

М.Б. Сокіл¹, Р.А. Нанівський², Н.М. Гузик², О.В. Ємельянов²¹ Національний Університет "Львівська політехніка", Львів² Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, Львів

ДИНАМІКА ПІДРЕСОРЕНОЇ ЧАСТИНИ КОЛІСНИХ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕДЕННЯ ВОГНЮ ІЗ ВСТАНОВЛЕНОЇ НА НЕЇ СТІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

У даній статті проведено дослідження впливу швидкості руху легкоброньованих машин та основних параметрів, які описують нелінійну силову характеристику їх системи підресорювання на вертикальні коливання підресореної частини, а також вплив коливань кузова на точність стрільби із встановленого на неї додаткового озброєння. Проведено аналіз підвіски колісних легкоброньованих машин, для покращення її силових характеристик, з метою підвищення стійкості її руху та зменшення негативного впливу коливань на ведення вогню з ходу та екіпаж машини. Показано властивості даної системи підресорювання на ведення стрільби, що зумовлені їх рухом по пересіченій місцевості.

Ключові слова: система підресорювання, коливання, амплітуда, дальність вистрілу.

Вступ

Постановка проблеми. В умовах сьогодення велика кількість миротворчих та інших військових операцій проводиться з використанням колісних легкоброньованих машин (ЛБМ). Це пов'язано з тим, що техніка зазначеного класу характеризується високим ступенем захисту особового складу від ураження, маневреністю, стійкістю, керованістю, високою ефективністю ведення вогню із встановленого на неї додаткового озброєння та ін.

Однак, наявна у них система підвіски (СП) не в повній мірі захищає особовий склад (екіпаж) від динамічних навантажень під час руху по пересіченій місцевості чи шляху із нерівностями. Це в першу чергу стосується ЛБМ, за базу для яких вибрано шасі серійного колісного транспортного засобу (КТЗ) і на яке встановлено броньований корпус та додаткове озброєння (крупнокаліберні кулемети). Броньований корпус спричиняє не тільки значне збільшення ваги підресореної частини (ПЧ), а також і статичної деформації пружних елементів СП, погіршує низку експлуатаційних характеристик, зокрема, плавність їхнього руху, знижує критичну швидкість їхньої стійкості по шляху із нерівностями та ін. Проте питання які пов'язані із дослідженням впливу нелінійної силової характеристики підвіски на ефективності використання встановленого на них стаціонарного озброєння не знайшли належного розвитку, точніше кажучи не розглядалися. Саме ці питання, за умови руху колісних ЛБМ вздовж шляху із поодинокими нерівностями є предметом розгляду даної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою часткового уникнення вказаних недоліків, у роботах [1–4] запропоновано у БКМ використовувати

СП із нелінійним законом зміни її відновлювальної сили. Така СП у випадку їхнього руху по шляху із нерівностями більшою мірою задовольняє ергономічним вимогам.

Так, як і в роботі [5] за фізичну модель ЛБМ прийнято систему двох тіл (підресорену та не підресорену частини), які взаємодіють між собою за допомогою СП – пружних елементів та демпферних пристроїв. Силові характеристики елементів підвіски описуються співвідношеннями: сили пружних елементів – $F_{\text{пр}} = c\Delta^{v+1}$ (c, v – сталі; Δ – деформація амортизатора); сила опору демпферних пристроїв – $R_{\text{оп}} = \alpha\dot{\Delta}^{2s+1}$ (α, s – сталі; $\dot{\Delta}$ – швидкість деформації демпферних пристроїв).

Вважаємо:

1. Правий та лівий борти ЛБМ наїжджають на поодинокі нерівності однакового профілю та одночасно, а у процесі руху автошини неперервно контактують із нерівностями шляху, а їх деформації є набагато меншими, ніж деформації пружних елементів, тому ними в математичній моделі будемо нехтувати.

2. Підресорена, як і не підресорена частини, є симетричними відносно вертикальної площини, яка проходить через центр ваги ПЧ.

3. ЛБМ рухається по шляху зі швидкістю сталою за величиною.

