

УДК 629. 3.017



І. Л. Страшний



Г. М. Маренко

ПЕРЕВІРКА ГАЛЬМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВІДПОВІДНІСТЬ НОРМАТИВНИМ ВИМОГАМ

Сформована графоаналітична методика перевірки гальмівних властивостей вантажного автомобіля військового призначення на відповідність міжнародним нормативним вимогам та вимогам розроблених на їх основі національних стандартів.

К л ю ч о в і с л о в а: гальмівні властивості, коефіцієнт гальмування, розподіл гальмівних сил, коефіцієнт зчеплення, криві реалізованого зчеплення.

Постановка проблеми. Вантажні автомобілі військового призначення виконують транспортну роботу у надзвичайно складних дорожніх умовах та в умовах вогневої протидії й життєвої необхідності рухатись з максимально можливою в заданих умовах швидкістю. Тому ефективність і надійність систем автомобіля, зокрема гальмівної, має особливе значення. Необхідні значення показників гальмівних властивостей закладаються на етапі проектування автомобіля й вітчизняні розробники гальмівних систем повинні керуватися відповідними національними нормативними документами та міжнародним регламентуючим документом, яким є Правила № 13 Європейської економічної комісії (ЄЕК) ООН [1], прийняті в Україні як Державний стандарт [2, 3]. Необхідність перевірки гальмівних властивостей на відповідність нормативним вимогам може виникати й під час створення модифікацій серійного автомобіля, оснащення його додатковим обладнанням, внесення конструктивних змін до гальмівного керування тощо. Тому розроблення методики перевірки гальмівних якостей автомобіля на відповідність нормативним вимогам можна вважати актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У навчальних посібниках [4, 5, 7] та у праці [9] наведено дані про конструкцію автомобільних гальмівних систем і визначено вплив конструктивних чинників на ефективність гальмування. У працях [4, 5, 6] розглядаються питання теорії гальмівних властивостей автомобіля й наведені співвідношення для розрахунку показників гальмівних властивостей, зокрема часу і шляху гальмування, сповільнення під час гальмування та розподілу гальмівних сил між осями автомобіля. У статті [8] сформована математична модель для дослідження гальмівної динаміки вантажного автомобіля військового призначення й розглянуті окремі аспекти стійкості руху автомобіля під час гальмування. Слід зазначити, що оцінювання відповідності гальмівних якостей автомобіля нормативним вимогам, разом з розрахунком гальмівної динаміки, є невід'ємною частиною як проектного, так і перевірконого розрахунків гальмівної системи. У такому сенсі дану статтю можна розглядати як продовження праці [8]. Керівництво [10] використовується як джерело початкових даних, необхідних для розрахунків у даній статті.

Метою статті є формування графоаналітичної методики перевірки гальмівних властивостей вантажного автомобіля військового призначення на відповідність нормативним вимогам.

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконаємо для повнопривідного військового вантажного автомобіля КрАЗ-6322-02 з повною масою $m_a = 25,2$ т.

З метою перевірки гальмівних властивостей автомобіля на відповідність вимогам Правил № 13 ЄЕК ООН і пов'язаних з ними національних стандартів необхідно побудувати криві реалізованого зчеплення k_{ϕ_i} коліс з дорогою як функцію відносного сповільнення Z . Криві будуватимемо окремо для переднього мосту (k_{ϕ_1}) і заднього мосту або заднього колісного візка (k_{ϕ_2}). Для побудови необхідно скористатися формулами

$$k_{\phi_1} = \frac{F\tau_1}{G_1^{ct} + \frac{Z \cdot h_g \cdot G}{L}}; \quad k_{\phi_2} = \frac{F\tau_2}{G_2^{ct} - \frac{Z \cdot h_g \cdot G}{L}}, \quad (1)$$

де G – вага автомобіля, Н;

G_1^{ct} , G_2^{ct} – нормальні складові ваги автомобіля на відповідні мости за статичних умов на

горизонтальній поверхні, Н;

h_g – висота центра мас автомобіля, м;

L – база автомобіля, м;

$F\tau_1, F\tau_2$ – гальмівні сили, реалізовані колесами переднього мосту й заднього колісного візка відповідно, Н;

Z – відносне сповільнення автомобіля (коефіцієнт гальмування),

$$Z = j_c / g ; \quad (2)$$

j_c – сповільнення автомобіля (похідна від швидкості автомобіля під час гальмування), м/с²;

g – прискорення вільного падіння.

