

УДК 656.13



І. К. Шаша



І. В. Цебрюк



В. М. Мануйлов

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті проаналізовано вплив вібраційних навантажень на водія і пасажирів. Коливальний процес розглянуто з урахуванням конкретних кореляційних функцій і енергетичних параметрів.

К л ю ч о в і с л о в а: функціональна стабільність, умови експлуатації, фактор, плавність ходу, підвіска, коливання, надійність, швидкість руху.

Постановка проблеми. Під функціональною стабільністю техніки слід розуміти здатність виконувати покладені на неї функції під впливом дестабілізуючих факторів. Автори вважають, що особливі умови експлуатації військової техніки (ВТ) є тими дестабілізуючими факторами, що суттєво впливають на плавність ходу [1].

Під плавністю ходу ВТ, яка визначається підвіскою, розуміють пристосованість до руху по дорогах з високими швидкостями і з мінімальним коливанням підресорених і не підресорених мас. Підвіска впливає на тягово-швидкісні якості, комфортабельність, стомлюваність водія і пасажирів, збереження вантажів, що перевозяться. Від конструкції підвіски залежить середня технічна швидкість руху, отже і продуктивність та собівартість перевезень, безпека дорожнього руху, інші показники ефективності функціонування машин.

У табл. 1 подана класифікація умов експлуатації ВТ Національної гвардії України у ході виконання службово-бойових завдань (СБЗ).

Т а б л и ц я 1 – Класифікація умов експлуатації ВТ НГУ

Група умов експлуатації	Середня швидкість руху, км/год	Коефіцієнт сумарного опору руху, ψ	Середньозважене передаточне число коробки передач, i_k
I	60	0,013	0,750
II	47	0,017	0,957
III	38	0,021	1,184
IV	32	0,025	1,406
V	26	0,031	1,731
VI	20	0,07	2,250
VII	14	0,143	3,214

Очевидним є те, що серед інших факторів особливі умови експлуатації суттєво впливають на результативність виконання СБЗ. Зокрема своєчасність доставки особового складу та необхідного вантажу може бути критичним параметром для успішності виконання СБЗ підрозділами НГУ, наприклад, в умовах надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, масових заворушень, участі у спеціальних операціях із пошуку та знешкодження озброєних злочинців, ліквідації незаконних збройних формувань або при виконанні завдань територіальної оборони.

Плавність ходу залежить від конструкції машин, розподілу мас по осях, розташування центра ваги, жорсткості ресор і амортизаторів, співвідношення ваги підресорених і не підресорених мас, коефіцієнта розподілу мас.

Від якості підвіски і плавності ходу залежить стійкість проти бічного відведення і заносу, що безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху. Плавність ходу нерозривно пов'язана з надійністю машин і станом дорожнього покриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У реальних дорожніх умовах розташування нерівностей має випадковий характер. Деякі автори пропонують розглядати машину, що рухається з певною швидкістю, як механічну динамічну лінійну (або нелінійну) систему під дією випадкових впливів [2, 3]. При цьому випадковий коливальний процес розглядається як стаціонарний, що відбувається в часі приблизно однаково і має вигляд випадкових безперервних коливань близько деякого середнього значення [4]. Для аналізу коливальних процесів, що виникають в динамічних системах, широко застосовується операційне числення, основою якого є перетворення Лапласа.

Для опису випадкових чисел зазвичай використовується математичне сподівання \bar{x} і середньоквадратичне відхилення σ .

Метою статті є визначення шляхів забезпечення функціональної стабільності військової техніки Національної гвардії України з урахуванням особливих умов експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Для опису випадкових функцій наведених вище параметрів недостатньо, необхідно знати кореляційні функції $R(t)$ і енергетичні спектри $S(\nu)$. Тимчасова $R(t)$ і частотна $S(\nu)$ функції відображають основні статистичні властивості випадкових процесів.

Розглянемо механізм визначення впливу вібраційних навантажень на водія і пасажирів.

Кореляційна функція відображає імовірну залежність між значеннями випадкової функції і енергетичного спектра, пропорційними квадрату амплітуди:

$$R(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S(\nu) \cdot e^{i\nu t} d\nu. \quad (1)$$

При $t = 0$ кореляційна функція має найбільше значення, рівне дисперсії D випадкової функції:

$$D = \sigma^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} S(\nu) \cdot d\nu. \quad (2)$$

Кореляційна функція випадкового процесу є невід'язковою функцією, тому її можна апроксимувати функціональною залежністю, наприклад, поліномом

$$R(t) = D \left\{ \sum_{k=1}^n a_k \cdot e^{-\alpha_k t} \cdot \cos \beta_k \cdot t + \sum_{k=1}^m a_k e^{-\alpha_k t} \cdot \sin \beta_k \cdot t \right\}. \quad (3)$$

Для практичних розрахунків при апроксимуванні, наприклад, нерівностей доріг можна обмежитися першим членом суми і тоді формула (3) матиме такий вигляд:

$$R_q(t) = D_q \cdot e^{-\alpha_1 V_a t} \cdot \cos \beta_1 \cdot V_a \cdot t, \quad (4)$$

де α_1 і β_1 коефіцієнти кореляції при $V_a = 1$ м/с;

D_q – дисперсія висот нерівностей дороги, см².

