

УДК 629.3.016



М. А. Подригало



Р. О. Кайдалов

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ НОРМАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ОСЯМИ АВТОМОБІЛІВ ТА БОЙОВИХ МАШИН З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ВЕДУЧИХ КОЛІС

Запропоновано показник використання вантажопідйомності шин – коефіцієнт використання вантажопідйомності шин автомобілів та бойових машин і критерій раціонального розподілу нормального навантаження між осями машини при трансформеному виконанні її ходової частини.

К л ю ч о в і с л о в а: нормальне навантаження між осями, електричний привід ведучих коліс, автомобілі та бойові машини.

Постановка проблеми. Максимально граничне навантаження на шини є фактором, який обмежує повну масу колісних транспортних засобів. Ця проблема особливо актуальна для зразків автомобільної техніки, які мають броньований захист, а саме: автомобілів та бойових машин (АБМ). За умови збереження заданої вантажопідйомності шин резервом для збільшення максимальної повної маси АБМ є вирівнювання нормального навантаження між колесами різних осей.

Створення трансформеної ходової частини можливе за наявності електричного (електромеханічного) приводу ведучих коліс АБМ. За наявності електроприводу або мостів, або окремих коліс з'являється можливість їх зміщення вздовж поздовжньої осі автомобіля залежно від положення центра мас останнього.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нерівномірність розподілу нормального навантаження між осями істотно впливає на тягово-швидкісні властивості, стійкість й керованість АБМ [1]. Вплив нерівномірності розподілу нормальних реакцій між колесами на використання зчпної ваги двовісного автомобіля у тяговому режимі розглянуто у працях В. А. Карпенко [2, 3, 4]. Ним запропонована методика ймовірного оцінювання розподілу нормальних реакцій між колесами однієї осі [5]. Авторами праці [6] досліджено вплив нерівномірності розподілу вертикальних реакцій за осями на стійкість автомобіля при гальмуванні. Ймовірнісний метод оцінювання стійкості руху багатовісних автомобілів, що враховує статистичну невизначеність нормальних реакцій за осями, розглянуто у статті [7].

Дослідження, проведені авторами праць [1–7], показали, що поява нерівномірності розподілу нормального навантаження як між колесами однієї осі, так й між осями призводить до погіршення динамічних властивостей АБМ та ресурсу їх шин.

Одним із можливих способів зниження нерівномірності навантаження шин нормальним навантаженням може бути регулювання поздовжньої колісної бази (бази) автомобіля залежно від координат розташування його центра мас. Реалізація вказаного способу можлива у випадку використання електричного (електромеханічного) приводу ведучих коліс автомобіля з трансформеною конструкцією його ходової частини. Для двовісних зразків АБМ (КрАЗ-5233, Козак-001, Козак-2, КрАЗ-Шрек, Варта) задача регулювання бази залежно від положення його центра мас проблеми не створює. Для тривісних машин (КрАЗ-6322, КрАЗ-Феона) у разі використання електричного (електромеханічного) приводу ведучих коліс середнього і заднього мосту не має сенсу застосовувати балансиру підвіску.

Для більш рівномірного розподілу нормальних реакцій дороги між мостами останні доцільно рознести вздовж поздовжньої осі автомобіля, але у цьому випадку слід застосувати ймовірнісний метод оцінювання сумарних нормальних реакцій на осях автомобіля [1, 5, 7]. Аналогічним чином

необхідно виконувати завдання для чотиривісних машин (КрАЗ-Ураган, БТР-3Е, БТР-4Е) та АБМ, які мають більшу кількість осей.

Мета і постановка завдань дослідження. Метою дослідження є покращення динамічних властивостей АБМ і завантаженості їх шин шляхом раціонального розподілу нормального навантаження між мостами.

Для досягнення вказаної мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити показник і розробити критерій для оцінювання раціональності розподілу нормального навантаження між мостами АБМ;
- визначити взаємозв'язок між положенням центра мас АБМ і координатами розташування мостів машини з електроприводом ведучих коліс другого, третього й четвертого мостів.

Виклад основного матеріалу.