Криві необхідно побудувати для спорядженого й повністю навантаженого транспортного засобу на інтервалі Z від 0,1 до 0,8.

Згідно з приписами Правил № 13 автотранспортний засіб будь-якої категорії у діапазоні зміни коефіцієнта зчеплення φ від 0,2 до 0,8 повинен задовольняти співвідношенню

$$Z \geq 0,1 + 0,85(\varphi - 0,2), \quad (3)$$

або, враховуючи вираз (2),

$$j_c \geq [0,1 + 0,85(\varphi - 0,2)] \cdot g . \quad (4)$$

Рівняння

$$Z = 0,1 + 0,85(\varphi - 0,2) \quad (5)$$

або

$$j_c = [0,1 + 0,85(\varphi - 0,2)] \cdot g \quad (6)$$

визначають мінімально допустиму інтенсивність гальмування транспортного засобу за заданих умов зчеплення коліс із дорогою. Таким чином, основна вимога Правил № 13 може бути сформульована так: якщо гальмування автомобіля здійснюється на дорозі з коефіцієнтом зчеплення φ , то воно повинно відбуватись з інтенсивністю не нижче тієї, що визначається коефіцієнтом Z або сповільненням j_c , розрахованими відповідно за виразами (5) або (6).

Необхідний для досягнення цієї інтенсивності коефіцієнт зчеплення φ має бути не більше значення

$$\varphi = (Z + 0,07) / 0,85 . \quad (7)$$

Залежність (7) отримана з рівняння (5) шляхом його розв'язування відносно φ .

У більшості випадків під час розрахунку гальмівної динаміки автомобіля значення гальмівних сил $F\tau_1$ та $F\tau_2$, реалізованих колесами автомобіля, зазвичай не відомі. Тому розрахунок коефіцієнтів реалізованого зчеплення k_{φ_i} для різних значень відносного сповільнення Z можна виконати за виразами

$$k_{\varphi_1} = \frac{(1 - \Phi) \cdot Z}{1 - \psi + \chi \cdot Z}; \quad k_{\varphi_2} = \frac{\Phi \cdot Z}{\psi - \chi \cdot Z}, \quad (8)$$

де Φ – показник співвідношення гальмівних сил, який є відношенням гальмівної сили $F\tau_2$ на задній осі (або гальмівного моменту) до сумарної гальмівної сили $F\tau_{\Sigma} = G \cdot Z$ (або гальмівного моменту),

$$\Phi = F\tau_2 / F\tau_{\Sigma}; \quad (9)$$

$\psi = a / L$;

a – відстань від передньої осі до центра мас автомобіля, м;

$\chi = h_g / L$.

За відсутності у гальмівному приводі регулювальних пристроїв показник Φ є постійною величиною. Вибір його значення – одна з основних задач, що вирішуються під час проектування автомобільних гальмівних систем, оскільки саме він визначає, чи буде даний автомобіль задовольняти (або не задовольняти) вимоги Правил № 13 ЄЕК ООН стосовно розподілу гальмівних сил між осями.

Для того, щоб гальмування автомобіля в будь-яких дорожніх умовах відбувалось з максимальним сповільненням, гальмівні сили на його колесах завжди мають бути пропорційними навантаженням або нормальним реакціям, що припадають на колеса, тобто

$$F\tau_1 / F\tau_2 = Rz_1 / Rz_2. \quad (10)$$

Розв'язуючи сумісно рівності (9) та (10), отримаємо

$$\Phi = \frac{F\tau_1 \cdot Rz_2}{F\tau_2 \cdot Rz_1} \text{ або } \Phi = 1 - \frac{F\tau_2 \cdot Rz_1}{F\tau_2 \cdot Rz_2}. \quad (11)$$

Нормальні реакції Rz_1 і Rz_2 через коефіцієнт Z визначаються виразами

$$Rz_1 = G_1^{\text{ст}} + \frac{h_g}{L} \cdot G \cdot Z, \quad Rz_2 = G_2^{\text{ст}} - \frac{h_g}{L} \cdot G \cdot Z. \quad (12)$$