Чисельні (наближені) значення α_1 і β_1 для першої групи умов експлуатації ВТ НГУ дорівнюють 0,22 м⁻¹ і 0,44 м⁻¹; для четвертої групи умов експлуатації ВТ НГУ – 0,32 м⁻¹ і 0,64 м⁻¹; для шостої групи умов експлуатації ВТ НГУ – 0,47 м⁻¹ і 0,94 м⁻¹ відповідно. Кореляційна функція є основною характеристикою мікропрофілю дороги і відображає характер нерівностей (їх висоту, форму, довжину) та швидкість руху автомобіля. На дорогах з дрібними і короткими нерівностями дисперсія

D_q і час кореляційного зв'язку t_0 матимуть малі значення, зі збільшенням висоти і довжини нерівностей – великі [4].

Час кореляційного зв'язку залежить від усередненої довжини нерівностей і швидкості руху автомобіля. Чим більше швидкість автомобіля, тим менше t_0 . При $t > t_0$ залежності між значеннями випадкової функції не існує.

Для зменшення вібраційного навантаження і поліпшення умов праці водіїв необхідно правильно вибирати параметри підвіски сидіння (опір амортизаторів, жорсткість пружин). Коливальну лінійну систему «водій–сидіння» можна розглядати як таку, що складається з маси тіла водія m_g , жорсткості тіла водія K_g , коефіцієнта опору тіла водія C_g , маси сидіння m_c , наведеної жорсткості підвіски k_c , наведеного коефіцієнта гідравлічного амортизатора (демпфера) C_c .

Парціальна частота коливань маси водія та підресореної маси на підвісці визначається за формулою

$$\omega_c = \sqrt{k_c / (m_b + m_c)}. \quad (5)$$

Парціальна частота коливань водія дорівнює $\omega_b = \sqrt{k_c / m_b}$. Коефіцієнт відносного загасання (демпфірування) в підвісці визначається за формулою $\psi = C_c / [2\omega_c (m_c + m_b)]$, а водія: $\psi_b = C_b / (2\omega_b \cdot m_b)$.

Коефіцієнти опору амортизаторів різних сидінь в середньому складають від 3 кН·с/м до 4 кН·с/м, жорсткість пружин – від 6 кН/м до 20 кН/м, подушки сидіння – від 30 кН/м до 130 кН/м. Параметри коливальної системи тіла водія можна вважати такими: k_b від 50 кН/м до 60 кН/м, C_b від 1 кН·с/м до 1,3 кН·с/м. Маса водіїв m_b може змінюватися в межах від 70 кг до 90 кг (маса, яка припадає на сидіння приблизно дорівнює 60 кг).

Частота коливань водія ω_b становить близько 5 Гц, а $\psi_b \approx 0,3$.

У ВТ коливання кузова (сидіння) відбувається із загасанням, коли ψ_c дорівнює від 0,15 до 0,50. Якщо $\psi_c = 1$, то має місце рух, за якого коливання відсутні. Це відповідає першій групі умов експлуатації ВТ НГУ (див. табл. 1).

Розрахунки свідчать про те, що середньоквадратичні вертикальні переміщення сидінь $\left(\sigma_{\ddot{z}_c}, \text{ м/с}^2 \right)$

досягають максимальних значень (від 0,8 м/с² до 1,2 м/с²) при малих коефіцієнтах демпфірування (від 0 до 0,1) і зменшуються зі збільшенням коефіцієнтів демпфірування від 0,6 до 0,7.

Якщо знати передавальні функції і енергетичні спектри, можна визначити дисперсії відносних переміщень і нерівностей доріг.

Квадрат передавальної функції дорівнює відношенню енергетичних спектрів відносних переміщень кузова і коліс $S(v)_s$ та енергетичного спектра нерівностей дороги $S(v)_q$: $|\Phi(iv)|_s^2 = \frac{S(v)_s}{S(v)_q}$

або $S(v)_s = |\Phi(iv)|_s^2 \cdot S(v)_q$.

Дисперсію відносних переміщень можна визначити за формулою

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^\infty S(v)_s \cdot dv = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^\infty |\Phi(iv)|_s^2 \cdot S(v)_q \cdot dv. \quad (6)$$

Дисперсію нерівностей дороги визначаємо за формулою

$$\sigma_q^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^\infty S(v)_s / |\Phi(iv)|_s^2 \cdot dv. \quad (7)$$

Допустима швидкість руху залежить від ступеня рівності дорожнього покриття і визначається головним чином величиною вертикальних прискорень кузова.

Визначаючи допустиму швидкість, необхідно забезпечувати зручність водія і пасажирів з метою зменшення їх стомлюваності у процесі інтенсивних коливань автомобіля; забезпечувати стійкість вантажу в кузові; попереджати можливі поломки окремих деталей ходової частини, розриви шин у разі ударів об нерівності дороги і зміну стійкості у русі.

