

Грабовський А.В., канд. техн. наук; Ткачук М.А., д-р. техн. наук; Мерецька К.О.; Ткачук М.М., канд. техн. наук; Васильєв А.Ю., канд. техн. наук; Бондаренко М.О.; Скрипченко Н.Б., канд. техн. наук

ВПЛИВ ВАРІЙОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН

Вступ. Для бронетанкобудування України значну актуальність набули проблеми обґрунтування проектно-технологічних рішень, які забезпечують міцність, жорсткість, довговічність, захищеність, точність здійснення пострілів із бойових модулів та рухливість. Це пов'язане із тим, що на сьогодні, як показує практика бойових дій, у т. ч. – у східних областях України, легкоброньовані машини (ЛБМ) виконують широкий спектр бойових задач. На елементи цих машин діють інтенсивні чинники ураження. Серед зовнішніх чинників можна виділити кінетичні, кумулятивні та фугасні боєприпаси, міни тощо. Серед внутрішніх – реактивні зусилля віддачі при здійсненні пострілів із малокаліберних автоматичних гармат (МАГ), якими оснащені сучасні бойові модулі легкоброньованих машин, а також динамічні зусилля від підвіски у процесі руху на місцевості. Отже, розглядаючи легкоброньовану машину як цілісну систему «бойовий модуль – бронекорпус із системами та агрегатами – підвіска», отримуємо задачу визначення її реакції на дію динамічних зусиль різного спектру частот і амплітуд. На етапі проектних розробок необхідно визначити вплив варійованих параметрів на досліджувану динамічну систему. Зазначені задачі аналізу та синтезу на сьогоднішній день не отримали завершеного розв'язання як для систем загального вигляду, так і для бронекорпусів легкоброньованих машин. Це створює протиріччя між потребами промисловості, у т. ч. – бронетанкобудування, що виростили, та існуючими можливостями теоретичних розробок та програмних засобів моделювання. Відповідно, сформується комплекс задач досліджень, які відображені у цій роботі.

Аналіз стану методів досліджень та проектно-технологічних рішень щодо елементів легкоброньованих машин. У сучасних умовах розробкою та виготовленням легкоброньованих машин займаються різні країни та фірми [1]. Останні десятиліття призвели до появи цілих сімейств бронемашин [2-4], на єдиному шасі можуть монтуватися різні типи бойових машин: лінійна, розвідувальна, командна, ремонтно-евакуаційна, медична тощо [5-6]. Таким чином, з одного боку, маємо множину об'єктів із певним «ядром» спільних технічних рішень. З іншого боку, – на цей об'єкт діє сукупність динамічних впливів із широким спектром амплітуд і частот. Відповідно, система реагує на усі компоненти зовнішнього впливу. Як прикладний результат – тактико-технічні характеристики, які проявляються у ході експлуатації та бойового застосування [7]. Разом із тим у теоретичному плані отримуємо задачу визначення реакції складної системи на дію множини чинників. У літературі [8, 9] описані дослідження впливу окремих чинників ураження на елементи досліджуваних легкоброньованих машин. Разом із тим сформована комплексна проблема вимагає такого ж комплексного підходу до її вирішення, який натепер повною мірою не сформований. Однією із найбільш актуальних є визначення реакції спектра власних частот коливань (ВЧК) та власних форм коливань (ВФК) на варіювання проектно-технологічних параметрів різних елементів ЛБМ. У цій роботі пропонуються нові підходи, моделі та методи розв'язання задач такого типу стосовно бронекорпусів ЛБМ.

© А.В. Грабовський, 2018

Мета роботи – обґрунтування та реалізація підходів дослідження впливу проектно-технологічних параметрів на динамічні характеристики бронекорпусів ЛБМ. Відповідно, виокремлюються окремі задачі досліджень:

- розробка загального підходу до розв’язання поставленої задачі;
- формування параметричної моделі для визначення власних частот коливань та власних форм коливань на прикладі бронекорпусів ЛБМ;
- розробка методів визначення впливу варіювання параметрів на характеристики досліджуваних об’єктів;
- розв’язання низки тестових прикладних задач.

Загальний підхід до вирішення проблеми. Як базовий обрано підхід, що запропонований у роботах [10, 11], та розвинений у подальших роботах [12, 13]. Він полягає у тому, що досліджуваний об’єкт ідентифікується множиною узагальнених параметрів, які об’єднують проектні, технологічні та виробничі чинники, а також режими бойового застосування та властивості засобів ураження. Таким чином, досліджуваний об’єкт може бути проварійованим як із точки зору зміни «внутрішніх» параметрів, так і – «зовнішніх» впливів. Тоді, якщо маємо деяку операторну модель:

$$\Phi(p, u, f, r, t) = 0, \quad (1)$$

де p – множина узагальнених параметрів, u – змінні, що описують досліджувані процеси або стани, f – множина зовнішніх впливів, r, t – просторові та часова координати,

то певні характеристики системи H можуть бути лінеаризовані у околі деякої номінальної точки узагальненого параметричного простору p_0 :

$$H(p_0 + \Delta p) \approx H(p_0) + \frac{\partial H}{\partial p} \cdot \Delta p, \quad (2)$$

де Δp – прирощення параметрів.

Тоді стає можливим, з одного боку, визначати вплив різного набору збурень Δp , спираючись на масив чутливостей $\partial H / \partial p$. З іншого боку, маючи у розпорядженні масив розв’язків (1) за різних наборів $(p_0 + \Delta p)$, із (2) можна обчислити компоненти чутливості. Зокрема, задаючи варіювання кожного із компонентів Δp окремо, визначаються т. з. «реперні» розв’язки [14 - 16], із яких напрями можливо (напрямую із (2)) обчислити компоненти чутливості. Цим самим створюється основа розв’язання задач аналізу і синтезу, зокрема, стосовно бронекорпусів легкоброньованих машин.