Гальмівні сили в контактні коліс i -го мосту з дорогою, за яких колеса всіх мостів одночасно доводяться до блокування, розраховуються за формулою

$$F\tau_i = Rz_i \cdot Z. \quad (13)$$

Визначити показник співвідношення гальмівних сил Φ для досліджуваного автомобіля можна, використовуючи вирази (11), (12) та (13) з урахуванням вагових та габаритних показників автомобіля [10], а також того, що максимальне сповільнення для вантажних автомобілів, повна маса яких більше 12 т, повинно бути не менше $5,0 \text{ м/с}^2$ [2], за якого відносне сповільнення дорівнює $Z = 5,0 / 9,81 = 0,51$. У результаті для автомобіля КрАЗ-6322-02 отримаємо:

$$\begin{aligned} Rz_1 &= 70632 + \frac{1,57}{5,3} \cdot 247212 \cdot 0,51 = 107979,67 \text{ Н}; \\ Rz_2 &= 2 \cdot 88290 - \frac{1,57}{5,3} \cdot 247212 \cdot 0,51 = 139232,33 \text{ Н}; \\ F\tau_1 &= 107979,67 \cdot 0,51 = 55069,63 \text{ Н}; \quad F\tau_2 = 139232,33 \cdot 0,51 = 71008,5 \text{ Н}; \\ \Phi &= \frac{55069,63 \cdot 139232,33}{247212 \cdot 0,51 \cdot 107979,67} = 0,563. \end{aligned}$$

Потім за отриманими даними, користуючись виразами (8), можна побудувати графіки зміни коефіцієнтів реалізованого зчеплення $k_{\varphi_1}(Z)$ та $k_{\varphi_2}(Z)$ для двох вагових станів автомобіля – спорядженого й повністю завантаженого. На ці графіки також наносять граничні межі зміни k_{φ_i} , визначені Правилами № 13.

Для всіх можливих вагових станів автомобіля крива реалізованого зчеплення $k_{\varphi_1}(Z)$ передніми колесами повинна розташовуватися над кривою $k_{\varphi_2}(Z)$ за таких умов.

1. Для транспортних засобів категорії M_1 , а також N_1 з максимальною масою менше 2 000 кг або для яких коефіцієнт зміни навантаження на задній міст у навантаженому й спорядженому станах не більше ніж 1,5, ця вимога повинна виконуватись в діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,8$. Якщо це не може бути забезпечено, то в діапазоні $0,3 \leq Z \leq 0,45$ допускається перевищення кривої k_{φ_2} над k_{φ_1} , але у такому випадку значення k_{φ_2} у цьому діапазоні не можуть перевищувати величину $\varphi = Z + 0,05$, так звана альтернативна вимога.

2. Для транспортних засобів категорії N_1 (за винятком транспортних засобів, вказаних у п. 1) крива k_{φ_1} повинна проходити вище кривої k_{φ_2} за значень Z , що знаходяться у діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,5$. У випадку недотримання цієї вимоги можна скористатися альтернативними вимогами: у діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,3$ криві k_{φ_i} розташовуються між двома прямими $\varphi = Z \pm 0,08$, але при цьому допускається, що крива k_{φ_2} може перетинати нижню пряму $\varphi = Z - 0,08$. У діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,5$ криві $k_{\varphi_i}(Z)$ обмежуються зверху лінією $\varphi = Z + 0,08$.

3. Для інших транспортних засобів інших категорій крива k_{φ_1} повинна бути вище кривої k_{φ_2} у

діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,3$. У разі недотримання цієї вимоги допускається альтернативне проходження ліній $k_{\varphi_i}(Z)$: у діапазоні $0,15 \leq Z \leq 0,3$ криві $k_{\varphi_i}(Z)$ повинні розташовуватися між прямими $\varphi = Z \pm 0,08$, а при $Z > 0,3$ криві $k_{\varphi_i}(Z)$ не повинні перетинати лінію $\varphi = (Z - 0,02) / 0,74$.