Зважаючи на це відносний рух ПЧ ЛБМ (відносно не підресореної частини) є поступальним, а, отже, відносно його положення у довільний момент часу однозначно визначається положенням центру його ваги – $Z(t)$. Вказане переміщення фіксується відносно положення статичної рівноваги ПЧ, причому вісь OZ напрямлена вертикально вниз. Із урахуванням наїзду коліс ЛБМ на нерівність, профіль

котрої описується залежністю, $h = f(\hat{x})$ деформацію амортизаторів в довільний момент часу можна представити у вигляді $\Delta = z(t) + \Delta_{st} + f(\hat{x})$ (Δ_{st} та $f(\hat{x})$ – відповідно статична деформація пружних амортизаторів та висота нерівності у точці її дотику до колеса, – абсциса \hat{x} вказаної точки. Наведене у сукупності дозволяє записати диференціальне рівняння вертикальних коливань ПЧ у вигляді:

$$\frac{P}{g} \ddot{z}(t) + 2c(z(t) + \Delta_{st} + f(\hat{x}))^{v+1} = -P - 2\alpha(\dot{\Delta}(t))^{2s+1}, \quad (1)$$

де P – вага ПЧ ЛБМ.

Як було наголошено вище, у роботі вважається що ЛБМ рухається вздовж шляху із поодинокими нерівностями зі швидкістю сталою за величиною. Тому, із урахуванням наведеного, вертикальне переміщення точки контакту колеса та нерівності шляху, як функції часу, будемо описувати залежністю:

$$f(\hat{x}(t)) = \begin{cases} h_j \sin^{2r} \frac{\pi V t}{d_j}, & \text{при } \hat{x}_j \leq \hat{x} \leq \hat{x}_j + d_j; \\ 0, & \text{при } \hat{x}_j + d_j \leq t \leq \hat{x}_{j+1}, \quad j=1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (2)$$

в якій V – швидкість руху ЛБМ; h_j – висота, d_j – довжина j -ї нерівності, а r – параметр, який описує її форму; x_j та x_{j+1} відповідно абсциси її початку та кінця.

Примітка. Диференціальне рівняння (1) буде описувати коливальний процес ПЧ ЛБМ, якщо параметр v у ньому $v+1 = \frac{2m+1}{2n+1}$ приймає значення ($m, n=0, 1, 2, \dots$), а випадок $v=0$ відповідає лінійному закону зміни відновлювальної сили.

Таким чином, задача полягає у визначенні: амплітуди вертикальних коливань ПЧ ЛБМ, які зумовлені нерівностями шляху; впливу вказаних коливань на точність ведення вогню із встановленої на ПЧ стрілецької зброї.

Мета статті полягає у визначенні впливу швидкості руху та основних параметрів, які описують нелінійну силову характеристику системи підвіски колісних легкоброньованих машин, які рухаються шляхом із системою поодиноких нерівностей на вертикальні коливання підресореної частини, та їх вплив на точність стрільби із штатного озброєння.

Виклад основного матеріалу

Для розв'язання поставленої задачі перш за все необхідно побудувати аналітичний розв'язок рівняння (1), адже тільки на його базі можна визначити вплив всіх силових, кінематичних та геометричних параметрів на динаміку ПЧ, а, отже, і на точність ведення вогню. Отримати його для загального випадку не вдається. Це можна зробити лише за умови,

що максимальне значення відновлювальної сили пружних елементів є значно більшою величиною, ніж сили опору демпферних пристроїв, $\max(2c(z)^{v+1}) \gg \max(2\alpha(\dot{z})^{2s+1})$. Дійсно, у цьому випадку нелінійне рівняння (1) можна представити у вигляді:

$$\ddot{z}^*(t) + \frac{2cg}{P}(z^*(t))^{v+1} = g \left\{ 1 - \frac{2\alpha}{P}(\dot{\Delta}(t))^{2s+1} - \frac{2c(v+1)}{P}(z^*(t))^v f(x(t)) \right\}, \quad (3)$$

де $z^* = z + \Delta_{st}$, а максимальне значення правої його частини є малою величиною у порівнянні із максимальним значенням другого доданку лівої його частини.

Наведене дозволяє вже для побудови його розв'язку використати методи збурень [6]. Відповідно до основної ідеї цих методів, перш за все необхідно побудувати розв'язок незбуреного аналогу вказаного вище рівняння, тобто:

$$\ddot{z}^*(t) + \frac{2cg}{P}(z^*(t))^{v+1} = 0. \quad (4)$$

Лінійно незалежні розв'язки нелінійного диференціального рівняння (4) виражаються через спеціальні періодичні Ateb- функції [6–7] у вигляді:

$$z^*(t) = \begin{cases} aca(v+1, 1, \psi); \\ asa(1, v+1, \psi), \end{cases} \quad (5)$$