Визначення власних частот і власних форм коливань досліджуваних об’єктів. Спектри ВЧК і ВФК є достатньо інформативними характеристиками механічних систем різного типу. Якщо із застосуванням метода скінченних елементів (МСЕ) [17] досліджуваний об’єкт описується деяким скінченним набором вузлових змінних X , то необхідно оперувати із матричними співвідношеннями, наприклад, для визначення ВЧ ω і ВФ λ коливань:

$$(K - \omega^2 M) \lambda = 0, \quad (3)$$

де $X = \lambda \sin(\omega t)$ – деяке власне коливання системи, $K(p), M(p)$ – матриці жорсткостей та мас системи.

Розв’язки (3) мають залежність від p :

$$\lambda = \lambda(p), \omega^2 = \omega^2(p). \quad (4)$$

Цю залежність можна визначити на основі відомих підходів [18, 19].

Альтернативною моделлю може бути використаний підхід, що базується на застосуванні функції Релея [20]:

$$R(\lambda) = \frac{\Pi(\lambda)}{T^*(\lambda)}, \quad (5)$$

де $\Pi = \frac{1}{2}\lambda^T K \lambda$, $T^* = \frac{1}{2}\lambda^T T \lambda$ – квадратичні форми компонент λ .

На одиничній сфері $\lambda^2 = 1$ екстремуми $R(\lambda)$ визначають ВФК λ , а значення функції Релея у цих точках – квадрати власних частот ω .

У роботі пропонується на розвиток підходів, запропонованих у роботах [21], перейти від пошуку умовних екстремумів на сфері у просторі λ розмірністю N до пошуку безумовних екстремумів у просторі μ розмірністю $(N - 1)$:

$$\lambda = \lambda(\mu), \quad \lambda^2 = 1. \quad (6)$$

Залежність (6) може бути визначена із деякого способу параметризації точок на сфері. Тоді маємо із (5, 6):

$$R = R(p, \mu), \quad (7)$$

і умова

$$\partial R / \partial \mu = 0 \quad (8)$$

дає можливість обчислити розв'язки

$$\mu^*(p), \quad \omega^2(p) = R(p, \mu^*), \quad \omega^2(p) = \lambda(\mu^*(p)). \quad (9)$$

Пошук розв'язків (9) дає змогу напряму за співвідношеннями (2) визначати їх чутливість до варіювання динамічних властивостей системи або, навпаки, реакцію системи на довільну комбінацію збурень параметрів Δp .

Метод аналізу впливу варійованих параметрів на характеристики дослідження об'єктів. Для аналізу впливу варійованих параметрів на характеристики дослідження об'єктів пропонується визначити реакцію спектрів $\omega(p)$ та $\lambda(p)$ на зміну параметрів Δp . Для цього пропонується із співвідношень (8) при зміні окремих складових p визначити матриці чутливостей $\Omega = \partial(\omega^2(p))/\partial p$ та $\lambda = \partial\lambda/\partial p$.

Тоді:

$$\lambda(p_0 + \Delta p) \approx \lambda(p_0) + \lambda' \Delta p; \quad \omega^2(p_0 + \Delta p) \approx \omega^2(p_0) + \Omega' \Delta p. \quad (10)$$

Крім того, лінеаризації, подібній (10), можуть бути піддані також просторові розподіли, наприклад, прогинів та згинних напружень на резонансних частотах. Відповідно, можуть бути розв'язані задачі про просторове відлаштування вузлових ліній або пучностей прогинів чи напружень.

Таким чином, запропонований підхід, моделі та методи можуть бути застосовані не тільки до розв'язання задач аналізу, але й обґрунтування прогресивних технічних рішень, наприклад, при проектуванні чи модернізації бронекорпусів легкоброньованих машин.

Розв'язання тестових прикладних задач. Розробки, що були запропоновані, були реалізовані при розв'язанні низки тестових прикладних задач. На розвиток робіт [22 - 24] досліджені ВЧК та ВФК стержнів, смуг, пластин та просторових тонкостінних конструкцій – бронекорпусів ЛБМ.

Зокрема, на рис. 1 – 3 наведені приклади об'єктів досліджень із виділеними варійованими параметрами.