Показники нерівномірності розподілу нормального навантаження між мостами машини. При проектуванні автомобілів, тракторів та іншої колісної техніки намагаються виконати компоновку машини таким чином, щоб максимально задовольнити заявлені вимоги до динамічних властивостей, безпеки експлуатації, вантажоздатності, агрегативності (для спеціальних та спеціалізованих машин). Якщо для колісних тракторів, дорожніх машин й іншої спеціальної техніки з малими швидкостями руху отримання екстремальних компоновок (зі зміщенням до передньої або задньої осей центром мас) можливе, то для військових автомобілів та бойових машин, що можуть рухатись у широкому швидкісному діапазоні із забезпеченням стійкості і керованості на дорогах різного покриття, воно неможливе. Це пов'язане з тим, що на АБМ, на відміну від тракторів, не встановлюють на передні та задні колеса шини різного діаметра, а отже, з різним допустимим нормальним навантаженням P_0 . Зміщення центра мас АБМ у поздовжній площині (за будь-якого навантаження) призводить до недовикористання допустимої вантажопідйомності шин осі, яка більш відділена від центра мас машини. Однією із помилок на етапі проектування багатовісних АБМ (наприклад, чотиривісних бронетранспортерів), є можливе перевантаження шин окремих коліс.

В ідеальному випадку співвідношення між максимально допустимим нормальним навантаженням на шину й повною масою машини повинно мати такий вигляд:

$$2n \cdot P_0 = m_{\text{пов}} \cdot g, \quad (1)$$

де n – число мостів машини; P_0 – максимально допустиме навантаження на шину (для здвоєних шин це навантаження подвоюється); $m_{\text{пов}}$ – повна маса машини; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Рівність (1) визначає ідеальне співвідношення, при якому (за умови рівномірності навантаження коліс однієї осі) сумарні нормальні реакції дороги на будь-якій осі автомобіля рівні:

$$R_{z_i} = 2n \cdot P_0 = \frac{m_{\text{пов}} \cdot g}{n}. \quad (2)$$

Очевидно, що для двовісного автомобіля умова (2) виконується у випадку, якщо центр його мас розташований посередині бази. Зміщення центра мас машини відносно вказаного положення вперед або назад призведе до необхідності зниження повної маси (або вантажопідйомності машини) за умовою

$$R_{z_{\text{max}}} = 2P_0, \quad (3)$$

де $R_{z_{\text{max}}}$ – сумарна нормальна реакція дороги на найбільш навантаженій осі.

Введемо коефіцієнт використання вантажопідйомності шин

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{R_{z_{\text{max}}} - R_{z_{\text{min}}}}{2n \cdot P_0}, \quad (4)$$

де $R_{z_{\text{min}}}$ – сумарна нормальна реакція дороги на найменше навантаженій осі; l_{min} , l_{max} – відповідно відстані від проекції центра мас автомобіля на горизонтальну площину до ближчої (більше навантаженої) й найбільш віддаленої (менше навантаженої) осей машини.

$$R_{z_{\text{min}}} = R_{z_{\text{max}}} \frac{l_{\text{min}}}{l_{\text{max}}}; \quad (5)$$

Після підстановки виразу (5) у рівняння (4) й, враховуючи, що

$$l_{\min} + l_{\max} = L, \quad (6)$$

після перетворень отримаємо

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{L}{2l_{\max}}, \quad (7)$$

де L – база автомобіля.

Для нашого випадку двовісного автомобіля при

$$l_{\max} = \frac{L}{2} \quad (8)$$

отримаємо $\gamma_{\text{ш}} = 1$.

Для АБМ з числом осей більше двох вираз (4) набиратиме такого вигляду:

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{R_{z_{\max}} + \sum_{i=1}^{n-1} R_{z_i}}{2n \cdot P_0}. \quad (9)$$

Якщо відомий $\gamma_{\text{ш}}$, максимально допустима повна маса машини дорівнюватиме

$$[m_{\text{пов}}]_{\max} = \frac{2n \cdot P_0 \cdot \gamma_{\text{ш}}}{g} \quad (10)$$

або з урахуванням формули (9):

$$[m_{\text{пов}}]_{\max} = \frac{R_{z_{\max}} + \sum_{i=1}^{n-1} R_{z_i}}{g}. \quad (11)$$