де $\psi = \omega(a)t + \psi_0$, a, ψ_0 – сталі (амплітуда та початкова фаза коливань). Невідому ж функцію $\omega(a)$ (частоту власних коливань ПЧ) слід визначити так, щоб перше чи друге із співвідношень (5) задовольняло рівняння (4). Таким чином отримуємо

$$\omega(a) = \sqrt{\frac{2g(v+2)}{\Delta_{st}^{v+1}}} a^{\frac{v}{2}}. \quad (6)$$

Дана аналітична залежність для частоти власних нелінійних коливань ПЧ ЛБМ дуже зручна для практичного використання, адже вона вимагає для кількісної її оцінки лише інформації щодо статичної деформації ПЧ та величини параметру v (характеризує відхилення пружних властивостей підвіски від лінійного закону). Приймаючи до уваги, що період за ψ використаних у розв'язку (5) Ateb-функцій рівний:

$$2\pi = 2 \left(\sqrt{\pi} \Gamma \left(\frac{1}{v+2} \right) \right) / \Gamma \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{v+2} \right),$$

отримуємо значення періоду T_z власних коливань ПЧ як функції амплітуди та параметрів, які характеризують підвіску, у вигляді (7):

$$T_z = 2\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{1}{\nu+2}\right)\left[\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\nu+2}\right)\sqrt{\frac{g(\nu+2)}{\Delta_{st}^{\nu+1}}a^{\frac{\nu}{2}}}\right]^{-1}. \quad (7)$$

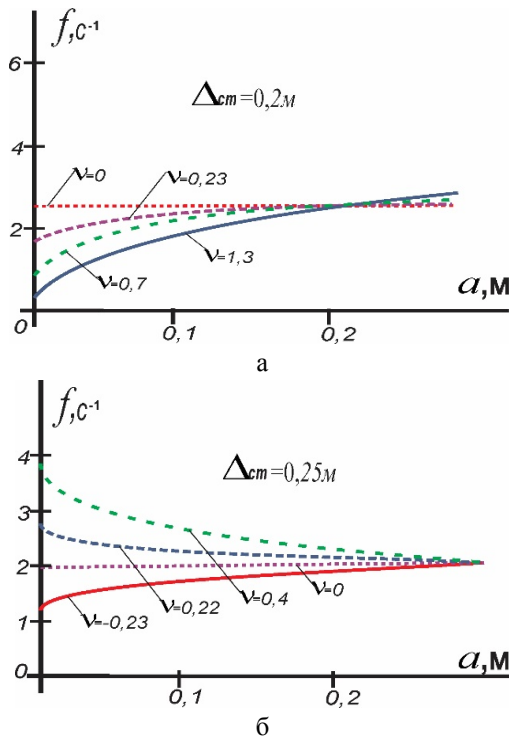


Рис. 1. (а, б) Залежності частоти (f, у Герцах) власних коливань підресореної частини від амплітуди для прогресивної ($\nu > 0$) та регресивної ($\nu < 0$) силових характеристик підвіски

Отримані результати показують, що: для підвіски із регресивним законом зміни відновлювальної сили частота власних коливань для більших значень амплітуди є меншою; при наближенні параметру нелінійності ν до нуля коливальний процес у системі стає близьким до ізохронного; для систем із прогресивним законом зміни відновлювальної сили для більших значень параметру нелінійності ν частота власних коливань є меншою (за однакових значень амплітуди); за однакових значень параметрів c та P період коливань сильно нелінійної системи є більшим за період коливань лінійного аналогу системи при $-1 < \nu < 0$ та меншим при $\nu > 0$ (за умови рівності всіх інших параметрів).

Наголошуємо, що амплітуда власних (незатухаючих коливань) визначається початковими умовами та силовими характеристиками амортизаторів. В той же час для збуреного руху – крім вказаних вище параметрів ще й силами опору амортизаторів, швидкістю руху

ЛБМ та профілем нерівностей шляху. Для встановлення впливу вказаних чинників на коливання ПЧ ЛБМ у роботі розвивається основна ідея методу Ван-дер-Поля [6], яка адаптована для розглядуваного типу диференціальних рівнянь. Вона дозволяє представити розв’язок збуреного рівняння (3) у вигляді:

$$z^*(t) = a(t)ca(\nu+1, 1, \omega(a(t))t + \theta(t)), \quad (8)$$

де $a(t)$ та $\theta(t)$ – невідомі функції.

