

Р.О. Кайдалов, О.В. Корнієнко, Д.О. Торяник, М.І. Зюбан

Національна академія Національної гвардії України, Харків

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПОЛОЖЕННЯ ГІБРИДНИХ КОЛІСНИХ МАШИН З ТРАНСФОРМЕРНОЮ ХОДОВОЮ ЧАСТИНОЮ

В роботі визначено обмеження на розміри бази й колії гібридних колісних машин за умовою стійкості положення при трансформерному виконанні їх ходової частини. Отримано умови відриву передніх та задніх коліс при гальмуванні у разі руху назад та відповідно руху вперед та умову відсутності відриву коліс передньо і та задньої осей від опорної поверхні. Отримані результати можуть бути використані при створенні гібридних автомобілів (з комбінованим електромеханічним приводом ведучих коліс) модульної конструкції з трансформерною ходовою частиною.

Ключові слова: стійкість, трансформерна ходова частина, база, колія, центр мас, відрив коліс.

Вступ

Постановка проблеми. Стійкість положення автомобілів у поздовжній й поперечній площинах визначається положенням центру мас відносно його крайніх опорних точок [1]. Застосування електроприводу ведучих коліс дозволяє виконувати ходову частину автомобіля трансформерною, тобто з поздовжньою колісною базою (базою) та поперечною колісною базою (колією), що змінюються [2 – 6].

Застосування трансформерної ходової частини дає можливість зробити рівними сумарні нормальні реакції на усіх колесах, що дозволяє підвищити вантажопідйомність автомобілів й збільшити ресурс пневматичних шин, що особливо актуальне для військової колісної техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Стійкість положення автомобілів поділяють на статичну та динамічну. Під статичною стійкістю розуміють стійкість, що зберігає автомобіль при відсутності руху, що збурує. У цьому випадку усі колеса автомобіля зберігають контакт з опорною поверхнею.

У класичній літературі [7 – 9] критеріями статичної стійкості положення є кути поздовжньої й поперечної стійкості

$$\alpha_{\text{п}} = \arctg(a/h); \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{з}} = \arctg(b/h); \quad (2)$$

$$\chi = \arctg[V/(2h)]. \quad (3)$$

У рівняннях (1–3) прийняті такі позначення:

$\alpha_{\text{п}}$, $\alpha_{\text{з}}$ – граничні кути спуску й підйому дороги за умовою поздовжньої стійкості положення автомобілів; a , b – відстань від передньої й задньої осей автомобіля до проекції центру мас на горизонтальну площину; h – висота центру мас автомобіля; V – колія автомобіля.

Слід відмітити, що критерієм втрати статичної стійкості автомобіля є рівність нулю нормальних

реакцій дороги або на колесах однієї осі або одного борту [9]. Оцінювати стійкість положення автомобіля у поздовжній площині по кутах $\alpha_{\text{п}}$ й $\alpha_{\text{з}}$ можна лише у режимі гальмування. Для того, щоб створити момент, що перекидає автомобіль необхідно загальмувати його колеса до їх блокування. Таким чином, слід розглядати стійкість положення автомобіля у поздовжній площині при гальмуванні коліс на горизонтальній площині, так як на схилі [1].

Також можна зробити висновок про те, що граничні кути $\alpha_{\text{п}}$ й $\alpha_{\text{з}}$ є критеріями не тільки статичної, але й динамічної стійкості положення, оскільки визначають граничні кути повороту остову автомобіля у поздовжній площині при наявності руху, що збурує.

Однак, у відомих дослідженнях [1–6] не розглянуті питання забезпечення стійкості положення колісних машин, які виконані за модульно – трансформерному принципу побудови при зміні колії та бази автомобілів у процесі їх експлуатації.

Мета та постановка задач дослідження. Метою дослідження є визначення допустимих меж зміни бази і колії автомобіля при трансформерному виконанні його ходової частини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– визначити межу допустимого зменшення бази двохвісного автомобіля й тривісного автомобіля з балансною підвіскою середнього і заднього мостів;

– оцінити можливість підвищення стійкості положення автомобіля у поперечній площині за рахунок збільшення колії.