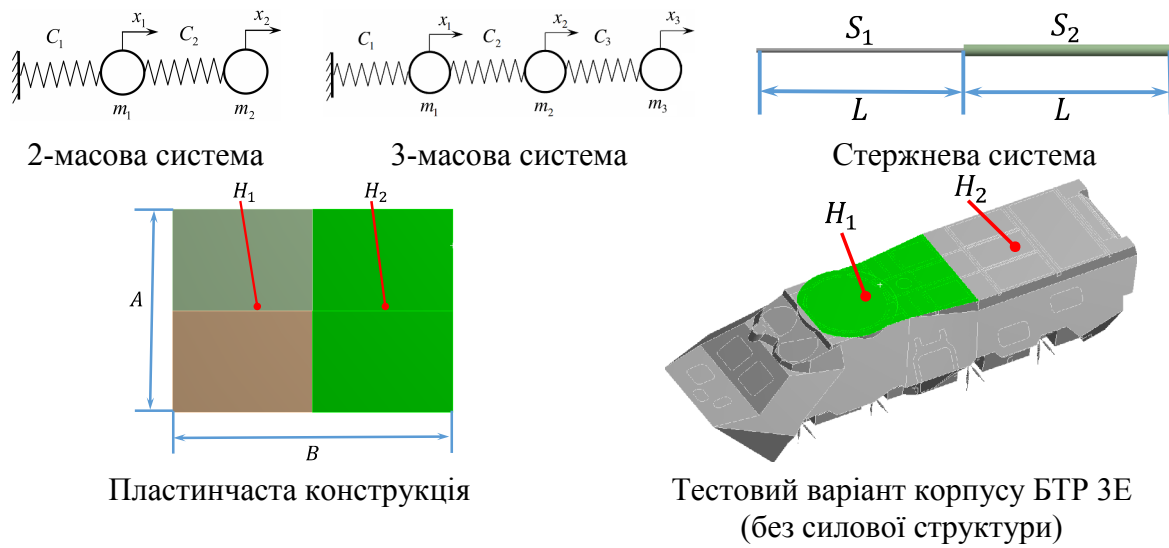


Рисунок 1 – Приклади об'єктів досліджень

На рис. 2 - 4 – ВФК і ВЧК та їхня чутливість до варіювання параметрів p .

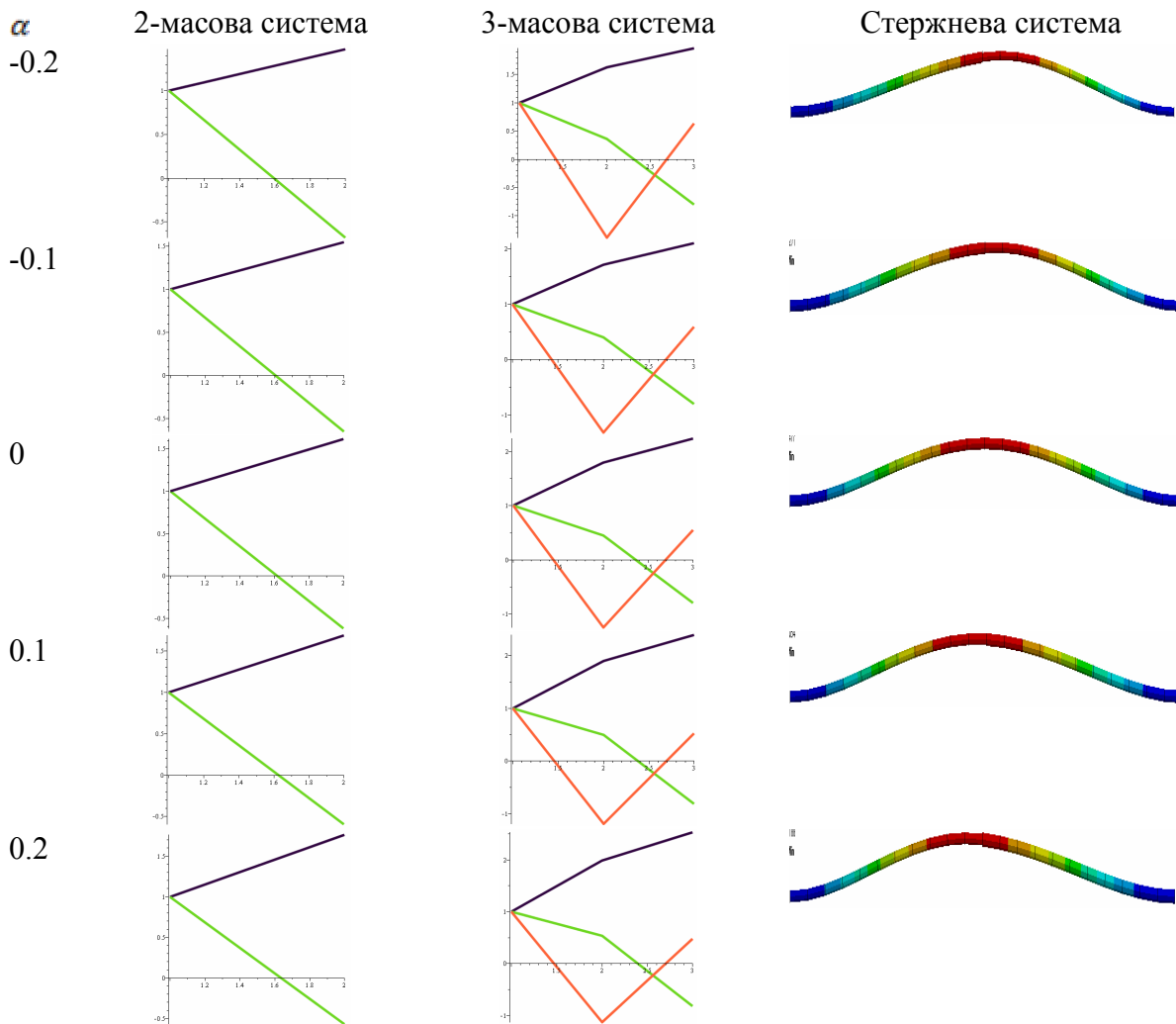


Рисунок 2 – ВФК досліджених об'єктів при варіюванні параметрів $p = p_0(1 + \alpha)$