Шляхом диференціювання залежності (8) за часом, із урахуванням того, що для незбуреного випадку:

$$\frac{dz^*}{dt} = -\frac{2}{\nu+2}\omega(a)sa(1, \nu+1, \omega t + \theta)$$

отримуємо:

$$\frac{da}{dt}ca(\nu+1, 1, \omega t + \theta) - \frac{2}{\nu+2}\frac{d\phi}{dt} \times \omega(a)sa(1, \nu+1, \omega t + \theta) = 0. \quad (9)$$

Підставляючи у вихідне рівняння (3) на місце функції $z^*(t)$ та її похідних вказані вище залежності через нові змінні $a(t)$ та $\theta(t)$, знаходимо базові диференціальні рівняння, які описують основні параметри збуреного руху

$$\frac{da}{dt} = -\frac{\alpha}{\omega(a)}sa(1, \nu+1, \bar{\theta})\bar{f}\left(a, \bar{\theta}, \frac{\pi V t}{d_j}\right); \quad (10)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{\alpha(\nu+2)g}{2Pa\omega(a)}ca(\nu+1, 1, \bar{\theta})\bar{f}\left(a, \bar{\theta}, \frac{\pi V t}{d_j}\right).$$

Нижче розглянемо систему диференціальних рівнянь (10) для випадку руху ЛБМ вздовж шляху лише із однією нерівністю ($j=1$) за умови, що її довжина є незначною. Тоді час руху машини вздовж нерівності $\tau = \frac{d_1}{V}$ є значно меншим за період власних коливань ПЧ. Це дозволяє стверджувати, що точність розв’язку системи рівнянь (10) не зміниться значною мірою, якщо для інтервалу руху ЛБМ вздовж нерівності значення періодичних Атеб-функцій замінити їх максимальними значеннями. В той же час, після подолання нерівності (при $t \geq \tau$) для правих частин рівнянь (10) можна використати процедуру усереднення [8] за фазою коливань. У сукупності наведеного, визначальні параметри коливань ПЧ ЛБМ описуються системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\frac{da}{dt} = \frac{2g}{P\omega(a)} \times \begin{cases} \left[c(\nu+1)a^\nu \left(h_1 \sin^{2s} \frac{\pi V}{d} t + \Delta_{ct} \right) - \alpha \left(\frac{2}{\nu+2} a\omega(a) + h_1 2s \frac{\pi V}{d} \cos \frac{\pi V}{d} t \sin^{2s-1} \frac{\pi V}{d} t \right)^{r+1} \right], \text{ при } 0 \leq t \leq \frac{d_1}{V}; \\ -\frac{\alpha g}{2\Gamma P} \left(\frac{2a\omega(a)}{(\nu+2)} \right)^{r+1} \Gamma\left(\frac{1}{\nu+2}\right) \Gamma\left(\frac{r+2}{2}\right) \Gamma^{-1}\left(\frac{1}{\nu+2} + \frac{r+2}{2}\right), \text{ при } t \geq \frac{d_1}{V}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\frac{da}{dt} = \frac{2g}{P\omega(a)} \times \frac{d\theta}{dt} = \omega(a) + \frac{(v+2)g}{aP\omega(a)} \times$$

$$\times \begin{cases} c(v+1)a^v \left(h_1 \sin^{2s} \frac{\pi V}{d} t + \Delta_{st} \right) - \alpha \left(\frac{2}{v+2} a\omega(a) + h_1 2s \frac{\pi V}{d} \cos \frac{\pi V}{d} t \sin^{2s-1} \frac{\pi V}{d} t \right)^{r+1}, & \text{при } 0 \leq t \leq \frac{d_1}{V}; \\ -\frac{\alpha g a}{PP} \left(\frac{2a\omega(a)}{(v+2)} \right)^{r+1} \Gamma \left(\frac{1}{v+2} \right) \Gamma \left(\frac{r+2}{2} \right) \Gamma^{-1} \left(\frac{1}{v+2} + \frac{r+2}{2} \right), & \text{при } t \geq \frac{d_1}{V}. \end{cases}$$

На базі отриманої вище системи диференціальних рівнянь (11) без особливих труднощів можна записати базові співвідношення для законів зміни амплітуди та частоти коливань ПЧ за умови руху ЛБМ вздовж шляху із впорядкованою чи неупорядкованою системою нерівностей. У табл. 1 за різних значень швидкості руху, силових параметрів СП та параметрів, які описують нерівності шляху, представлено амплітуди коливань ПЧ в момент подолання ЛБМ одинокої нерівності.