Якщо у формулі (9) виразити $\sum_{i=1}^{n-1} R_{z_i}$ через дійсну повну масу автомобіля

$$\sum_{i=1}^{n-1} R_{z_i} = g \cdot m_{\text{пов}} - R_{z_{\max}}, \quad (12)$$

тоді вона матиме такий вигляд:

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{m_{\text{пов}} \cdot g}{2n \cdot P_0}. \quad (13)$$

Критерієм раціонального вибору розподілу нормального навантаження між осями АБМ буде отримане значення $\gamma_{\text{ш}} = 1$, що можливе при виконанні умови (2).

Визначення взаємозв'язку між положенням центра мас автомобіля й координатами розташування його мостів.

Розглянемо схему зміни бази двовісного автомобіля за умови максимального використання вантажопідйомності шин (рис. 1).

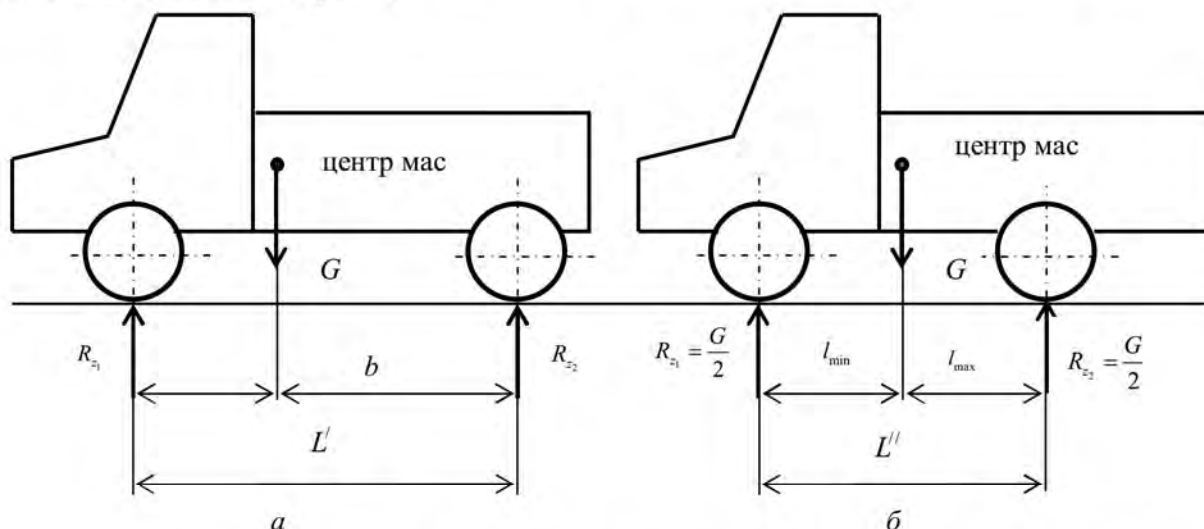


Рис. 1. Схема зміни бази двовісного автомобіля за умови максимального використання вантажопідйомності шин: a – до зміни бази; b – після зміни бази

Сумарні нормальні реакції дороги на передній та задній осях машини до зміни її бази:

$$R_{z_1} = \left(1 - \frac{a}{L}\right)G; \quad (14)$$

$$R_{z_2} = \frac{a}{L}G, \quad (15)$$

де L – розмір бази машини до її зміни; $G = m_{\text{нов}} \cdot g$ – повна вага машини.

Розмір бази АБМ після зміни визначаємо з урахуванням того, що $a = l_{\text{min}}$. При $R_{z_1} = R_{z_2} = \frac{G}{2}$, прирівнюючи праві частини рівнянь (14) і (15), визначимо

$$L'' = 2l_{\text{min}}, \quad (16)$$

де L'' – розмір бази машини після зміни.

Зауважимо, що задачу можна було б розв'язати й перенесенням передньої осі машини вперед на відстань $b - a$ (b – відстань від проекції центра мас на горизонтальну площину до задньої осі). Але це не завжди можливо за конструктивними рішеннями й призводить до збільшення бази АБМ. При цьому погіршується керованість машини й збільшується навантаження на раму.

