

**Я. М. МОРМИЛО, В. А. ЖАДАН, В. П. ДАНИЛЬЧЕНКО, М. М. ТКАЧУК, А. В. ГРАБОВСЬКИЙ,
В. В. ТРОЦЕНКО, А. В. НАБЕКОВ, О. М. РІКУНОВ, М. А. ТКАЧУК, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ,
Р. П. ДЕРЕВЯНКИН, А. М. КОБА**

МОДЕЛІ ДИНАМІКИ ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕХІДНОЇ СИЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІДБАШТОВОГО ЛИСТА ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН

У роботі описана параметрична модель динаміки та напружено-деформованого стану елементів перехідної силової конструкції підбаштового листа легкоброньованих машин. Як варійовані параметри задіяні масово-інерційні характеристики бойового модуля, товщина та габаритні розміри підбаштового перехідного листа, а також темп стрільби та калібр озброєння бойового модуля. Досліджено вплив товщини перехідного підбаштового листа на власні частоти і форми коливань. Також визначено реакцію конструкції на дію імпульсних реактивних сил віддачі при стрільбі із бойового модуля. На основі здійснених розрахунків для тестової конструкції установлені закономірності впливу варійованих параметрів на динаміку та напружено-деформований стан елементів перехідної силової конструкції підбаштового листа легкоброньованих машин. Розроблена модель дає можливість формувати спеціалізовану базу даних. У цій базі даних накопичується інформація про динамічні, жорсткісні та міцнісні властивості системи «бойовий модуль – перехідна конструкція підбаштового листа бронекорпуса легкоброньованої машини». Це дає можливість переходити до аналізу властивостей реальних конструкцій, а також до формування рекомендацій стосовно обґрунтування раціональних параметрів елементів легкоброньованих машин, що проєктуються або модернізуються.

Ключові слова: легкоброньована машина; бойовий модуль; підбаштовий лист; динаміка; напружено-деформований стан; варійовані параметри

**Ya. MORMYLO, V. ZHADAN, V. DANYLCHENKO, M. M. TKACHUK, A. GRABOVSKIY,
V. TROTSSENKO, A. NABOKOV, O. RIKUNOV, M. A. TKACHUK, A. VASYLIEV, R. DEREVIANKIN,
A. KOBA**

MODELS OF DYNAMICS AND STRESS-STRAIN STATE OF TRANSITIONAL SUPPORTING STRUCTURE ELEMENTS OF THE SUBTURRET SHEET OF LIGHT ARMORED VEHICLES

The work describes a parametric model of the dynamics and stress-strain state of the elements of the transitional supporting structure of the sub-turret sheet of light armored vehicles. The mass-inertial characteristics of the combat module, the thickness and overall dimensions of the underturret transition sheet, as well as the rate of fire and the caliber of the combat module's weapons are used as varied parameters. The effect of the thickness of the transition underturret sheet on the natural frequencies and forms of vibrations was studied. The response of the structure to the action of impulse reactive recoil forces when firing from a combat module is also determined. Based on the calculations made for the test design, the regularities of the influence of varied parameters on the dynamics and stress-strain state of the elements of the transitional power structure of the underturret sheet of light armored vehicles were established. The developed model makes it possible to form a specialized database. This database accumulates information about the dynamic, stiffness and strength properties of the system «combat module - transitional structure of the underturret sheet of the armored hull of a lightly armored vehicle». This makes it possible to proceed to the analysis of the properties of real structures, as well as to the formation of recommendations regarding the substantiation of the rational parameters of the elements of lightly armored vehicles that are being designed or modernized.

Keywords: lightly armored vehicle; combat module; subturret sheet; dynamics; stress-strain state; varied parameters

Вступ. Натепер об'єкти військової техніки піддаються дії різноманітних за природою і походженням силових та інших чинників [1–6]. До числа цих чинників належать і впливи, які породжують комплекс силових навантажень. Окремі елементи конструкцій більш сприйнятливі до впливу різних зусиль, що може знизити загальний рівень міцності та жорсткості.