Таблиця 1

Значення амплітуди вертикальних коливань підресореної частини легкоброньованої машини в момент виходу із одинокої нерівності за різних значень швидкості руху та параметрів силової характеристики амортизаторів

Значення № з/П	d_1 , м	Δ_{st} , м	v	V , м/с	h , м	τ , с	a , м
1.	0,4	0,15	0	10	0,2	0,04	0,1381
2.	0,4	0,15	-2/5	10	0,2	0,04	0,1033
3.	0,4	0,15	-4/5	10	0,2	0,04	0,0820
4.	0,4	0,25	0	15	0,2	0,27	0,1191
5.	0,4	0,25	-2/5	15	0,2	0,27	0,0982
6.	0,4	0,25	-4/5	15	0,2	0,27	0,0761
7.	0,8	0,25	0	20	0,2	0,04	0,1351
8.	0,8	0,25	-2/5	20	0,2	0,04	0,1089
9.	0,8	0,25	-4/5	20	0,2	0,04	0,0878
10.	0,4	0,1	0	10	0,25	0,04	0,1456
11.	0,4	0,1	2/5	10	0,25	0,04	0,1475
12.	0,4	0,1	4/5	10	0,25	0,04	0,1655
13.	0,4	0,15	0	10	0,25	0,04	0,1458
14.	0,4	0,15	2/5	10	0,25	0,04	0,1467
15.	0,4	0,15	4/5	10	0,25	0,04	0,1654

Із співвідношень (11) та наведеної таблиці випливає, що під час руху ЛБМ вздовж шляху із нерівностями амплітуда вертикальних коливань ПЧ: для більших довжин нерівностей є більшою (за умови однакових швидкостей руху); за більших швидкостей руху є меншою (за однакових профілів нерів-

ностей) амплітуда коливань є меншою; для регресивної характеристики СП за малих довжин нерівностей є меншою ніж для лінійної; для СП із прогресивною характеристикою зміни пружної сили амортизаторів за більших значенням параметру v є меншою; у випадку невеликої віддалі між сусідніми нерівностями амплітуда виходу із наступної нерівності є більшою як із попередньої.

Одночасно представлені залежності служать базою для визначення впливу коливань ПЧ на точність ведення вогню із стаціонарно розміщеної на ЛБМ стрілецької зброї. Відомо [9], що закон розсіювання снарядів – нормальний закон. Стосовно до розсіювання снарядів він встановлює залежність між величиною відхилення снаряда від центра розсіювання та ймовірністю цього відхилення. Чисельно закон розсіювання снарядів за даним напрямком виражається шкалою розсіювання. Відповідно до цієї шкали [10] в інтервал $(-1 V_d, +1 V_d)$, центром якого є точка С (центр розсіювання снарядів, V_d – серединне відхилення за дальністю) влучить 50 % снарядів, в $(+1 V_d, +2 V_d)$ – 16 %, в $(+2 V_d, +3 V_d)$ – 7 % та в $(+3 V_d, +4 V_d)$ – 2 % снарядів.

Якщо X – випадкова величина, координата приземлення снаряда по абсцисі, то відповідно до нормального закону розподілу [9], ймовірність того, що абсолютна величина відхилення $|X - m|$ буде менша за додатне число k є

$$P(|X - m| < k) = 2\Phi\left(\frac{k}{\sigma}\right), \quad (12)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функція Лапласа;

$C(k,0)$ – центр розсіювання снарядів;

$\sigma = V_d$ – серединне відхилення за дальністю.

Якщо висота h зміниться на додатне число δ , то снаряд приземлиться у точці з координатами

$$A\left(\frac{v_0 \sin 2\alpha}{2g} + \frac{v_0 \cos \alpha}{g} \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2g(h + \delta)}, 0\right).$$

Нехай цей снаряд приземлилася в інтервалі $(-1 V_d, +1 V_d)$.

Тоді, використовуючи формулу (12) та значення функції Лапласа [9], число δ має належати проміжку

$$\Delta_1 \equiv \frac{1}{2g} \left(\frac{0,68\sigma g}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 - \frac{0,68\sigma g}{v_0 \cos \alpha} \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} < \delta \quad (13)$$

$$\left\langle \frac{1}{2g} \left(\frac{0,68\sigma g}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + \frac{0,68\sigma g}{v_0 \cos \alpha} \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} \right\rangle \equiv \Delta_2.$$

Аналогічно знаходимо значення δ , при яких точка А належатиме інтервалам (+1 Вд, +2 Вд), (+2 Вд, +3 Вд), (+3 Вд, +4 Вд).

Значення зміни числа δ при стрільбі з танкового кулемета подано у табл. 2. При цьому використовувались таблиці стрільби для 7,62 мм снарядів.