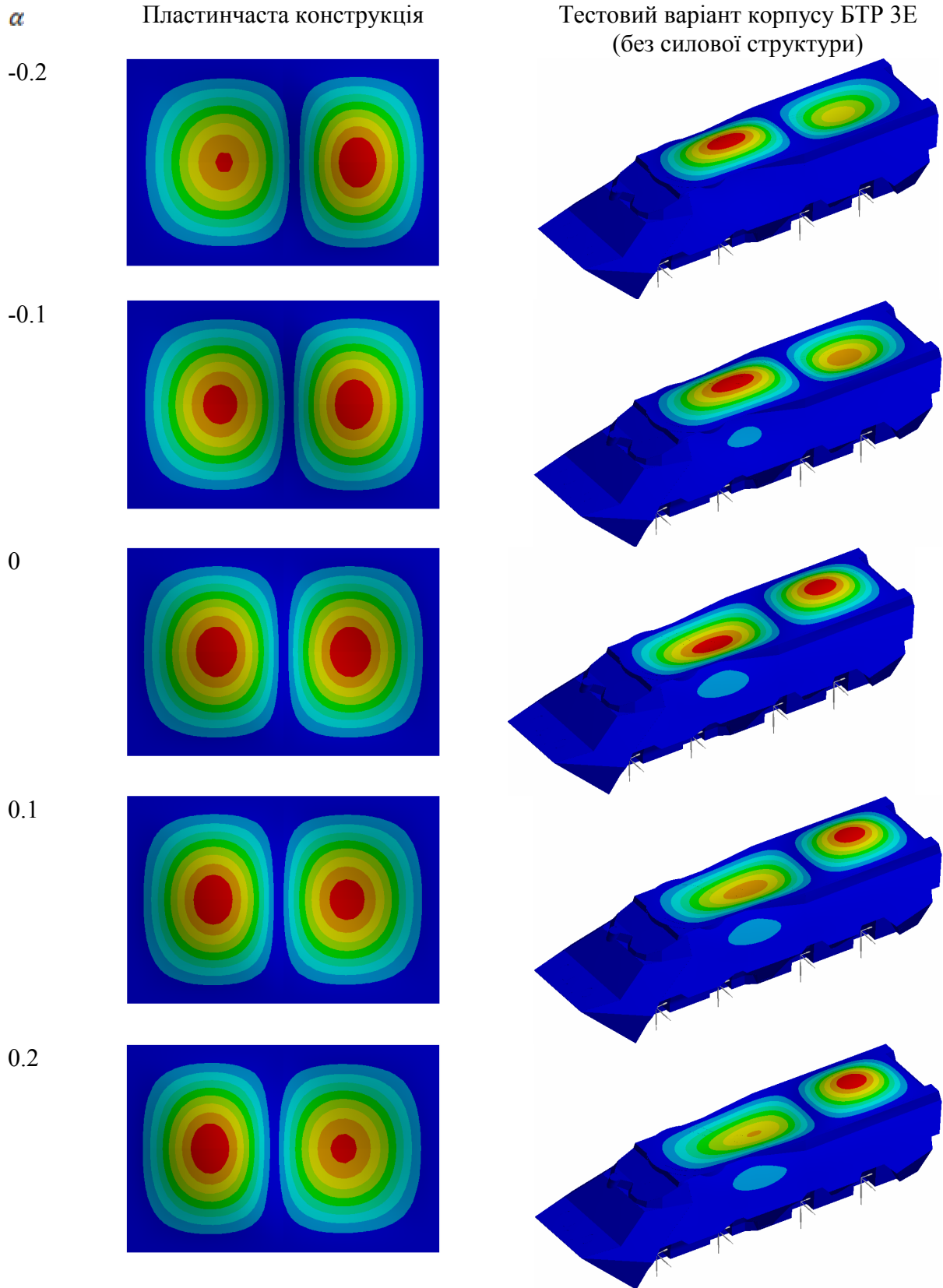


Рисунок 3 – ВФК досліджених об'єктів при варіюванні параметрів
 $p = p_0(1 + \alpha)$

Транспортне машинобудування

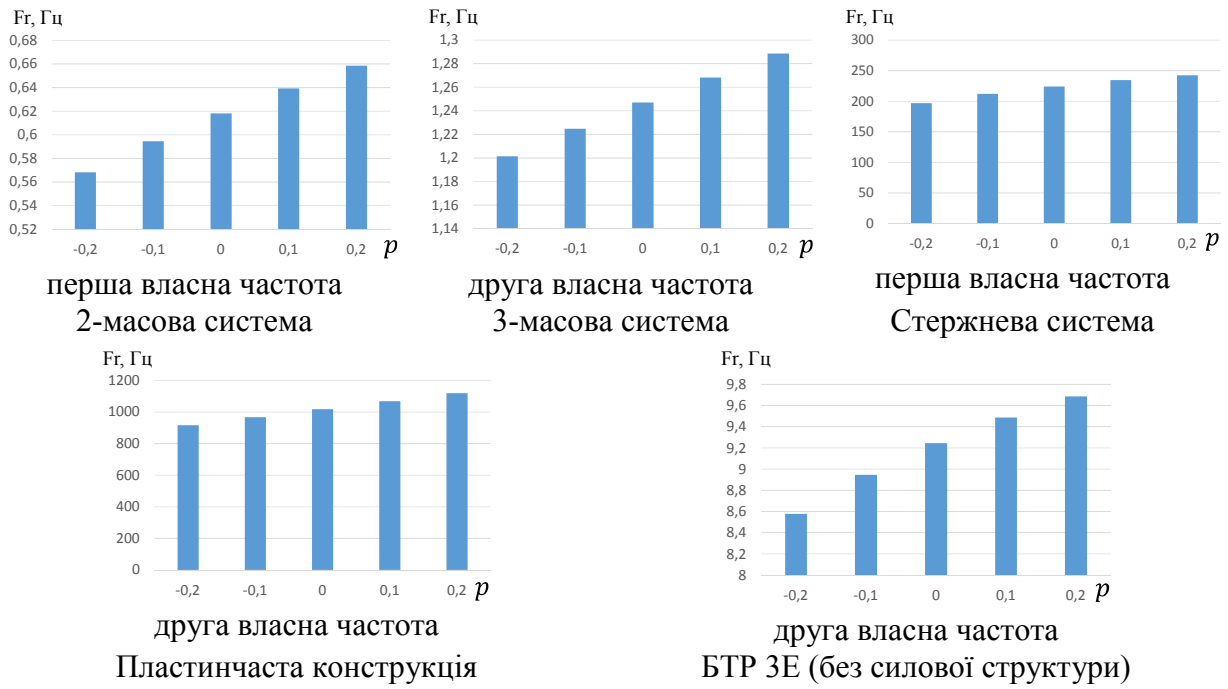


Рисунок 4 – Деякі ВЧК досліджених об’єктів при варіюванні параметрів $p = p_0(1 + \alpha)$