Так, при проєктуванні сучасних легкоброньованих машин (ЛБМ) однією із основних проблем є збалансований вибір властивостей бойового модуля та елементів бронекорпусу, у першу чергу – підбаштового листа. Це дуже важливо із огляду на те, що сучасні ЛБМ оснащуються бойовими модулями, які містять швидкострільні малокаліберні автоматичні гармати (МАГ). Ці гармати мають високий (200 – 1000 пострілів на хвилину) темп стрільби та зусилля віддачі (до 60 кН). Наприклад, це гармати типу 2А42, 2А72, 3ТМ-1, 3ТМ-2 [7–9] калібром 30 мм. Силова імпульсна дія сил віддачі може призвести до реалізації небезпечних резонансних режимів у системі «бойовий модуль – підбаштовий лист бронекорпусу ЛБМ». Окрім того, це впливає на захищеність та точність ведення вогню. Отже, виникає актуальна проблема створення математичних та чисельних моделей процесів і станів у елементах досліджуваної

конструкції задля розв'язання задачі обґрунтування прогресивних технічних рішень проєктованих елементів «бойовий модуль – підбаштовий лист бронекорпусу ЛБМ».

З іншого боку, сформована задача ускладнюється для випадку модернізації уже існуючої ЛБМ шляхом установлення нового бойового модуля, який раніше уже був створений під іншу ЛБМ. У цьому випадку різко зменшується «міра свободи» при прийнятті рішень, адже існують обмеження, що диктуються існуючими варіантами, з одного боку, бойового модуля, а з іншого, – бронекорпусу, які тепер слід узгодити за результуючими властивостями. Це досягається, наприклад, за рахунок установлення перехідного кільця (ПК), яке компенсує простір між існуючим у підбаштовому листі отвором під старий бойовий модуль та місцем установки (погоном) нового бойового модуля. Отже, варійованим є конструктивне виконання цього ПК. І тоді вихідна задача зводиться до аналізу динаміки та напружено-деформованого стану (НДС) проєктованого ПК задля обґрунтування на

© Я. М. Мормило, В. А. Жадан, В. П. Данильченко,
М. М. Ткачук, А. В. Грабовський, В. В. Троценко,
А. В. Набоков, О. М. Рікунов, М. А. Ткачук,
А. Ю. Васильєв, Р. П. Деревянкін, А. М. Коба, 2023

основі аналізу результатів досліджень відповідних рекомендацій стосовно раціональних варіантів виконання цього кільця.

Описана проблематика формує напрямок досліджень, які становлять зміст цієї статті.

Аналіз існуючих проєктних рішень бронекорпусів легкоброньованих машин та методів досліджень процесів і станів у цих конструкціях. Сучасні та перспективні легкоброньовані машини як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва мають різноманітну загальну компоновку, конструктивні рішення окремих елементів, агрегатів та систем [3–9]. Разом із тим практично загальноприйнятими є варіанти виконання бронекорпусу у вигляді тонкостінної конструкції із бронепанелей та внутрішньої силової структури. Таким же є варіант виконання бойового модуля із установкою МАГ, причому цей модуль монтується на погонному кільці, що базується на підбаштовому листі (верхня проєкція бронекорпусу). Одразу ж такі компоновальні рішення призводять до зазначених вище проблем із динамікою та НДС.

Відповідно, формується комплекс задач аналізу динамічних процесів та властивостей елементів бронекорпусів та бойових модулів ЛБМ. Так, у роботах [4, 10–13] визначається реакція бронекорпусів ЛБМ на дію ударної хвилі. Також становить інтерес дія динамічних сил від підвіски на транспортний засіб та бронекорпус зокрема [14–23]. Із цією метою розробляються відповідні математичні та чисельні моделі, а також вимоги та засоби їх досягнення [21, 23–29].

