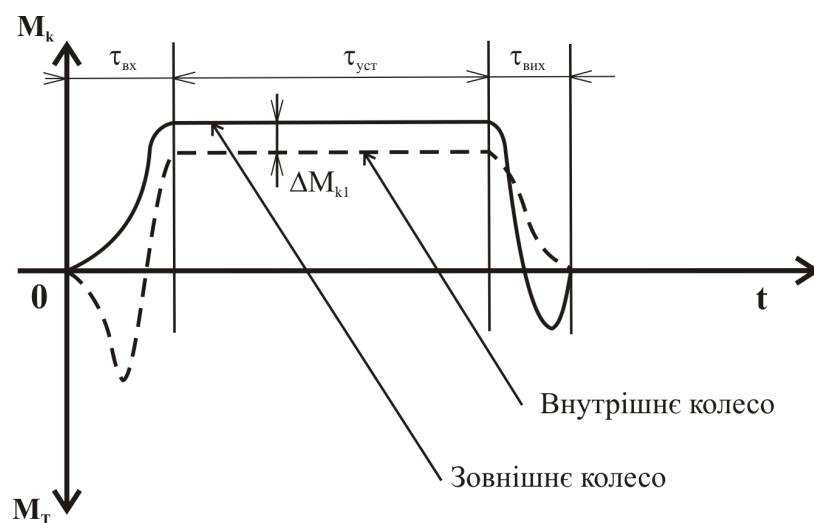


Рисунок 5 – Залежність зміни в часі крутних і гальмівних моментів на зовнішньому і внутрішньому колесах

Таким чином, запропонований спосіб керування поворотом забезпечує підвищення маневреності транспортного засобу з переднім поворотним (направленим) мостом. Його використання дозволяє обійтися без традиційних рульових систем.

### **Висновки**

На основі дослідження запропоновано чотириколісне шасі з двома поворотними платформами, що дозволяє виконувати поворот машини з найменшим радіусом та здійснювати розворот відносно власної вертикальної осі. Створення різниці крутних або гальмівних моментів на колесах протилежних бортів дозволяє зменшити зусилля, потрібне для керуючого впливу на поворот двовісних платформ.

### **Перелік джерел посилання**

1. Положення про організацію експлуатації бронетанкового озброєння та техніки, іншого майна номенклатури бронетанкової служби Національної гвардії України : наказ МВС України від 19.12.2016 р. № 1313.
2. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва, Ленинград : Машгиз, 1940. 396 с.
3. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. Москва : Транспорт, 1986. 136 с.
4. Энциклопедический словарь. Т. 2 / под ред. Б. А. Введенского. Москва : БСЭ, 1954. 720 с.
5. Подригало М. А., Клец Д. М. Маневренность и управляемость колесных машин. Определение понятий и критерии оценки. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*. Симферополь, 2012. Вып. 35. С. 15–21.
6. Подригало М. А. Управляемость и устойчивость автомобиля. Определение понятий. *Автомобильная промышленность*. 2008. Вып. 11. С. 22–23.
7. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. Москва : Машиностроение, 1971. 416 с.
8. Смирнов Е. А. Теория движения колесных машин. Москва : Машиностроение, 1990. 352 с.
9. Аксенов П. В. Многоосные автомобили. Москва : Машиностроение, 1989. 280 с.
10. Тракторы. Теория / В. В. Еуськов и др.; под ред. В. В. Еуськова. Москва : Машиностроение, 1988. 376 с.
11. Испытания автомобилей / В. В. Цимбалін и др. Москва : Машиностроение, 1978. 199 с.
12. Фалькевич Б. С. Теория автомобиля. Москва : Машгиз, 1963. 239 с.
13. Яковлев Н. Я., Диваков Н. В. Теория автомобиля. Москва : Высш. шк, 1962. 300 с.
14. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Нікорчук А. І. Маневреність та керованість автомобільних колон внутрішніх військ МВС України. Визначення понять та критерії оцінювання. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2012. Вип. 2 (20). С. 74–76.
15. Подригало М. А., Клец Д. М., Гацько В. И. Управляемость колесных машин при установившемся движении. *Автомобильный транспорт*. Харьков, 2011. Вып. 29. С. 117–125.
16. Бобошко А. А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин. Харьков : ХНАДУ, 2006. 172 с.
17. Динамика автомобиля / М. А. Подригало и др. Харьков : ХНАДУ, 2008. 424 с.
18. Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Подригало М. А. Метод парциальных ускорений и его приложения к динамике мобильных машин / под ред. М. А. Подригало. Харьков : Міськдрук, 2012. 220 с.
19. Автомобили. Устойчивость : монография / Вербицкий В. Г. и др. Луганск : Ноулидж, 2013. 176 с.
20. Назарько О. О. Удосконалення методів оцінки стійкості легкових автомобілів у тяговому режимі руху : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20. Харків, 2013. 20 с.
21. Артёмов М. П. Динамічна стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11. Харків, 2014. 41 с.

*Стаття надійшла до редакції 15.08.2022 р.*

UDC 629.017

V. Garmash

### **CONTROL OF THE PROCESS OF MANEUVERING OF A 4-WHEEL SPECIAL CHASSIS WITH A COMBINED POWER PLANT**

*Cars with electric and hybrid drive of driving wheels have become widespread in the world in recent years. For a wide class of wheeled vehicles with a combined electromechanical drive, it became possible to make the front axle swivel, which makes it possible to increase their maneuverability. The use of separate control of electric motors of the front swivel drive axle makes it possible to control the turning of machines by creating a difference in tangential reactions on the front wheels.*

*This article analyzes the controllability of a four-wheeled special chassis with a combined power plant when creating a difference in torque on the front wheels. The obtained analytical dependences make it possible to evaluate the controllability of vehicles with a front steering axle. It is determined that the indicators of controllability and turning (angular acceleration and angular velocity) with the front rotary drive axle and the creation of a torque difference on its wheels are higher than in the case of equality of certain moments. The influence of the law of changing the difference of torques on the kinematic parameters of the car turning is investigated. It is determined that for each of the three laws of changing the difference in torques, the relative angular velocity of the car turning increases with time.*

*The proposed steering is a system with two degrees of freedom, since two independent control actions are created at its input - turning the steering wheel and creating a difference in torque on the front wheels. Therefore, the solution of the task was carried out using a complex motion model. It should be said that the rigid wheels of the car were considered. When studying the movement of a car with wheels that are elastic in the lateral direction, it is necessary to use a model of a multicomponent complex movement, consisting of one portable and two relative movements. The second relative movement is the movement due to the deformation of the tires during their lateral withdrawal.*

*K e y w o r d s: hybrid drive, maneuvering, car handling, front axle swivel, electric motor-wheels, complex movement model.*

**Гармаш В'ячеслав Петрович** – старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0002-5681-0980>