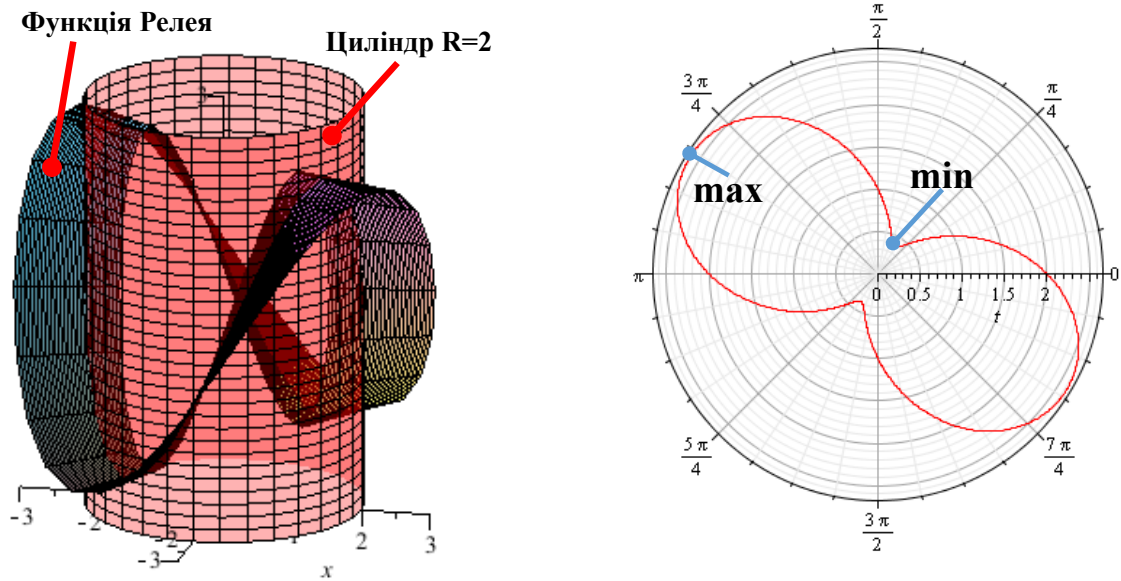


Рисунок 5 – Графічне зображення функції Релея для двомасової системи

У всіх варіантах безрозмірний параметр α набував значень $\{-0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2\}$.

Як ілюстрації на рис. 5, 6 наведені в циліндричній, полярній та сферичній системах координат функції Релея для дво- та тримасової систем.

Як видно із представлених результатів, підтверджуються прогнозовані тенденції зміни властивостей досліджених об’єктів при варіюванні їхніх параметрів. Зокрема, підтверджується лінійна тенденція зміни власних частот та просторових розміщень

вузлових ліній та зон максимумів переміщень. Це створює основи для обґрунтування технічних рішень, зокрема, бронекорпусів ЛБМ.

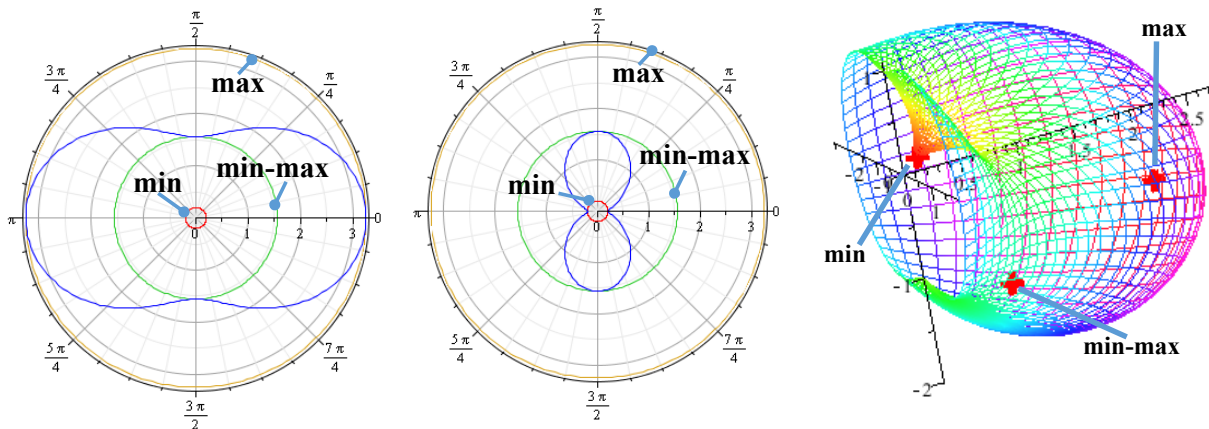


Рисунок 6 – Графічне зображення функції Релея для тримасової системи

Висновки. Отримані результати дають підстави для наступних висновків.

1. Запропонований підхід дає можливість визначати аналітично-чисельним методом реакцію складних систем на варіювання проектних параметрів.

2. Застосування функції Релея у модифікованому вигляді дає можливість шляхом визначення її безумовних екстремумів визначати ВЧК та ВФК об'єктів довільної природи та структури.