Для тривісної машини визначити сумарні нормальні реакції дороги можливо ймовірнісним методом [1]. Для нашого випадку він полягає у використанні правила трьох сигм при визначенні математичного сподівання сумарних нормальних навантажень на осях тривісного автомобіля [1] (рис. 2).

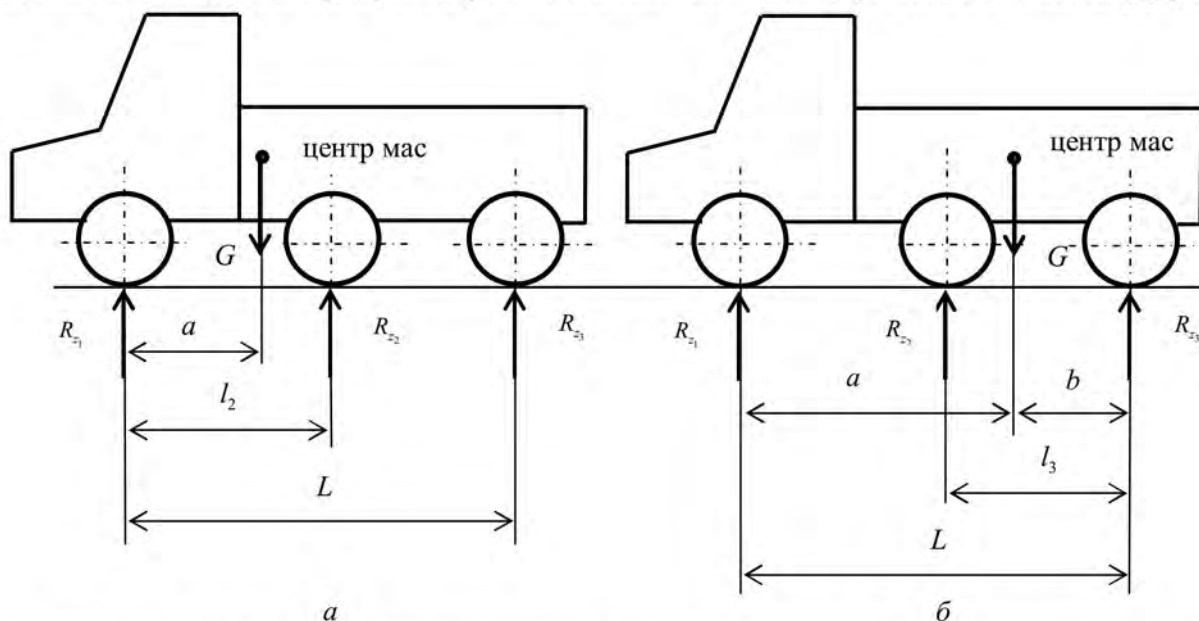


Рис. 2. Схема до ймовірнісного визначення сумарних нормальних реакцій на осях тривісного автомобіля:

a – при $a < l_2$; b – при $a > l_3$

Для розв'язання задачі будемо використовувати окремі випадки, коли навантаженими будуть не всі осі машини, а тільки дві. На третій осі сумарне нормальне навантаження дорівнюватиме нулю. Для обох випадків, що наведені на рис. 2, можливі два екстремальних варіанти навантаження. Розглянемо випадок, представлений на рис. 2, a . Припустимо, що навантажені передня та задня осі. При цьому $R_{z_2} = 0$. У цьому випадку

$$\begin{cases} R_{z_1} = G \left(1 - \frac{a}{L}\right), \\ R_{z_2} = 0, \\ R_{z_3} = G \cdot \frac{a}{L}. \end{cases} \quad (17)$$

Для навантажених передньої та середньої осей

$$\begin{cases} R_{z_1} = G \left(1 - \frac{a}{L}\right), \\ R_{z_2} = G \cdot \frac{a}{l_2}, \\ R_{z_3} = 0. \end{cases} \quad (18)$$