Незважаючи на значний інтерес до різноманітних проблем стосовно проєктування елементів ЛБМ, натеper не існує загального універсального підходу, моделей та методів розв'язання усіх задач, що при цьому виникають. Разом із тим у низці робіт [23–29] накреслено перспективні напрямки розв'язання такого типу задач. У цьому руслі і розв'язується поставлена у роботі задача стосовно аналізу моделей динаміки та напружено-деформованого стану елементів перехідної силової конструкції підбаштового листа легкоброньованих машин.

Мета роботи – розробка моделей та здійснення досліджень динаміки й напружено-деформованого стану перехідної силової конструкції підбаштового листа.

Загальна постановка задачі. Діючі на досліджувану тестову перехідну конструкцію навантаження можуть викликати деформацію у найбільш напружених областях та лінійне і кутове зміщення бойового модуля, який установлено на цій перехідній конструкції. Для розробки науково обґрунтованих рекомендацій із вибору конструктивних параметрів елементів конструкції необхідні прогнози розрахунки, які на основі аналізу НДС дають можливість визначити зони підвищених напружень, деформацій, а, відповідно, і необхідні заходи. Оскільки у нормативних документах і науково-технічній літературі відсутні методи розв'язання подібних задач, а сам об'єкт є з точки зору розрахунку НДС досить складною конструкцією, то розробка математичних і чисельних моделей для визначення напружень і деформацій елементів є актуальною і важливою науково-технічною задачею.

Зокрема, проблеми викликають високі динамічні деформації елементів перехідної конструкції, а також міцність та жорсткість її елементів.

Для аналізу процесів і станів, що виникають, необхідні нові підходи до математичного і комп'ютерного моделювання.

Розробка розрахункових схем та моделей напружено-деформованого стану елементів тестової перехідної силової конструкції підбаштового листа. Досліджується НДС та власні частоти коливань (ВЧК) перехідної силової конструкції підбаштового листа, модель якої зображена на рис. 1. На рис. 2 показана схема її обпирання. На зовнішньому контурі реалізоване болтове з'єднання із іншою частиною корпусу. Матеріал перехідної силової конструкції підбаштового листа – сталь із модулем пружності 210 ГПа, коефіцієнт Пуассона – 0,3.

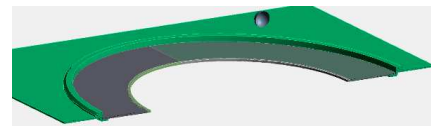


Рисунок 1 – Геометрична (половина в силу симетрії) модель досліджуваної конструкції

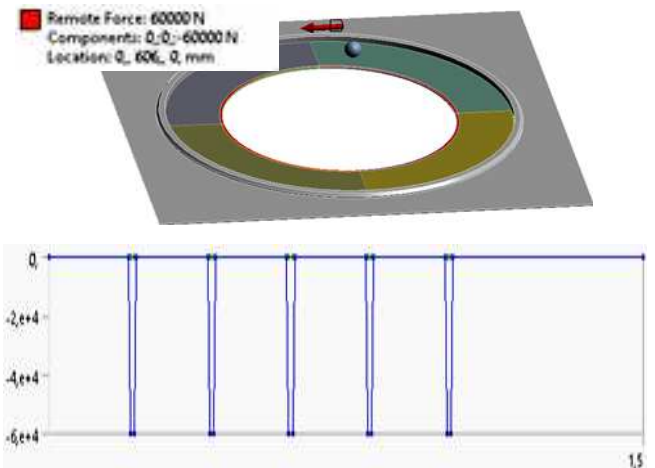


Рисунок 2 – Схема обпирання та навантаження (частота – 5 Гц, що відповідає темпу стрільби 300 пострілів на хвилину) досліджуваної конструкції (амплітуда – 60 кН), сферичний елемент імітує бойовий модуль

При цьому на її матеріал діє імпульсна сила частотою 5 Гц, що відповідає темпу пострілів 600 за хвилину (див. рис. 2), центр дії якої та напрямок збігаються із центром цапф та віссю канала ствола малокаліберної гармати, а максимальне значення умовно обране рівним 60 кН [7–9] (у подальших розрахунках можна обирати також інші параметри).