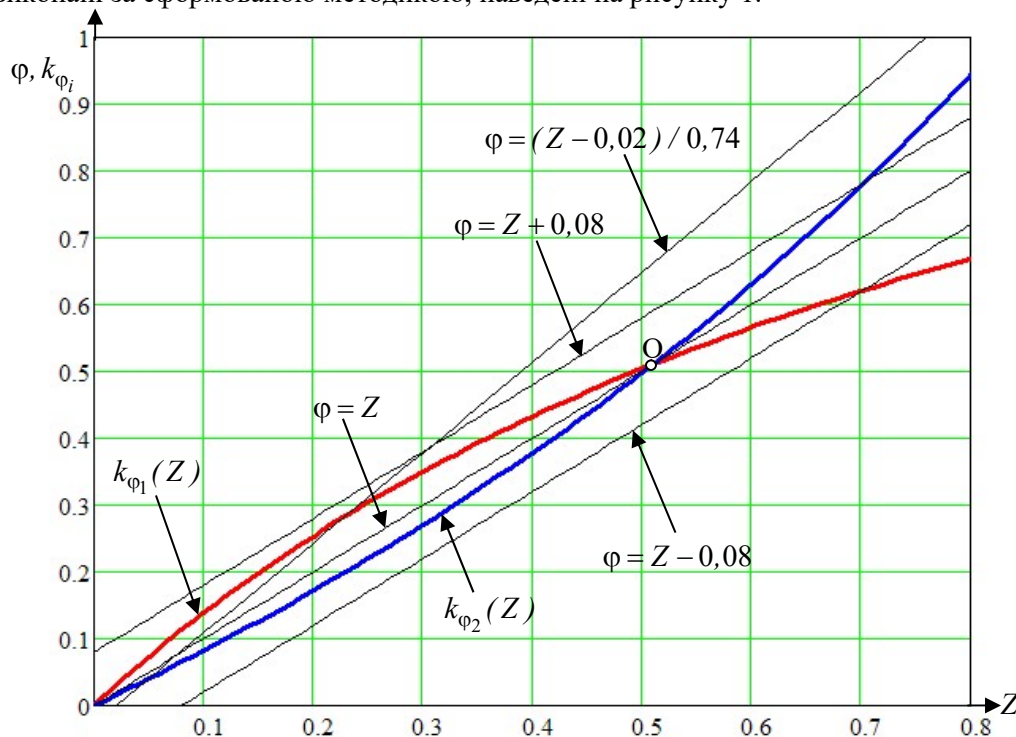
Для транспортних засобів із кількістю осей більше двох вимоги (3) та (4) повинні виконуватись обов'язково. Крім цього, для $Z = 0,15 \dots 0,3$ реалізоване зчеплення принаймні однієї з передніх осей повинно бути вище реалізованого зчеплення принаймні однієї із задніх осей.

Зведемо основні й альтернативні вимоги Правил № 13 в таблицю 1.

Таблиця 1 – Діапазони зміни коефіцієнта гальмування Z , за яких $k_{\varphi_1}(Z)$ повинна бути вище $k_{\varphi_2}(Z)$ для транспортних засобів різних категорій

Категорія	Основні вимоги	Альтернативні вимоги
М ₁ , N ₁ до 2000 кг	0,15...0,80	Допускається перевищення кривої $k_{\varphi_2}(Z)$ для задньої осі на ділянці від 0,30 до 0,45 за умови, що вона не виходить більш ніж на 0,05 за межі прямої $\varphi = Z$.
N ₁	0,15...0,50	Умова може вважатися виконаною, якщо: – для Z у діапазоні від 0,15 до 0,30 криві $k_{\varphi_i}(Z)$ розташовані між прямими $\varphi = Z \pm 0,08$; при цьому крива $k_{\varphi_2}(Z)$ може перетинати пряму $\varphi = Z - 0,08$; – для Z у діапазоні від 0,3 до 0,5 $Z \geq \varphi - 0,08$; – для Z у діапазоні від 0,5 до 0,61 $Z \geq 0,5\varphi + 0,21$.
Решта категорій	0,15...0,30	Умова може вважатися виконаною, якщо: – для Z у діапазоні від 0,15 до 0,30 криві $k_{\varphi_i}(Z)$ розташовані між прямими $\varphi = Z \pm 0,08$; – для $Z > 0,3$ $Z \geq 0,3 + 0,74(\varphi - 0,38)$.