Виклад основного матеріалу

Визначення меж допустимого зменшення бази автомобілів. Розглянемо стійкість положення колісної машини у поздовжній площині двохвісного автомобіля (рис. 1).

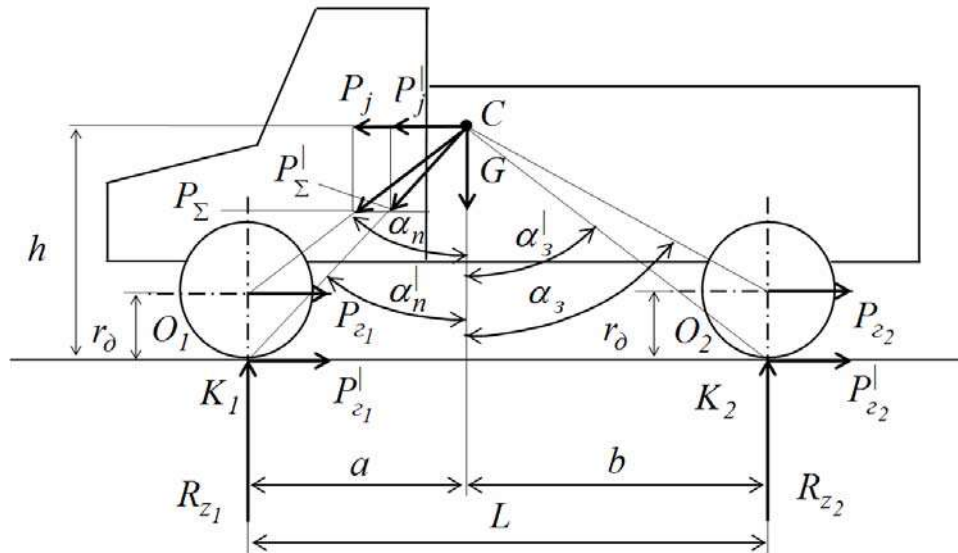


Рис. 1. Схема сил, що діють на двовісний автомобіль при гальмуванні на прямому ході

Оскільки перекидання автомобіля у повздовжній площині можливе при створенні на осях, або у точках контакту з дорогою сил опору руху, де можливість відриву коліс або перекидання доцільно розглядати при гальмуванні. При гальмуванні автомобіля на задньому ході сили P_{r1} ; P_{r1}^l ; P_{r2} ; P_{r2}^l ; P_j ; P_j^l змінять свої знаки на протилежні.

Відомі співвідношення (1) й (2) визначають умови початку перекидання автомобіля у повздовжній площині при заблокованих колесах. При незаблокованих колесах сумарні гальмівні сили на осях прикладаються не у п'ятнах контакту коліс з дорогою (точки K_1, K_2 ; а й на осях автомобіля (точки O_1, O_2) [5]. У цьому випадку плече моменту, що перекидає, який створюється парою сил $P_r = P_{r1} + P_{r2}$ й P_j складає $h - r_d$ (де r_d – динамічний радіус коліс). При заблокованих колесах плече моменту, що перекидає, який створюється парою сил $P_r^l = P_{r1}^l + P_{r2}^l$ й P_j^l , це висота центру мас автомобіля h .

У зв'язку з цим, можна зробити висновок про те, що при розгоні (навіть при реалізації граничних сил за зчепленням коліс з дорогою повнопривідного автомобіля) небезпека перекидання машини у повздовжній площині нижче, ніж у поперечній.

У разі гальмування з незаблокованими колесами й у випадку розгону автомобіля рівняння (1) й (2) приймуть вигляд

$$\alpha_n = \arctg\left(\frac{a}{h - r_d}\right); \tag{4}$$

$$\alpha_3 = \arctg\left(\frac{b}{h - r_d}\right). \tag{5}$$

Найбільш небезпечним випадком є гальмування при заблокованих колесах [1], оскільки $\alpha_n^l < \alpha_n$ й $\alpha_3^l < \alpha_3$ (див. рис. 1). При трансформерному виконанні ходової частини двовісного автомобіля намагаються отримати величину бази автомобіля, що дорівнює

$$L = \begin{cases} 2a & \text{при } a < b; \\ 2b & \text{при } b < a. \end{cases} \tag{6}$$