3. Для визначення реакції спектрів ВЧК та ВФК на варіювання проектних параметрів запропоновано метод «реперних» розв'язків, згідно якого чутливість визначається шляхом скінчено-різницевого диференціювання.

4. Розв'язання низки тестових прикладних задач дає підстави для констатації високої ефективності, точності та достовірності результатів досліджень. Це дало змогу обґрунтувати прогресивні технічні рішення, зокрема бронекорпусів легкоброньованих машин, які забезпечують підвищення тактико-технічних характеристик легкоброньованих машин.

У подальших дослідженнях планується розширити клас досліджуваних об'єктів.

Література: 1. Бойко Г. О. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин / Г. О. Бойко, С. П. Бісик // *Військово-технічна політика. озброєння та військова техніка*. – 2014. – №3. – С. 20-24. 2. Анипко О. Б. К вопросу о классификации лёгких колёсных и гусеничных боевых бронированных машин / О. Б. Анипко, О. Н. Рикунев, Е. П. Пономарёв, Г. Н. Маренко // *Интегрированные технологии промышленности*. – 2008. – №2. – С. 108-112. 3. МТ-ЛБ и его модификации <https://topwar.ru/9162-mt-lb-i-ego-modifikacii.html> 4. МТ-ЛБ <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%A2-%D0%9B%D0%91> 5. ХКБМ им. О. О. Морозова <http://morozov.com.ua/> 6. Васильев А. Ю. Обзор подходов дополнительного бронирования легкобронированных машин / А. Ю. Васильев, О. Е. Шаталов, Е. Е. Дудар // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2015. – № 31 (1140). – С. 38-45. 7. Чепков І. Б. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки / Чепков І. Б., Нор П. І. // *Озброєння та військова техніка*. – 2014. – № 1. – С. 4-13. 8. Чепков І. Б. Модель процесса проникания составного удлиненного поражающего элемента в экранированную преграду / И. Б. Чепков, С. А. Лавриков // *Проблемы прочности*. – 2003. – № 2. – С. 102-111. 9. Бісик С. П. Оцінка впливу способу кріплення протимінного екрана на протимінну стійкість бойових броньованих машин / С. П. Бісик, І. Б. Чепков, В. А. Голуб, В. Г. Корбач // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2013. – № 1(33). – С. 8-12. 10. Ткачук Н. А. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного

описания / Н. А. Ткачук, Г. Д. Гриценко, А. Д. Чепурной [и др.] // *Механіка та машинобудування*. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 1. – С. 57–79. **11.** Ткачук Н. А. Основы обобщенного параметрического описания сложных механических систем / Н. А. Ткачук, А. Д. Чепурной, Г. Д. Гриценко [и др.] // *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. – 2007. – №9(115), част. 1. – С. 196-205. **12.** Грабовський, А. В. Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / А. В. Грабовський, А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук [та інші.]. // *Вісник НТУ «ХПИ». Зб. наук. праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків. – 2016. – №18 (1190). – С. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04. **13.** Хлань, О. В. Теоретичні основи проектно-технологічно-виробничого забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин / О. В. Хлань, М. А. Ткачук, А. В. Грабовський // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 83-89. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12. **14.** Танченко А. Ю. Влияние толщины панелей на спектр собственных частот колебаний корпусов транспортных средств специального назначения / А. Ю. Танченко // *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Машинознавство та САПР*. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – №23 (996). – С. 138-145. **15.** Танченко А. Ю. Анализ чувствительности прочностных и динамических характеристик машиностроительных конструкций на основе прямого возмущения конечно-элементных моделей / Н. А. Ткачук, А. Ю. Танченко, А. Н. Ткачук, П. В. Чурбанов, И. Я. Храмова, О. А. Ищенко // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. – Харків: НТУ «ХПИ» – 2012. – №22. – С. 147-169. **16.** Танченко А. Ю. Метод прямого конечного возмущения конечно-элементных моделей при численном исследовании динамических, жесткостных и прочностных характеристик тонкостенных элементов машин строительных конструкций / А. Ю. Танченко, А. В. Литвиненко, А. Д. Чепурной [и др.] // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – Брянск: БГТУ. – 2014. – № 4(44). – С.114-124. **17.** Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542. **18.** Гринев В. Б. Оптимизация стержней по спектру собственных значений / В. Б. Гринев, А. П. Филиппов. – К : Наук. думка, 1979. – 211 с. **19.** Симсон Э. А. Методика анализа чувствительности вибрационных параметров механических систем / Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, М. В. Трохман // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2008. – 2/4 (32). – С. 44-47. **20.** Бабаков И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1968. – 560 с. **21.** Грабовский, А. В. Чувствительность собственных форм колебаний систем с несколькими степенями свободы к варьированию параметров динамической системы / А. В. Грабовский, Н. А. Ткачук, Н. Н. Ткачук, А. Ю. Танченко, И. В. Мазур // *Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Транспортное машиностроение*. – Х. : НТУ «ХПИ». – 2015. – № 43. – С. 25 – 29. **22.** Грабовский, А. В. Влияние варьируемых инерционно-жесткостных параметров на характеристики динамических многомассовых систем / А. В. Грабовский // *Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Х. : НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 17 - 22. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03. **23.** Грабовский А. В. Определение чувствительности собственных частот и форм колебаний прямоугольной пластины к варьированию ее инерционно-жесткостных характеристик / А. В. Грабовский // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 39-48. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.06. **24.** Ткачук Н. А. Анализ чувствительности вибрационных характеристик бронекорпусов к изменению проектно-технологических параметров / Н. А. Ткачук, А. В. Заворотный, А. В. Грабовский, А. В. Литвиненко, В. Ф. Климов, А. С. Богач, И. Я. Храмова, И. П. Пархонюк // *Механіка та машинобудування*. – 2017. – № 1. – С 38-46.