Досліджуваній автомобіль КрАЗ-6322-02 за гальмівними властивостями належить до категорії N₃. Результати графічного аналізу гальмівних якостей автомобіля на відповідність нормативним вимогам, виконані за сформованою методикою, наведені на рисунку 1.



a – для завантаженого стану

Рисунок 1 Графічний аналіз відповідності гальмівних властивостей автомобіля КрАЗ-6322-02 нормативним вимогам

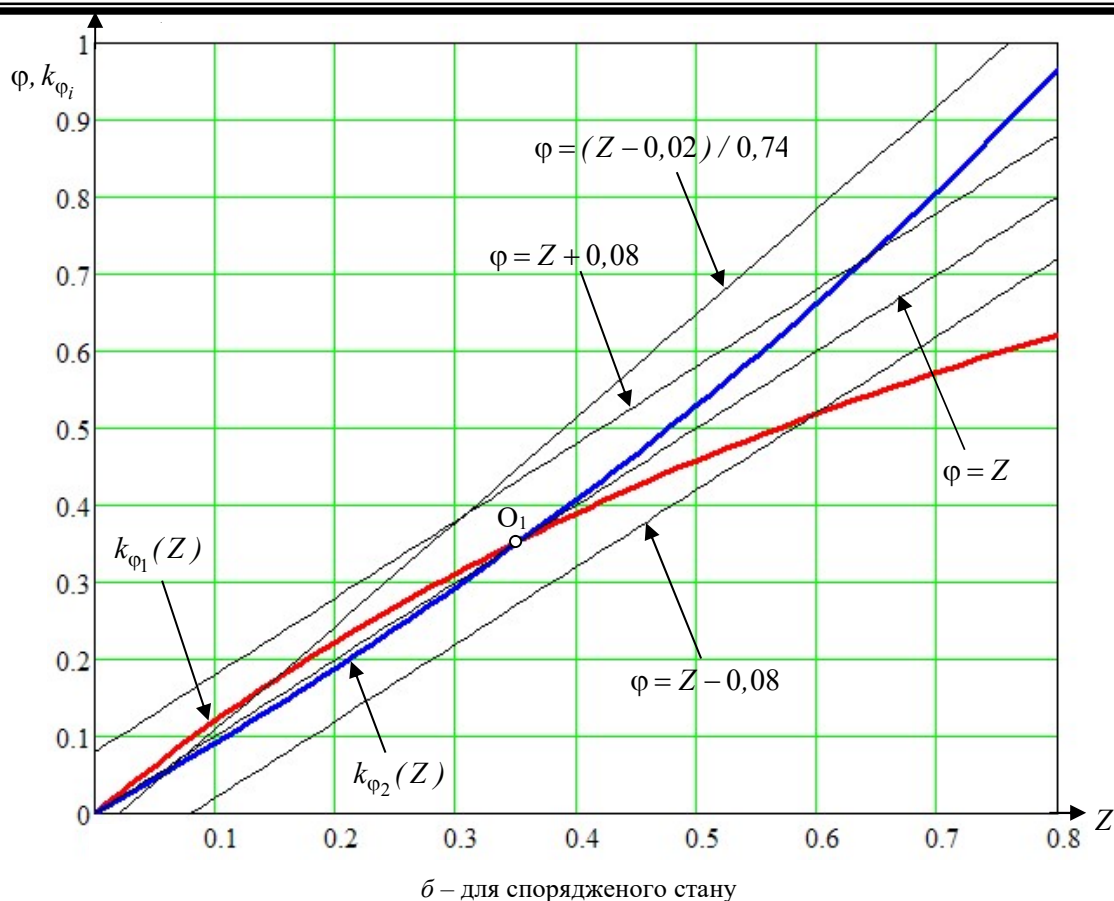


Рисунок 1 – аркуш 2

Аналіз результатів дослідження відповідності гальмівних якостей автомобіля КраЗ-6322-02 нормативним вимогам (рисунок 1) свідчить, що робоча гальмівна система за будь-якого рівня завантаженості автомобіля задовольняє вимоги Правил № 13 ЄЕК ООН, оскільки $k_{\varphi_1} > k_{\varphi_2}$ у всьому визначеному Правилами № 13 діапазоні (див. таблицю 1).