У цьому випадку

$$\alpha_n = \alpha_3 = \arctg\left(\frac{L}{2h}\right). \tag{7}$$

Визначимо умову відриву коліс передньої або задньої осей від дороги при гальмуванні автомобіля із заблокованими колесами (рис. 1). Сумарні нормальні реакції на осях автомобіля

$$R_{z1} = G \left(\frac{b}{L} \pm \frac{P_j h}{G L} \right); \tag{8}$$

$$R_{z2} = G \left(\frac{a}{L} \mp \frac{P_j h}{G L} \right). \tag{9}$$

У рівняннях (8) та (9) верхній знак відноситься для випадку гальмування автомобіля при русі вперед, а нижній при русі назад.

Відрив коліс передньої або задньої осей автомобіля від опорної поверхні дороги настає при рівності нулю R_{z1} або R_{z2} . Враховуючи, що при гальмуванні із заблокованими колесами справедливе співвідношення

$$P_j = G\phi_x, \tag{10}$$

перетворимо (8) та (9) до вигляду

$$R_{z1} = G \left(\frac{b}{L} \pm \phi_x \frac{h}{L} \right); \tag{11}$$

$$R_{z2} = G \left(\frac{a}{L} \mp \phi_x \frac{h}{L} \right), \quad (12)$$

де ϕ_x – поведздовжній коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою.

Умовою відриву передніх коліс при гальмуванні при русі назад

$$\phi_x = \frac{b}{h}. \quad (13)$$

Умовою відриву задніх коліс при гальмуванні автомобіля при русі вперед

$$\phi_x = \frac{a}{h}. \quad (14)$$

Відповідно, умовою відсутності відриву коліс передньої та задньої осей будуть

$$\alpha_n > \arctg(\phi_{x_{\max}}); \quad (15)$$

$$\alpha_3 > \arctg(\phi_{x_{\max}}), \quad (16)$$

де $\phi_{x_{\max}}$ – максимальне значення поведздовжнього коефіцієнту зчеплення коліс з дорогою.

У разі розташування центру мас в середині бази $a = b = L/2$. Відповідно, умовою відсутності відриву передніх та задніх коліс від опорної поверхні будуть

$$\frac{L}{2h} > \phi_{x_{\max}}, \quad (17)$$

звідси $L > 2h\phi_{x_{\max}}$. (18)

Таким чином, при регулюванні бази автомобіля необхідно забезпечити умову (18).

Розглянемо тривісний автомобіль (рис. 2–3). При гальмуванні при русі вперед автомобіль з балансиною підвіскою середнього та заднього мостів

(рис. 2) й автомобіля з балансиною підвіскою переднього та середнього мостів (рис. 3) рекомендована база визначається таким чином

$$L \geq 1,5a, \quad \text{– рис. 2,} \quad (19)$$

$$L \geq 1,5b \quad \text{– рис. 3.} \quad (20)$$

У відповідності з умовами (13) та (14), які справедливі для випадків, що розглядаються, мінімальна база автомобіля повинна знаходитись в області (рис. 2–3):

$$L \geq 1,5b\phi_{x_{\max}}. \quad (21)$$

Виконання умови (21) запобігає відриву коліс балансириного візка від дороги при гальмуванні як у випадку, що наведений на рис. 2, так й у випадку, який наведений на рис. 3. Відрив колеса передньої осі (рис. 2) й задньої осі (рис. 3) у даних випадках малоімовірний й можливий лише при наїзді на перешкоду, що долається.

Таким чином, нами отримані межі допустимого зменшення баз двох та тривісних автомобілів при трансформерному виконанні ходової частини.

Підвищення стійкості положення автомобілів у поперечній площині за рахунок збільшення колії.

Умовою стійкості положення автомобіля у поперечній площині забезпечується при виконанні умови (3). При проектуванні автомобілів її намагаються виконати при відомій висоті h центру мас C та колії B у разі знаходження центру мас на поведздовжній площині, що проходить через вісь симетрії автомобіля. Однак в процесі експлуатації автомобілів при асиметричному завантаженні кузова центр мас C може бути зміщений у поперечній площині на відстань e (рис. 4).