Bibliography (transliterated): 1. Bojko G. O. Deyaki dani suchasnogo stanu j tendencij rozvitku kolisnih bojovih bron'ovanih mashin / G. O. Bojko, S. P. Bisik // *Vijs'kovo-tekhnichna politika. Ozbroyennya ta vijs'kova tekhnika*. – 2014. – №3. – S. 20-24. 2. Anipko O. B. K voprosu o klassifikacii lyogkih kolyosnyh i gusenichnyh boevyh bronirovannyh mashin / O. B. Anipko, O. N. Rikunov, E. P. Ponomaryov, G. N. Marenko // *Integrovani tekhnologii promislovosti*. – 2008. – №2. – S. 108-112. 3. MT-LB i ego modifikacii <https://topwar.ru/9162-mt-lb-i-ego-modifikacii.html> 4. MT-LB <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%A2-%D0%9B%D0%91> 5. HKBM im. O. O. Morozova

<http://morozov.com.ua/> 6. Vasil'ev A. YU. *Obzor podhodov dopolnitel'nogo bronirovaniya legkobrairovannykh mashin* / A. YU. Vasil'ev, O. E. SHatalov, E. E. Dudar // *Visnik NTU "HPI"*. – 2015. – № 31 (1140). – S. 38-45. 7. СHeпkov I. B. *Zagal'ni tendencii rozvitku ozbroennya ta vijs'kovoї tekhniki* / СHeпkov I. B., Nor P. I. // *Ozbroennya ta vijs'kova tekhnika*. – 2014. – № 1. – S. 4–13. 8. СHeпkov I. B. *Model' processa pronikaniya sostavnogo udlinennogo porazhayushchego ehlementa v ehkranirovannuyu pregradu* / I. B. СHeпkov, S. A. Lavrikov // *Problemy prochnosti*. – 2003. – № 2. – S. 102-111. 9. Bisik S. P. *Ocinka vplivu sposobu kriplennya protiminnogo ekrana na protiminnu stijkist' bojovih bron'ovanih mashin* / S. P. Bisik, I. B. СHeпkov, V. A. Golub, V. G. Korbach // *Sistemi ozbroennya i vijs'kova tekhnika*. – 2013. – № 1(33). – S. 8-12. 10. Tkachuk N. A. *Konechno-ehlementnye modeli ehlementov slozhnykh mekhanicheskikh sistem: tekhnologiya avtomatizirovannoj generacii i parametrizovannogo opisaniya* / N. A. Tkachuk, G. D. Gricenko, A. D. СHeпurnoj [i dr.] // *Mekhanika ta mashinobuduvannya*. – Harkiv: NTU "HPI". – 2006. – № 1. – S. 57–79. 11. Tkachuk N. A. *Osnovy obobshchennogo parametricheskogo opisaniya slozhnykh mekhanicheskikh sistem* / N. A. Tkachuk, A. D. СHeпurnoj, G. D. Gricenko [i dr.] // *Visnik Skhidnoukr. nac. un-tu im. V. Dal'ya*. – 2007. – №9(115), chast. 1. – С. 196-205. 12. Grabovs'kij, A. V. *Zabezpechennya taktiko-tekhnichnih karakteristik vijs'kovih gusenichnih i kolisnih mashin na etapi proektnih doslidzhen'* / A. V. Grabovs'kij, A. YU. Vasil'ev, M. M. Tkachuk [ta insh.]. // *Visnik NTU "HPI"*. Zb. nauk. prac'. Seriya: Novi rishennya v suchasnih tekhnologiyah. – Harkiv. – 2016. – №18 (1190). – S. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04. 13. Hlan', O. V. *Teoretichni osnovi proektno-tekhnologichno-virobnichogo zabezpechennya taktiko-tekhnichnih karakteristik bojovih bron'ovanih mashin* / O. V. Hlan', M. A. Tkachuk, A. V. Grabovs'kij // *Visnik NTU "HPI"*, Seriya: Novi rishennya v suchasnih tekhnologiyah. – Harkiv: NTU "HPI". – 2018. – № 9 (1285). – S. 83-89. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12. 14. Tanchenko A. YU. *Vliyanie tolshchiny panelej na spektr sobstvennykh chastot kolebanij korpusov transportnykh sredstv special'nogo naznacheniya* / A. YU. Tanchenko // *Visnik NTU "HPI"*. Seriya: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU "HPI". – 2013. – №23 (996). – S. 138-145. 15. Tanchenko A. YU. *Analiz chuvstvitel'nosti prochnostnykh i dinamicheskikh karakteristik mashinostroitel'nykh konstrukcij na osnove pryamogo vozmushcheniya konechno-ehlementnykh modelej* / N. A. Tkachuk, A. YU. Tanchenko, A. N. Tkachuk, P. V. СHurbanov, I. YA. Hramcova, O. A. Ishchenko // *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu "Harkivs'kij politekhnichnij institut"*. – Harkiv: NTU "HPI" – 2012. – №22. – S. 147-169. 16. Tanchenko A. YU. *Metod pryamogo konechnogo vozmushcheniya konechno-ehlementnykh modelej pri chislennom issledovanii dinamicheskikh, zhestkostnykh i prochnostnykh karakteristik tonkostennykh ehlementov mashin stroitel'nykh konstrukcij* / A. YU. Tanchenko, A. V. Litvinenko, A. D. СHeпurnoj [i dr.] // *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – Bryansk: BGTU. – 2014. – № 4(44). – S.114-124. 17. Zenkevich O. *Metod konechnykh ehlementov v tekhnike* / O. Zenkevich. – M. : Mir, 1975. – 542. 18. Grinev V. B. *Optimizaciya sterzhnej po spektru sobstvennykh znachenij* / V. B. Grinev, A. P. Filippov. – K : Nauk. dumka, 1979. – 211 s. 19. Simson EH. A. *Metodika analiza chuvstvitel'nosti vibracionnykh parametrov mekhanicheskikh sistem* / EH. A. Simson, S. A. Nazarenko, M. V. Trohman // *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij*. – 2008. – 2/4 (32). – S. 44-47. 20. Babakov I. M. *Teoriya kolebanij* / I. M. Babakov. – M. : Nauka, 1968. – 560 s. 21. Grabovskij, A. V. *СHuvstvitel'nost' sobstvennykh form kolebanij sistem s neskol'kimi stepenyami svobody k var'irovaniyu parametrov dinamicheskoi sistemy* / A. V. Grabovskij, N. A. Tkachuk, N. N. Tkachuk, A. YU. Tanchenko, I. V. Mazur // *Vestnik NTU "HPI"*. Seriya: Transportnoe mashinostroenie. – H. : NTU "HPI". – 2015. – № 43. – S. 25 – 29. 22. Grabovskij, A. V. *Vliyanie var'iruemykh inercionno-zhestkostnykh parametrov na karakteristiki dinamicheskikh mnogomassovykh sistem* / A. V. Grabovskij // *Vestnik NTU "HPI"*. Seriya: Novye resheniya v sovremennykh tekhnologiyah. – H. : NTU "HPI". – 2016. – № 12 (1184). – S. 17 - 22. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03. 23. Grabovskij A. V. *Opredelenie chuvstvitel'nosti sobstvennykh chastot i form kolebanij pryamougol'noj plastiny k var'irovaniyu ee inercionno-zhestkostnykh karakteristik* / A. V. Grabovskij // *Vestnik NTU "HPI"*, Seriya: Novye resheniya v sovremennykh tekhnologiyah. – Har'kov: NTU "HPI". – 2017. – № 7 (1229). – S. 39-48. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.06. 24. Tkachuk N. A. *Analiz chuvstvitel'nosti vibracionnykh karakteristik bronekorpusov k izmeneniyu proektno-tekhnologicheskikh parametrov* / N. A. Tkachuk, A. V. Zavorotnyj, A. V. Grabovskij, A. V. Litvinenko, V. F. Klimov, A. S. Bogach, I. YA. Hramcova, I. P. Parhonyuk // *Mekhanika ta mashinobuduvannya*. – 2017. – № 1. – С 38-46.