При розташуванні центра мас машини (рис. 2, а) неможливі варіанти, за якими $R_{z_1} = 0$. Порівнюючи обидва варіанти, визначимо:

$$(R_{z_1})_{\max} = G \left(1 - \frac{a}{L}\right); \quad (19)$$

$$(R_{z_1})_{\min} = G \left(1 - \frac{a}{l_2}\right); \quad (20)$$

$$(R_{z_2})_{\max} = G \frac{a}{l_2}; \quad (21)$$

$$(R_{z_2})_{\min} = 0; \quad (22)$$

$$(R_{z_3})_{\max} = G \frac{a}{L}; \quad (23)$$

$$(R_{z_3})_{\min} = 0. \quad (24)$$

При цьому

$$\bar{R}_{z_1} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_1})_{\max} + (R_{z_1})_{\min} \right] = \frac{G}{2} \left[2 - a \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{l_2} \right) \right]; \quad (25)$$

$$\bar{R}_{z_2} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_2})_{\max} + (R_{z_2})_{\min} \right] = \frac{G a}{2 l_2}; \quad (26)$$

$$\bar{R}_{z_3} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_3})_{\max} + (R_{z_3})_{\min} \right] = \frac{G a}{2 L}. \quad (27)$$

Розглянемо випадок, що представлений на рис. 2, б. Для вказаного випадку:

$$(R_{z_1})_{\max} = \frac{b}{L} G; \quad (28)$$

$$(R_{z_1})_{\min} = 0; \quad (29)$$

$$(R_{z_2})_{\max} = \frac{b}{l_3} G; \quad (30)$$

$$(R_{z_2})_{\min} = 0; \quad (31)$$

$$(R_{z_3})_{\max} = \left(1 - \frac{b}{L}\right) G; \quad (32)$$

$$(R_{z_3})_{\min} = \left(1 - \frac{b}{l_3}\right) G, \quad (33)$$

де b – відстань від задньої осі до проекції центра мас машини на горизонтальну площину.

Середні значення нормальних навантажень на осі АБМ:

$$\bar{R}_{z_1} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_1})_{\max} + (R_{z_1})_{\min} \right] = \frac{b}{2L} G; \quad (34)$$

$$\bar{R}_{z_2} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_2})_{\max} + (R_{z_2})_{\min} \right] = \frac{b}{2l_3} G; \quad (35)$$

$$\bar{R}_{z_3} = \frac{1}{2} \left[(R_{z_3})_{\max} + (R_{z_3})_{\min} \right] = \left[1 - \frac{b}{2} \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{l_3} \right) \right] G. \quad (36)$$

Умовою раціонального розподілу нормального навантаження між осями машини є рівність

$$\bar{R}_{z_1} = \bar{R}_{z_2} = \bar{R}_{z_3} = \frac{G}{3}. \quad (37)$$

Для випадку, що наведений на рис. 2, а, виконання умови (37) можливе, якщо

$$L'' = l_2 \quad (38)$$

та

$$L'' = \frac{3}{2} a. \quad (39)$$

Для випадку, наведеного на рис. 2, б, виконання умови (37) можливе, якщо

$$L'' = l_3 \quad (40)$$

та

$$L'' = \frac{3}{2} b. \quad (41)$$

Отримані результати (38) та (40) показують, що при $a < l_2$ (рис. 2, а) необхідно суміщати середню й задню осі машини. Це можливе при встановленні здвоєних шин або при використанні балансірної підвіски середнього і заднього мостів. Для АБМ, які експлуатують на дорогах з твердим покриттям, можливий перший варіант, а для машин, що використовуються в різних дорожніх умовах, в тому числі бездоріжжя (військові АБМ), можливий варіант з балансірною підвіскою середнього і заднього мостів.

Для випадку, наведеного на рис. 2, б, необхідно суміщати передню й середню осі. Встановлення здвоєних шин на передню вісь є нераціональним з усіх точок зору, а використання балансірної підвіски переднього та заднього мостів, хоча й передбачає конструктивне ускладнення машини, але можливе. Однак цей варіант для бази, що регулюється, також можна замінити балансірною підвіскою заднього і середнього мостів, оскільки забезпечується рівність $\bar{R}_{z_1} = \bar{R}_{z_2} = \bar{R}_{z_3}$.