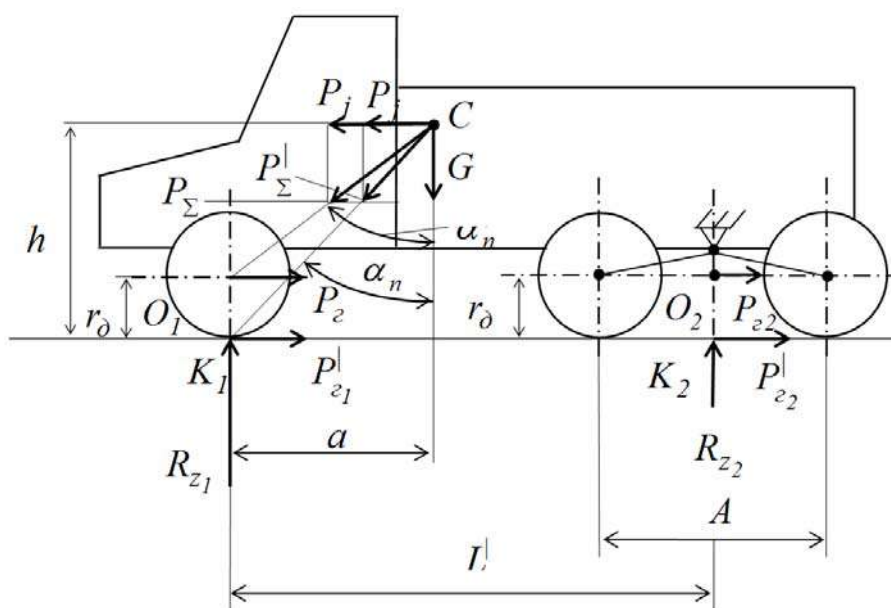


Рис. 2. Схема сил, що діють на тривісний автомобіль при гальмуванні при балансиною підвісі середнього і заднього мостів, А – база балансириного візка

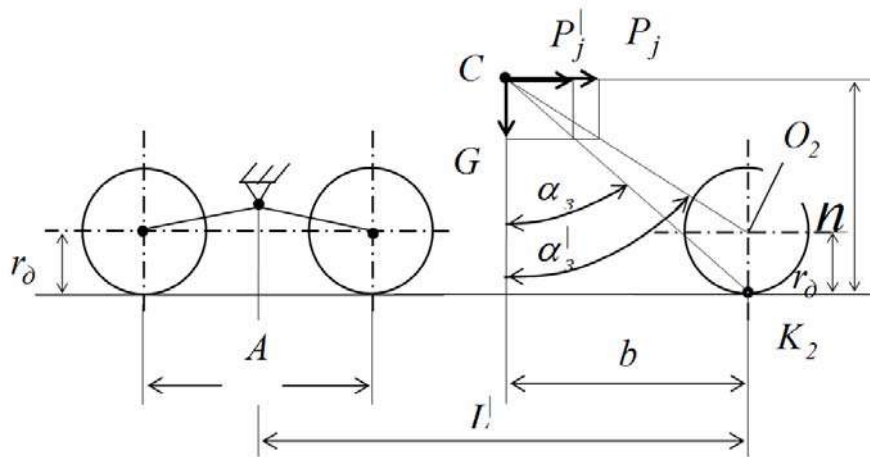


Рис. 3. Схема сил, що діють на тривісний автомобіль при гальмуванні при балансірному підвісі переднього і середнього мостів, А – база балансірного візка