Для визначення НДС конструкції пропонується застосувати метод скінченних елементів (МСЕ).

Таким чином, у декартовій системі координат виникає НДС, який описується рівняннями

$$M\ddot{a} + C\dot{a} + Ka = b, \quad (1)$$

де M , C , K – матриці жорсткості, демпфірування та мас відповідно,

b – масив вузлових навантажень, що формується

із реактивної сили віддачі (див. вище),

a – вектор вузлових параметрів (переміщень).

Розв’язання системи рівнянь (1) дає можливість визначити

$$a = a(t). \quad (2)$$

За вектором a обчислюються компоненти вектора переміщень u , тензорів деформацій ε та напружень σ :

$$\begin{aligned} u_i &= N_{ki} a_k, & \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl} \varepsilon_{kl}, & i, j, k, l &= 1, 2, 3, \end{aligned} \quad (3)$$

де N_{ki} – функції форми МСЕ, а C_{ijkl} – компоненти тензора пружних констант.

Отже, у результаті отримуємо компоненти НДС як поля, що параметрично залежать від варійованих параметрів згідно (3).

Варіювання цих параметрів дає можливість установлювати залежності характеристик міцності і жорсткості від них.

З іншого боку, для визначення ВЧК p_i та власних форм коливань (ВФК) λ_i необхідно розв’язати задачу на власні значення

$$(K - p_i^2 \cdot M) \cdot \lambda_i = 0. \quad (4)$$

Тут потрібно зазначити, що матриця жорсткості є параметричною, тобто зміна товщини і конструктивного виконання елементів (варійованих параметрів P) призводить до зміни жорсткісних характеристик досліджуваного об’єкта. Таким чином,

$$p_i = p_i(P), \lambda_i = \lambda_i(P), i = 1, 2, \dots \quad (5)$$

ВЧК p_i та ВФК λ_i , у результаті змінюються зі зміною P . Відповідно, можна побудувати діаграми, які цю зміну ілюструють.

Отже, визначено етапи досліджень, які у підсумку дають можливість визначити компоненти НДС, ВЧК, ВФК як функції параметрів P . Отримувані результати служать основою для розв’язання оберненої задачі, тобто обґрунтування таких технічних рішень, які дадуть змогу уникати проблем із міцності, жорсткості та збудження резонансних режимів. Так, можна сформулювати деякі задачі синтезу у вигляді

$$\sigma \rightarrow \min, \quad m \rightarrow \min, \quad \sigma \leq \Sigma, \quad (6)$$

$$\Omega_1 \leq \Omega \leq \Omega_2, \quad u \leq U, \quad (7)$$

де m , σ , u , Ω – характеристики маси, напруженого і деформованого стану та спектра ВЧК,

Σ , U , Ω_1 , Ω_2 – деякі обмежувальні рівні досліджуваних характеристик.

Відштовхуючись від цих формулювань, можна розв’язувати задачі визначення таких проектно-технологічних рішень, які дають змогу суттєво підвищувати технічні характеристики конструкцій, а відтак – і тактико-технічні характеристики машин, які ними оснащуються. При цьому застосована технологія узагальненого параметричного

моделювання [24–29], яка дає можливість багатоваріантних розрахунків процесів і станів у досліджуваних об’єктах. У випадку, що розглядається, варійованою є товщина та конструктивне виконання ПК. Разом із тим варійованим може виступати будь-який інший проєктний чи технологічний параметр.

Результати досліджень динамічного напружено-деформованого стану досліджуваного перехідного кільця. На рис. 3 наведена геометрична та скінченно-елементна моделі динамічного НДС ПК. Варіюється товщина листа $h \in [10; 50]$ мм. Розв’язується задача аналізу власних частот та форм коливань, отримані результати наведені у табл. 1.