Таблиця 2

Значення відхилень δ від центру розсіяння снарядів за різних значень початкової швидкості, кута вильоту снаряда та серединного відхилення за дальністю

α	σ	H	V0	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5
8,5	40	2,8	855	-4,06497	4,071792	8,093622	12,3663	30,17647
9,6	40	2,8	855	-4,59935	4,606591	9,155416	13,98662	34,11027
12,5	40	2,8	855	-6,02642	6,034734	11,9909	18,31368	44,61607
30	40	2,8	855	-15,6917	15,70218	31,18637	47,609	115,766
6,5	35	2,8	855	-2,7144	2,718387	5,40432	8,258757	20,1678
10	35	2,8	855	-4,19577	4,201128	8,348133	12,75102	31,07352

Висновки

Встановлення на ЛБМ підвіски із прогресивною чи регресивною силовими характеристиками пружних елементів призводить до якісно нової характеристики коливань підресореної частини:

– період коливань, а, отже, частота власних коливань залежить від амплітуди, причому для більших значень амплітуди власна частота є більшою у випадку прогресивного закону зміни відновлювальної сили, і, навпаки, – меншою, для випадку регресивного закону зміни відновлювальної сили амортизаторів;

– виходячи із ергономічних умов експлуатації, для колісних ЛБМ, які рухаються по пересіченій місцевості із нерівностями, а значить ПЧ здійснює значні вертикальні коливання, найбільш сприятливою є СП із регресивним законом зміни відновлювальної сили та значних величин статичної деформації пружних елементів і навпаки, за малих амплітуд коливань підресореної частини – підвіска із прогресивним законом зміни відновлювальної сили за відносно невеликої величини статичної деформації пружних елементів;

– під час руху БКМ вздовж шляху із нерівностями найбільш ефективно проводиться ведення вогню сходу із стаціонарно розміщеного додаткового озброєння за регресивної характеристики СП.

Список літератури

1. Hrubel M. Influence of characteristics of wheeled vehicle suspensions of its road-holding along curved stretches of track / M. Hrubel, R. Nanivskyi, M. Sokil // Science & military. Liptovscy Mikulas, Slovak Republska. – 2014. – Vol. 9, № 1. – pp. 15-19.
2. Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system / O. Lyashuk, M. Sokil, T. Pyndus, O. Marunych // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. – 2016. – № 2(83). – pp. 82-89.
3. Дущенко В.В. Проблемы выбора параметров систем поддресоривания транспортных средств и пути их решения / В.В. Дущенко, С.М. Воронцов // Системотехника на автомобильном транспорте: мат-лы Республ. научн.-пр. конф. – Х: ХАДУ, 1998. – С. 56-60.
4. Сокіл Б.І. Вплив характеристики підвіски на вертикальні та поздовжньо-кутові коливання корпусу армійських автомобілів багатопільного призначення / Б.І. Сокіл, Р.А. Нанівський, М.Г. Грубель // Проблемні питання розвитку озброєння і військової техніки: тези доповідей 4-ї НТК. – К.: ЦНДІ. – 2013. – С. 205-206.
5. Сокіл Б.І. Власні вертикальні коливання корпусу автомобіля з урахуванням нелінійних характеристик пружної підвіски / Б.І. Сокіл, Р.А. Нанівський, М.Г. Грубель // Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – 2013. – № 5 (235). – С. 15-18.
6. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики: учеб. пособ. для ун-тов / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 400 с.
7. Сенік П.М. Асимптотический метод и периодические Ateb-функци в теории существенно нелинейных колебаний / П.М. Сенік, И.П. Смерека, Б.И. Сокил // В сб. Асимптотические и качественные методы в теории дифференц. уравнений. – К.: Изд-во Ин-та математики, 1977. – С. 143-156.
8. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
9. Тичинська Л.М. Теорія ймовірностей. Ч. 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості / Л.М. Тичинська, А.А. Черепашук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 112 с.
10. Стрільба артилерії / В.М. Петренко, В.С. Житник, В.І. Макеєв, Ю.С. Репіло, О.П. Мешков. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – 757 с.
11. Вахнін О.В. Скорочені таблиці стрільби для 152-ММ самохідної гаубиці 2С3 / О.В. Вахнін, О.В. Подлесний. – Львів: Національна академія сухопутних військ, 2016. – 115 с.

References

1. Hrubel, M.H., Nanivskyi, R.A. and Sokil, M.B. (2014), Influence of characteristics of wheeled vehicle suspensions along curved stretches of a track, *Science & military*, Vol. 9, pp. 15-19.