Висновки

1. Запропонований показник – коефіцієнт використання вантажопідйомності шин, який дозволяє оцінити раціональність вибраної компоновки машини з позицій рівності ресурсу усіх її шин. Критерієм раціонального вибору розподілу нормального навантаження між осями й колесами АБМ є рівність одиниці зазначеного показника.

2. Напрямок покращення розподілу нормального навантаження між осями АБМ є застосування трансформеної ходової частини, яка дозволяє змінювати базу машини залежно від горизонтальної координати центра мас автомобіля.

3. Поява колісної техніки з електричним (електромеханічним) приводом ведучих коліс полегшує створення трансформеної ходової частини АБМ.

4. Отримані аналітичні залежності дозволяють здійснювати вибір поздовжньої бази залежно від положення центра мас машини у горизонтальній площині.

5. Доведено, що для тривісних автомобілів, що експлуатують в умовах бездоріжжя (військові АБМ), доцільно залишити балансірну підвіску для середнього і заднього мостів.

Список використаних джерел

1. Стабильность эксплуатационных свойств колёсных машин [Текст] / М. А. Подригало, В. П. Волков, В. А. Карпенко и др.; под ред. М. А. Подригало. – Х. : ХНАДУ, 2003. – 614 с.
2. Карпенко, В. А. Влияние неравномерности распределения вертикальных реакций между колёсами на использование сцепного веса автомобиля в тяговом режиме [Текст] / В. А. Карпенко // Тракторная энергетика в растениеводстве : сб. науч. тр. ХГТУСХ. – Х. : ХГТУСХ, 1999. – С. 226–229.
3. Карпенко, В. А. Оценка потенциальных динамических характеристик автомобиля [Текст] / В. А. Карпенко // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – Х. : ХНАДУ, 1998. – Вып. 1. – С. 64–68.

4. Карпенко, В. А. Влияние межколёсного дифференциала на динамические характеристики автомобиля при неравномерном распределении вертикальной загрузки между колёсами [Текст] / В. А. Карпенко // Механіка та машинобудування : наук.-практ. журн. – Х. : НТУ “ХПІ”, 2000. – № 1. – С. 67–71.

5. Карпенко, В. А. Вероятностная оценка распределения вертикальных реакций между колёсами одной оси автомобиля [Текст] / В. А. Карпенко, М. А. Подригало // Тракторная энергетика в растениеводстве : сб. науч. тр. – Х. : ХГТУСХ, 1999. – С. 229–234.

6. Подригало, М. А. Неравномерность вертикальных реакций на колёсах автомобиля и его устойчивость при торможении [Текст] / М. А. Подригало, В. А. Карпенко // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 2. – С. 19–21.

7. Яценко, К. Т. Вероятностный метод оценки устойчивости движения многоосных автомобилей [Текст] / К. Т. Яценко, М. А., Подригало, Д. М. Клец // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3 (43). – С. 155–158.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2017 р.

УДК 629.3.016

М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ
МЕЖДУ ОСЯМИ АВТОМОБИЛЕЙ И БОЕВЫХ МАШИН С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ
ПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ КОЛЕС**

Предложен показатель использования грузоподъемности шин – коэффициент использования грузоподъемности шин автомобилей и боевых машин и критерий рационального распределения нормальной нагрузки между осями машины при трансформенном выполнении её ходовой части.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нормальная нагрузка между осями, электрический привод ведущих колес, автомобили и боевые машины.

UDC 629.3.016

M. A. Podrigalo, R. O. Kaidalov

**PROVIDING THE RATIONAL DISTRIBUTION OF THE NORMAL LOAD BETWEEN THE AXIS
OF AUTOMOBILES AND BATTLE MACHINES WITH THE ELECTRIC DRIVE OF THE
LEADING WHEELS**

The index of utilization of load-carrying capacity of tires is offered - coefficient of use of load-carrying capacity of tires of cars and fighting vehicles and criterion of rational distribution of normal loading between axles of the car at transformer performance of its running gear.

K e y w o r d s: normal load between axles, electric drive of driving wheels, cars and fighting vehicles.

Подригало Михайло Абович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

Кайдалов Руслан Олегович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Національної академії Національної гвардії України.