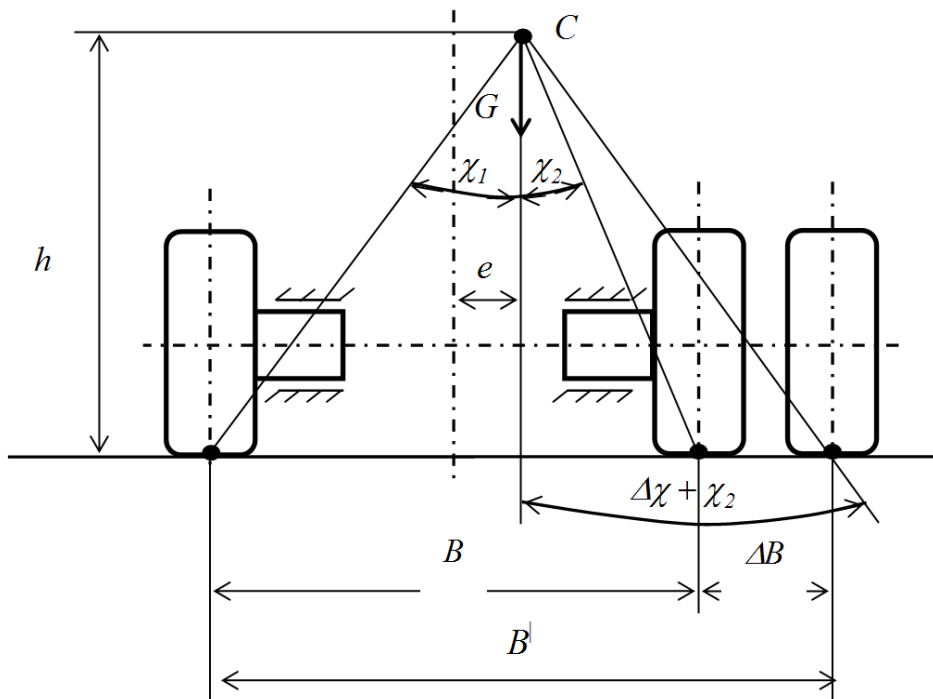


Рис. 4. Схема для визначення необхідної зміни колії машини для забезпечення стійкості положення автомобіля у поперечній площині

Розглянемо можливість зміщення ведучих коліс з комбінованим (електромеханічним) приводом у поперечній площині для забезпечення заданого кута поперечної стійкості.

Мінімальний кут поперечної стійкості автомобіля χ_{\min} повинен визначатись через максимальне значення бокового коефіцієнту зчеплення $\phi_{y_{\max}}$ з дорогою, тобто

$$\chi_{\min} = \arctg \phi_{y_{\max}} \quad (22)$$

При асиметричному розташуванні центру мас автомобіля у поперечній площині ми маємо два різних значення кутів поперечної стійкості

$$\chi_1 = \arctg \frac{0,5B + e}{h} \quad (23)$$

й

$$\chi_2 = \arctg \frac{0,5B - e}{h} \quad (24)$$

Очевидно (рис. 4), що

$$\Delta B = e,$$

тоді

$$B^1 = B + e. \quad (25)$$

Сумісне рішення рівнянь (3) й (22) при симетричному розташуванні центру мас автомобіля у поперечній площині дозволяє визначити межу допустимого зменшення колії автомобіля при трансформному виконанні його ходової частини

$$B \geq 2h\phi_{y_{\max}} \quad (26)$$

Висновки

Отримано:

– умову відриву: передніх та задніх коліс при гальмуванні у разі руху назад та відповідно руху вперед;

– умову відсутності відриву коліс передньої та задньої осей від опорної поверхні;

аналітичні вирази, що дозволяють визначати межі допустимого зменшення баз двох та тривісних

автомобілів при трансформерному виконанні ходової частини;

– аналітичні вирази, що дозволяють визначати межі допустимого зменшення колії автомобіля при трансформерному виконанні його ходової частини.

Отримані результати можуть бути використані при створенні гібридних автомобілів (з комбінованим електромеханічним приводом ведучих коліс) модульної конструкції з трансформерною ходовою частиною.