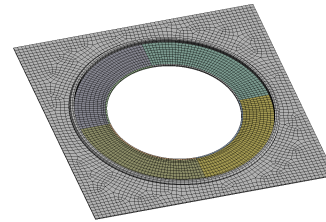


Рисунок 3 – Скінченно-елементна модель динамічного напружено-деформованого стану перехідного кільця

Типові власні форми коливань системи «бойовий модуль – ПК» наведені у табл. 2, а на рис 4 – залежність власних частот від товщини перехідного кільця.

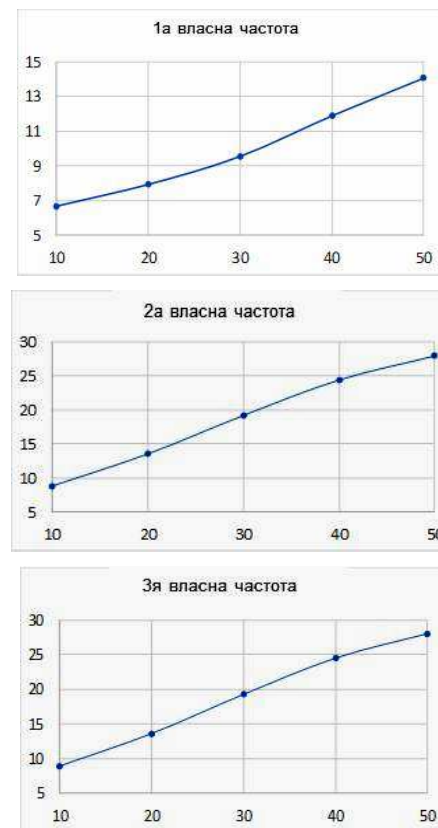


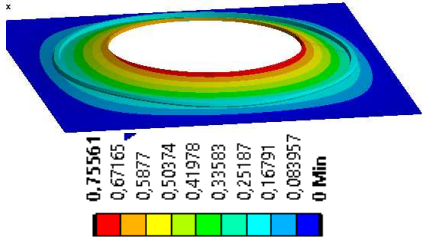
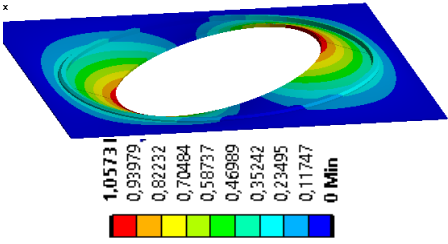
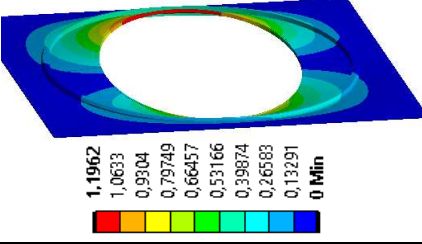
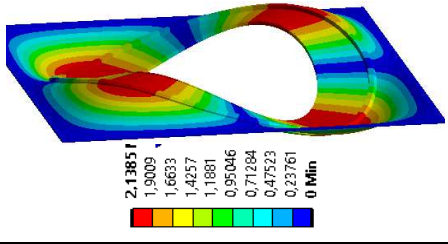
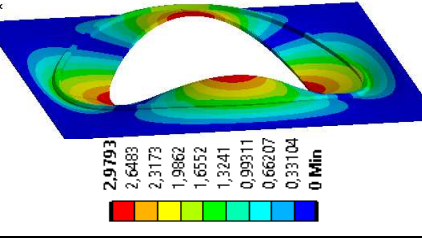
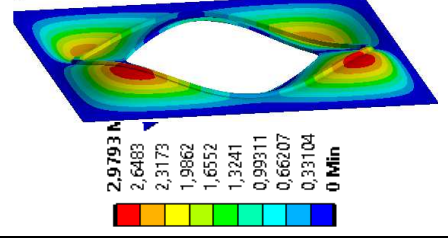
Рисунок 4 – Залежність власних частот (Гц) від товщини перехідного кільця (мм)

Крім того, здійснено аналіз перехідних динамічних процесів. На рис. 5 – схема розміщення точок обчислення прогинів ПК та розподіли

компонент напружено-деформованого стану перехідного кільця. На рис. 6–8 – часові розподіли прогинів ПК у точках T_1 , T_2 та кута прогину погона

при одиничному пострілі.