Висновки

Сформована методика перевірки гальмівних властивостей вантажного автомобіля військового призначення на відповідність нормативним вимогам може бути використана для обґрунтованого вибору показника співвідношення гальмівних сил на етапі проектування гальмівної системи. Методика також може бути використана для перевірного розрахунку гальмівної системи у разі створення модифікацій серійного автомобіля та (або) внесення конструктивних змін у гальмівне керування автомобіля.

Перелік джерел посилання

1. Regulation No 13 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking: on condition 30.09.2010. *Official Journal of the European Union*. UN/ECE. 2010. 257 p.
2. ДСТУ UN/ECE R 13-07.08-2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, і О стосовно гальмування (Правила ЄЕК ООН N 13-07,08:1996, IDT). [Чинний від 2003.01.01]. Вид. офіц. Київ, 2003. 24 с.
3. ДСТУ 2886:94. Автотранспортні засоби. Гальмівні властивості. Терміни та визначення. [Чинний від 1996.01.01]. Вид. офіц. Київ, 1996. 28 с.
4. Страшний І. Л., Шабалін О. Ю. Основи конструкції автомобілів. Шасі : навч. посіб. Харків : НА НГУ, 2019. 205 с.
5. Сирота В. І., Сахно В. П.. Автомобілі. Основи конструкції, теорія : навч. посіб. Київ : Арістей, 2008. 288 с.

6. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : Університетська книга, 2010. 320 с.

7. Страшний І. Л., Горбунов А. П. Експлуатаційні властивості автомобілів : навч. посіб. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2014. 94 с.

8. Страшний І. Л., Маренко Г. М., Цебрюк І. В. Дослідження гальмівної динаміки військового вантажного автомобіля.: *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2020. Вип. 1 (35). С. 79 – 86.

9. Мазін С. П., Маренко Г. М., Страшний І. Л. Пропозиції з удосконалення конструкції приводу робочих гальмівних систем автобронетанкової техніки. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2019. Вип. 65. С. 148-152.

10. Автомобілі КрАЗ-6322-02, КрАЗ-63221-02, КрАЗ-5446-02 : Керівництво з експлуатації 6322-016-02-3902010 У РЕ. Кременчук : АвтоКрАЗ, 2008. 263 с.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2023 р.

UDC 629.3.017

I. Strashnyi, G. Marenko

CHECKING THE BRAKING PROPERTIES OF A MILITARY TRUCK FOR COMPLIANCE WITH REGULATORY REQUIREMENTS

Military trucks carry out transport work in extremely difficult road conditions and in conditions of enemy fire. Therefore, the efficiency and reliability of the braking system is of particular importance. The necessary values of the braking performance indicators are laid down at the stage of designing the car and must comply with national regulatory documents and the international regulatory document, which is the UN/ECE Regulation No. 13. The need to check the braking properties for compliance with regulatory requirements may also arise during the creation of modifications of a serial car. Therefore, the development of a methodology for checking the braking properties of a car for compliance with regulatory requirements should be considered an urgent task.

The purpose of the article is the formation of a graphic-analytical technique for checking the braking properties of a military truck for compliance with regulatory requirements.

To achieve the specified goal, a formula scheme for calculating the normal reactions of the support surface on the wheels of the car, calculating the indicator of the ratio of braking forces between the axles of the car and calculating the curves of the realized coupling. Definitions of these parameters were performed for a military truck selected as a prototype.

The basic and alternative requirements of Regulation No. 13 regarding the distribution of braking forces between vehicle axles and the requirements regarding the ratio of the coefficients of the realized clutch in the given range of the change of the braking coefficient have been defined.

A graphical analysis of compliance of the car-prototype car's braking qualities with regulatory requirements was carried out. The results of the analysis show that the braking system at any level of vehicle load meets the requirements of UN/ECE Regulation No. 13.

The developed methodology for checking the braking properties of a military truck for compliance with regulatory requirements can be used for a reasonable choice of the indicator distribution of braking forces at the stage of brake system design. The methodology can also be used for the verification calculation of the braking system in the case of creating modifications of a serial car and (or) introducing structural changes in the braking system of the car.

К e y w o r d s: braking properties, braking coefficient, distribution of braking forces, coupling coefficient, curves of realized coupling.

Страшний Ігор Леонідович – кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-7517-3032>

Маренко Геннадій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-7461-9186>