Список літератури

1. Манёвренность и тормозные свойства колёсных машин: моногр. / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 403 с.
2. Подригало М.А. Забезпечення раціонального розподілу нормального навантаження між осями автомобілів та бойових машин з електричним приводом ведучих коліс / М.А. Подригало, Р.О. Кайдалов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – 2017. – № 1(29). – С. 15-21.
3. Кайдалов Р.О. Дослідження можливості зниження енергетичних втрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс / Р.О. Кайдалов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 9. – С. 13-17.
4. Подригало М. А. Застосування методу парціальних прискорень для оцінки тягово-швидкісних властивостей автомобілів та бойових машин / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, Р.О. Кайдалов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – 2016. – № 2(28). – С. 16-21.
5. Подригало М.А. Оцінка динамічних властивостей й енергетичної економічності автомобілів з безступінчастою автоматичною трансмісією / М.А. Подригало, Р. О. Кайдалов, О.М. Жовтоног // Наукові нотатки. – 2017. – № 57. – С. 152-160.
6. Кайдалов Р.О. Оцінка енергетичної ефективності застосування електричної трансмісії колісної машини / Р.О. Кайдалов // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2017. – № 25 (1247). – С. 86-89.
7. Коновалов В.Ф. Устойчивость и управляемость машинно-тракторных агрегатов: учеб. пособ. / В.Ф. Коновалов. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1969. – 440 с.
8. Чудаков Д.А. Основы теории трактора и автомобиля: учебник / Д.А. Чудаков. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 312 с.
9. Основы теории автомобиля и трактора: учебник / В.В. Иванов, В.А. Иларионов, М.М. Морин. – Москва: Высшая школа, 1977. – 245 с.
10. Динамика автомобиля: монография / М.А. Подригало, В.П. Волков, А.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 424 с.
11. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений: ГОСТ 17510-79. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 23 с.
12. Благоднаров А.А. Износостойкость / А.А. Благоднаров. – М.: Наука, 1975. – 190 с.

References

1. Podrigalo, M.A., Volkov, V.P., Kirchatyiy, V.I. and Boboshko, A.A. (2003), *Manyovrennost i tormoznyie svoystva kolyosnyih mashin* [Maneuverability and braking properties of wheeled vehicles], Harkov, HNADU.
2. Podrigalo, M.A. and Kaidalov, R.O. (2017), *Zabezpechennya ratsional'noho rozpodilu normal'noho navantazhennya mizh osyamy avtomobiliv ta boyovykh mashyn z elektrychnym pryvodom veduchykh kolis* [Provision of rational distribution of normal load between axles of cars and combat vehicles with electric drive of driving wheels], *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademiyi Natsional'noyi hvardiyi Ukrainy*, No. 1(29), pp. 15-21.
3. Kaidalov, R.O. (2016), *Doslidzhennya mozhlivosti znyzhennya enerhetychnykh vtrat avtomobilya pry vykorystanni hibrydnoho elektromekhanichnoho pryvodu veduchykh kolis* [Investigation of the possibility of reducing energy losses of a car using a hybrid electromechanical drive of driving wheels], *Information Processing Systems*, No. 9, pp. 13-17.
4. Podrigalo, M.A., Abramov, D.V. and Kaidalov, R.O. (2016), *Zastosuvannya metodu partsial'nykh pryskoren' dlya otsinky tyahovo-shvydkisnykh vlastyvostry avtomobiliv ta boyovykh mashyn* [Application of the method of partial accelerations for the evaluation of the traction and speed properties of cars and combat vehicles], *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademiyi Natsional'noyi hvardiyi Ukrainy*, No. 2(28), pp. 16-21.
5. Podrigalo, M.A., Kaidalov, R.O., Zhovtonoh, O.M. (2017), *Otsinka dynamichnykh vlastyvostry y enerhetychnoyi ekonomichnosti avtomobiliv z bezstupinchastoyu avtomatychnoyu transmisiyeyu* [Estimation of dynamic properties and energy efficiency of cars with continuous automatic transmission], *Naukovi notatky*, No. 57, pp. 152-160.
6. Kaidalov, R.O. (2017), *Otsinka enerhetychnoyi efektyvnosti zastosuvannya elektrychnoyi transmisiyi kolisnoyi mashyny* [Estimation of energy efficiency of electric transmission of a wheeled car], *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*, No. 25 (1247), pp. 86-89.
7. Konvalov, V.F. (1969), *Ustoychivost i upravlyaemost mashinno-traktornykh agregatov* [Stability and controllability of machine-tractor units], Perm, Permskoe knizhnoe izdatelstvo.
8. Chudakov, D.A. (1962), *Osnovnyie teorii traktora i avtomobilya* [The fundamentals of the theory of tractor and car], Moscow, Selhozizdat.
9. Ivanov, V.V., Ilarionov, V.V. and Morin, M.M. (1977), *Osnovnyie teorii avtomobilya i traktora* [The fundamentals of the theory of a car and a tractor], Moscow, Vysshaya shkola.
10. Podrigalo, M.A., Volkov, V.P. and Boboshko, A.A. (2008), *Dinamika avtomobilya* [Vehicle Dynamics], Harkov, HNADU.