2. Lyashuk, O. (2016), Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system, *Scientific Journal of the Ternopil National Technical Universit*, No. 2(83), p. 82-89.
3. Dushchenko, V.V. (1998), "Problemy vybora parametrov sistem podressorivaniya transportnyh sredstv i puti ih resheniya" [The problems of choosing the parameters of the vehicle suspension systems and their solutions], *Sistemotekhnika na avtomobil'nom transporte*, HADU, Kharkiv, p. 56-60.
4. Sokil, B.I. (2013), "Vplyv harakteristiki pidviski na vertikal'ni ta pozdovzhn'o-kutovi kolivannja korpusu armijs'kih avtomobiliv bagatocil'ovogo pryznachennja" [Influence of suspension characteristics on vertical and longitudinal angular oscillations of the army multifunctional vehicles], *Problemy pitannya rozvitku ozbroennja i vijs'kovoї tehniki: tezi dopovidej 4-i NTK*, CNDI, Kyiv, p. 205-206.
5. Sokil, B.I. (2013), "Vlasni vertikal'ni kolivannja korpusu avtomobilja z urahuvannjam nelinejnih harakteristik pruzhnoi pidviski" [Vertical vibrations of the vehicle's body, taking into account nonlinear characteristics of the elastic suspension], *Avtoshljahovik Ukraїni: naukovovo-virobnichij zhurnal*, No. 5(235), p. 15-18.
6. Moiseyev, N.N. (1981), "Asimptoticheskie metody nelinejnoj mehaniki" [Asymptotic methods of nonlinear mechanics], Nauka, Moscow, 400 p.
7. Senik, P.M., Smereka, I.P. and Sokil, B.I. (1977), "Asimptoticheskij metod i periodicheskie Ateb-funkci v teorii sushhestvenno nelinejnyh kolebanij" [The Asymptotic Method and Periodic Ateb Functions in the Theory of Essentially Nonlinear Oscillations], *Asimptoticheskie i kachestvennye metody v teorii differenc. uravnenij*, Izd-vo In-ta matematiki, Kyiv, p. 143-156.
8. Bogolyubov, N.N. (1974), "Asimptoticheskie metody v teorii nelinejnyh kolebanij" [Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations], Nauka, Moscow, 504 p.
9. Tychynska, L.M. and Cherepashchuk, A.A. (2010), "Teorija jmovirnostej. Ch.1. Istorichni ekskursi ta osnovni teoretični vidomosti" [Theory of Probability. Part 1. Historical excursions and basic theoretical information], VNTU, Vinnicja, 112 p.
10. Petrenko, V.M., Zhutnik, V.E., Makeev, V.I., Repilo, Yu.E. and Meschkov, O.P. (2012), "Stril'ba artilerii" [Artillery Firing], Sums'kij derzhavnij universitet, Sumi, 757 p.
11. Vakhnin, O.V. and Podlesnij, O.V. (2016), "Skorochni tablici stril'bi dlja 152-MM samohidnoi gaubici 2S3" [Shortened firing charts for the 152-mm self-propelled howitzers 2C3], Nacional'na akademija suhoputnih vijs'k, L'viv, 115 p.

Надійшла до редколегії 4.09.2018

Схвалена до друку 20.11.2018

Відомості про авторів:**Сокіл Марія Богданівна**

кандидат технічних наук доцент
доцент Національного університету
"Львівська політехніка",
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3352-2131>

Нанівський Роман Антонович

кандидат технічних наук
старший викладач Національної академії
сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного,
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6504-1178>

Гузик Надія Миколаївна

кандидат фізико-математичних наук доцент
доцент Національної академії сухопутних військ
ім. гетьмана П. Сагайдачного,
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5609-4830>

Ємельянов Олександр В'ячеславович

ад'юнкт
Національної академії сухопутних військ
ім. гетьмана П. Сагайдачного,
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7174-104X>

Information about the authors:**Mariia Sokil**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of National University
"Lviv Polytechnics",
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3352-2131>

Roman Nanivskiy

Candidate of Technical Sciences
Senior Instructor of National Army Academy
named after Hetman Petro Sahaidachnyi,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6504-1178>

Nadiia Huzyk

PhD Associate Professor
Senior Lecturer of National Army Academy
named after Hetman Petro Sahaidachnyi,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5609-4830>

Alexandr Yemelianov

Doctoral Student
of National Army Academy
named after Hetman Petro Sahaidachnyi,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7174-104X>

ДИНАМИКА ПОДРЕССОРНОЙ ЧАСТИ КОЛЕСНЫХ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕДЕНИЯ ОГНЯ С УСТАНОВЛЕННОГО НА НЕЁ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