На дорозі з довільним розташуванням нерівностей відношення середньоквадратичних значень відносних переміщень кузова і коліс σ_s і вертикальних прискорень кузова σ_z визначається за допомогою формули

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_z} = \frac{1}{\sqrt{h_0^2 V^2 + \omega_0^2}}, \quad (8)$$

де $\omega_0^2 = k/M$; $h_0^2 = c/M$; V – частота дестабілізуючих факторів, що впливає на функціональну стабільність ВТ, c^{-1} .

Найбільша допустима швидкість руху з урахуванням вертикальних прискорень кузова може бути визначена з формули

$$V_{\text{доп}} = \frac{1}{1,74 \cdot h_0 \sigma_s} \sqrt{\sigma_z^2 - \omega_0^4 \cdot \sigma_s^2}. \quad (9)$$

Середньоквадратичні відхилення відносних коливань кузова і коліс можна визначити, знаючи сумарний прогин ресор S і середню довжину нерівностей.

Для експлуатаційних розрахунків середньої допустимої швидкості руху ВТ залежно від ступеня рівності дорожніх покриттів від 0 см/км до 800 см/км пропонуємо спрощений вираз:

$$V_{\text{доп}} (\lambda_1 - \lambda_2 \cdot S), \quad (10)$$

де λ_1 і λ_2 – постійні для даного автомобіля коефіцієнти.

Для ВТ другої та третьої категорій при $S \leq 800$ см/км можна вважати $\lambda_1 = 60$ км/год, а при $S > 800$ см/км – λ_2 від 20 км/год до 25 км/год, що відповідає першій та шостій групам умов експлуатації ВТ НГУ (див. табл. 1).

Висновки

Плавність ходу транспортних засобів істотно впливає на результативність виконання СБЗ, зокрема на своєчасність доставки особового складу та необхідного вантажу, на умови праці водія, комфортність і безпеку пасажирів, збереження вантажів, що перевозять. Напрямок подальших досліджень полягає у розробленні заходів поліпшення основних експлуатаційних характеристик ВТ з урахуванням особливих умов експлуатації, що дозволить також підвищити рівень безпеки дорожнього руху і знизити травматизм у країні.

Перелік джерел посилання

1. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехніка проектування транспортних машин : навч. посіб. 3-тє вид. Харків : ХНАДУ, 2004. 208 с.
2. Обґрунтування вимог до тактико-технічних та експлуатаційних характеристик автомобілів та бойових машин Національної гвардії України : монографія / за ред. М. А. Подригало, О. С. Полянського. Харків : НА НГУ, 2017. 348 с.
3. Інтелектуальні системи контролю технічного стану транспортних засобів : підручник / В. П. Волков та ін. Харків : ХНАДУ, 2019. 264 с.

4. Шаша І. К., Іванченко А. О., Темніков В. О., Цебрюк І. В. Удосконалення математичної моделі зміни технічного стану автобронетанкової техніки. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України* : наук.-техн. журн. 2015. Вип. 4 (21). С. 138–142.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2021 р.

УДК 656.13

І. К. Шаша, І. В. Цебрюк, В. Н. Мануйлов

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ УКРАИНЫ С УЧЕТОМ ОСОБЕННЫХ УСЛОВИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В статье проанализировано влияние вибрационных нагрузок на водителя и пассажиров. Колебательный процесс рассмотрен с учетом конкретных корреляционных функций и энергетических параметров.

К л ю ч е в ы е с л о в а: функциональная стабильность, условия эксплуатации, фактор, плавность хода, подвеска, колебания, надежность, скорость движения.

UDC 656.13

I. Shasha, I. Tsebriuk, V. Manuilov

**ENSURING THE FUNCTIONAL STABILITY OF MILITARY EQUIPMENT OF THE NATIONAL
GUARD OF UKRAINE WITH CONSIDERATION OF SPECIAL OPERATING CONDITIONS**

The functional stability of the equipment is to be understood as its ability to perform its prescribed functions under the influence of the destabilizing factors. The authors believe that such destabilizing factors are peculiar operating conditions which have a considerable influence on the smooth running.

Under the smoothness of movement of military equipment, determined by their suspension, understand the adaptation to the movement of roads with high speeds and with minimal fluctuations of cushioned and unsprung masses. Suspension affects the traction and speed qualities, the comfort and fatigue of the driver and passengers, the safety of transported goods. Suspension design determines the average speed of movement and, consequently, the effectiveness of performance of service and combat missions, in particular, the timeliness of delivery of personnel and the necessary cargo, productivity and cost of transportation, road safety and other indicators of the effectiveness of operation of vehicles.

The smooth running depends on the design of vehicles, the distribution of masses on the axes, the location of the centre of gravity, the stiffness of springs and shock absorbers, the ratio of the weight of cushioned and unsprung masses, the coefficient of mass distribution.

The authors have analyzed the influence of vibration loads on the driver and passengers. The vibration process is presented taking into account specific correlation functions and energy parameters.

К e y w o r d s: functional stability, operating conditions, factor, smooth running, suspension, oscillation, reliability, driving speed.

Шаша Ігор Костянтинович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-7549-3119>

Цебрюк Іван Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-4246-8854>

Мануйлов Володимир Миколайович – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-7306-9138>