11. GOST 17510-79 (1980), "Nadezhnost izdeliy mashinostroeniya. Sistema sbora i obra-botki informatsii. Planirovaniye nablyudeniy" [Reliability of engineering products. The system for collecting and processing information. Observation planning], Moscow. Izdatelstvo standartov, 23 p.

12. Blagonravov A.A. (1975), "Iznosostoykost" [Wear resistance], Moscow, Nauka, 190 p.

Надійшла до редколегії 12.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів

Кайдалов Руслан Олегович

кандидат технічних наук доцент
заступник начальника науково-дослідного центру
Національної академії Національної Гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>
e-mail: kaidalov.76@ukr.net

Корнієнко Олег Вікторович

старший викладач кафедри Національної академії
Національної Гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9722-4374>
e-mail: kov7619@gmail.com

Торяник Дмитро Олександрович

викладач кафедри
Національної академії Національної Гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7935-9563>
e-mail: toranikdo@gmail.com

Зюбан Михайло Іванович

старший викладач
Національної академії Національної Гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4685-0185>
e-mail: mziuban@gmail.com

Information about the authors:

Ruslan Kaidalov

Doctor of Philosophy Associate Professor
Deputy Head of the Research Center of National
Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>
e-mail: kaidalov.76@ukr.net

Oleg Kornienko

Senior Instructor of National Academy of the National
Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9722-4374>
e-mail: kov7619@gmail.com

Dmitriy Toryanik

Lecturer of National Academy
of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7935-9563>
e-mail: Toranikdo@gmail.com

Michael Zyuban

Senior Instructor of National Academy
of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4685-0185>
e-mail: mziuban@gmail.com

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ З ТРАНСФОРМЕРНОЙ ХОДОВОЙ ЧАСТЬЮ

Р.О. Кайдалов, О.В. Корнієнко, Д.О. Торяник, М.І. Зюбан

Определены ограничения на размеры базы и колеи гибридных автомобилей по условию устойчивости положения при трансформерном выполнении их ходовой части. Получены условия отрыва передних и задних колес при торможении в случае движения назад и соответственно движению вперед, а также условие отсутствия отрыва колес передней и задней осей от опорной поверхности. Полученные результаты могут быть использованы при создании гибридных автомобилей (с комбинированным электромеханическим приводом ведущих колёс) модульной конструкции с трансформерной ходовой частью.

Ключевые слова: устойчивость, трансформерная ходовая часть, база, колея, центр масс, отрыв колёс.

EVALUATION OF THE STABILITY OF THE POSITION OF HYBRID WHEEL MACHINES WITH TRANSFORMER CHASSIS

R. Kaidalov, O. Kornienko, D. Toryanik, M. Zyuban

The application of the transformer chassis makes it possible to make the total normal reactions on all wheels equal, which allows you to increase the carrying capacity of cars and increase the life of pneumatic tires, which is especially important for military wheeled equipment. In the work, the restrictions on the size of the base and the track of hybrid wheels are determined on the condition of stability of the position in the transformer performance of their chassis. The conditions for the separation of the front and rear wheels during braking in the case of backward movement and forward movement and the absence of separation of the front and rear axle wheels from the support surface are obtained. The condition for the separation of the front and rear wheels during braking in the case of backward and forward movement, the condition for the absence of separation of the front and rear axle wheels from the reference surface, analytical expressions allowing to determine the limits of the permissible reduction of the base of two and three-wheel vehicles in the transformer performance of the running gear, analytical expressions, which allow to determine the limit of permissible reduction of the road of the car in the transformer performance of its chassis. The obtained results can be used for creating hybrid cars (with a combined electromechanical drive of driving wheels) of a modular design with a transformer chassis.

Keywords: transformer chassis, base, track, center of mass, wheel detachment.