Грабовський А.В., Ткачук М.А., Мерецька К.О., Ткачук М.М., Васильєв А.Ю., Бондаренко М.О., Скрипченко Н.Б.

**ВПЛИВ ВАРІЙОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ
БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН**

У статті описано застосування методу лінеаризації власних частот і форм коливань бронекорпусів легкоброньованих машин за варійованими проектними параметрами. Шляхом цілеспрямованого варіювання параметрів бронекорпусів пропонується відлаштуватися від резонансних режимів збудження. При цьому можна поліпшити розташування зон максимальних значень напружень. Вони можуть бути зміщені від зварних швів тонкостінних елементів. Цим досягається підвищення міцності та жорсткості бронекорпусів. Це дає можливість забезпечити високі технічні та тактико-технічні характеристики легкоброньованих машин, оскільки бронекорпуси є основними силовими, компоувальними та захисними елементами цих машин. У результаті створюються теоретичні основи розв'язання прикладних задач, які виникають при проектуванні, технологічній підготовці та освоєнні виробництва легкоброньованих машин.

Грабовский А.В., Ткачук Н.А., Мерецкая К.О., Ткачук Н.Н., Васильев А.Ю. Бондаренко М.А., Скрипченко Н.Б.

**ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
БРОНЕКОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ МАШИИ**

В статье описано применение метода линеаризации собственных частот и форм колебаний бронекорпусов легкобронированных машин по варьлируемыми проектными параметрами. Путем целенаправленного варьирования параметров бронекорпусов предлагается отстраиваться от резонансных режимов возбуждения. При этом можно улучшить расположение зон максимальных значений напряжений. Они могут быть смещены от сварных швов тонкостенных элементов. Этим достигается повышение прочности и жесткости бронекорпусов. Это дает возможность обеспечить высокие технические и тактико-технические характеристики легкобронированных машин, поскольку бронекорпусов являются основными силовыми, компоновочными и защитными элементами этих машин. В результате создаются теоретические основы решения прикладных задач, возникающих при проектировании, технологической подготовке и освоении производства легкобронированных машин.

A. Grabovskiy, M. Tkachuk, K. Meretska, M. Tkachuk, A. Vasiliev, M. Bondarenko, N. Skripchenko

**INFLUENCE OF VARIABLE PARAMETERS ON THE NATURAL OSCILLATIONS OF
HULLS OF LIGHTLY ARMORED VEHICLES**

The article describes the application of the method of linearization of natural frequencies and modes of vibration of armored hulls of lightly armored vehicles with varying design parameters. By deliberately varying the parameters of the armored hulls, it is proposed to rebuild from the resonance excitation modes. In this case, it is possible to improve the arrangement of the zones of maximum stress values. They can be displaced from the weld seams of thin-walled elements. This makes it possible to increase the strength and rigidity of armored hulls. This makes it possible to provide high technical and tactical and technical characteristics of lightly armored vehicles, since armored corps are the main power, layout and protective elements of these machines. As a result, theoretical bases for solving applied problems arising in the design, technological preparation and development of production of lightly armored vehicles are created.