М.Б. Сокол, Р.А. Нанивский, Н.М. Гузык, А.В. Емельянов

В данной статье проведено исследование влияния скорости движения колесных легкобронированных машин и основных параметров, которые описывают нелинейную силовую характеристику их системы поддресоривания на вертикальные колебания поддресоренной части, а следовательно и влияние колебаний кузова на точность стрельбы из установленного на нее вооружения. Проведя анализ системы поддресоривания колесных легкобронированных машин, можно отметить, что улучшение силовых характеристик системы поддресоривания, повышение устойчивости ее движения и уменьшение негативного влияния колебаний на экипаж машины и ведение огня с ходу является актуальной задачей. Именно свойства подвески колесных легкобронированных машин влияют на ведение стрельбы, защиту экипажа и оборудования от чрезмерных перегрузок, обусловленных их движением по пересеченной местности или неровностям пути. Ее параметры выбирают по допустимому характеру колебаний поддресоренной части и колес, которые возникают во время его движения по неровностям пересеченной местности. Для систем поддресоривания с линейным или близким к нему законом изменения восстановительной силы, характеристика подвески не дает надлежащей защиты от значительных динамических перегрузок и приводит к значительной усталости экипажа во время длительных переездов в условиях их движения по пересеченной местности. Как показывают экспериментальные и теоретические исследования, установка на колесные легкобронированные машины системы поддресоривания с прогрессивной или регрессивной силовыми характеристиками упругих элементов приводит к качественно новой характеристике колебаний поддресоренной части. В статье показано, что период колебаний, а следовательно и частота собственных колебаний, зависит от амплитуды, причем для больших значений амплитуды собственная частота является большей в случае прогрессивного закона изменения восстановительной силы, и, наоборот, – меньше, для случая регрессивного закона изменения восстановительной силы амортизаторов. Так, наиболее благоприятной является система подвески с регрессивным законом изменения восстановительной силы и значительных величин статической деформации упругих элементов, и, наоборот, при малых амплитудах колебаний поддресоренной части – подвеска с прогрессивным законом изменения восстановительной силы за относительно небольшой величины статической деформации упругих элементов. Что касается ведения огня с ходу легкобронированной машиной с штатного вооружения, то ее эффективность лучше при использовании системы поддресоривания с регрессивными силовыми характеристиками.

Ключевые слова: система поддресоривания, колесная легкобронированная машина, амплитуда, частота колебаний.

DYNAMICS OF SPRUNG OF WHEELED LIGHTLY ARMORED MACHINES AND FIRING EFFECTIVENESS OF MOUNTED SMALL ARMS

M. Sokil, R. Nanivskiy, N. Huzyk, O. Yemelyanov

The paper contains study related to effect of the velocity of light-armored vehicles and the main parameters describing the nonlinear power characteristic of their sprung system on the vertical vibrations of the sprung, and hence the effect of carrosserie's oscillations on the accuracy of firing from the mounted armament. Having analyzed the sprung system of the wheeled armored vehicles, it can be noted that improving the power characteristics of the sprung system, increasing the stability of its movement and reducing the negative impact of vibrations on the vehicle's crew as well as firing on move are urgent tasks to explore. Suspension properties of the wheeled, light-armored vehicles influence the firing accuracy, crew protection and equipment in case of excessive overload while crossing rough terrain or road inequalities. Its parameters are chosen according to permissible oscillation mode of the sprung and the wheels that emerges while moving across the rough terrain. For sprung systems with linear or related to it changes in the regeneration power, the characteristics of the suspension do not provide adequate protection against significant dynamic overloads, but also leads to a significant fatigue of the crew during long journeys in conditions of the movement across rough terrain. As the experimental and theoretical studies of the installation of wheeled light-armored machines of sprung systems with progressive or regressive power characteristics of the elastic elements show a qualitatively new characteristics of the sprung vibrations. In the paper it is shown that the period of oscillations, therefore, the frequency of the proper oscillations depends on the amplitude. The higher amplitude, the higher eigenfrequency is in the case of a progressive law of change in the regenerative force, however, conversely, – less, for the case of a regressive law of change in the regeneration of shock absorbers. Thus, the most favorable is the suspension system with a regressive law of the change in the regenerative force and the significant values of the static deformation of the elastic elements, and vice versa, at small amplitudes of the sprung vibrations- a suspension with a progressive law of the change in the regeneration force for a relatively small amount of static deformation of the elastic elements. Regarding the firing from lightly armored vehicle with additional weapons in the east, its efficiency is better while employing the system of sprung with regressive strength characteristics.

Keywords: sprung system, wheeled lightly armored vehicle, amplitude, frequency of oscillation.