Таблиця 2 – Картини розподілу власних форм при товщині перехідного кільця 20 мм

№ ВФК	Власна форма коливань	№ ВФК	Власна форма коливань
1		2	
3		4	
5		6	

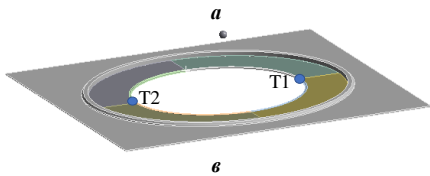
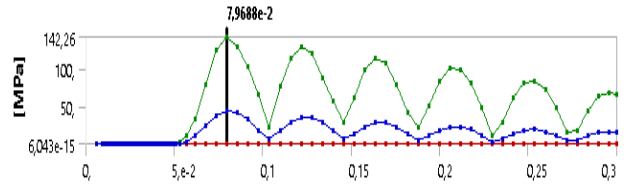
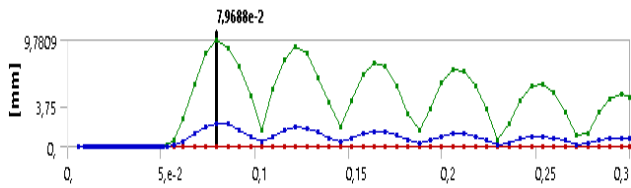
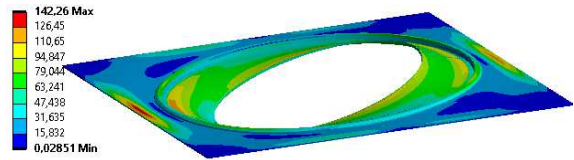
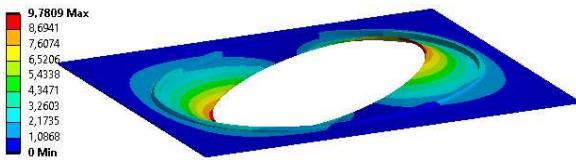


Рисунок 5 – Розподіли переміщень, мм, (а) та еквівалентних напружень за Мізесом, МПа, (б), а також точки обчислення вертикальних переміщень (в) (відстань між T_1 та T_2 = 1330мм)

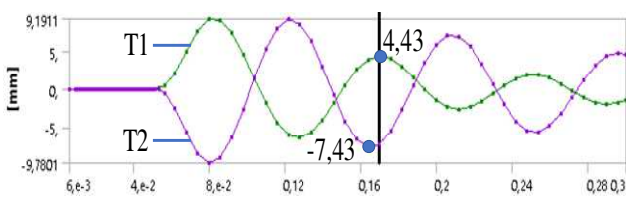


Рисунок 6 – Часовий розподіл вертикальних переміщень (мм) точок T_1 і T_2

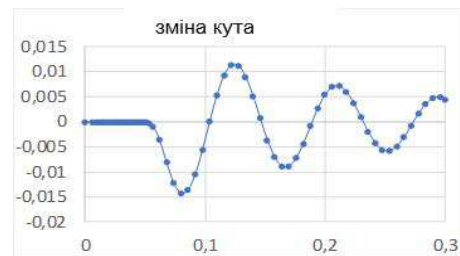


Рисунок 7 – Часовий розподіл повороту прогину $((T_1 - T_2)/1330)$ товщина погонного кільця 12 мм залежно від часу (с)

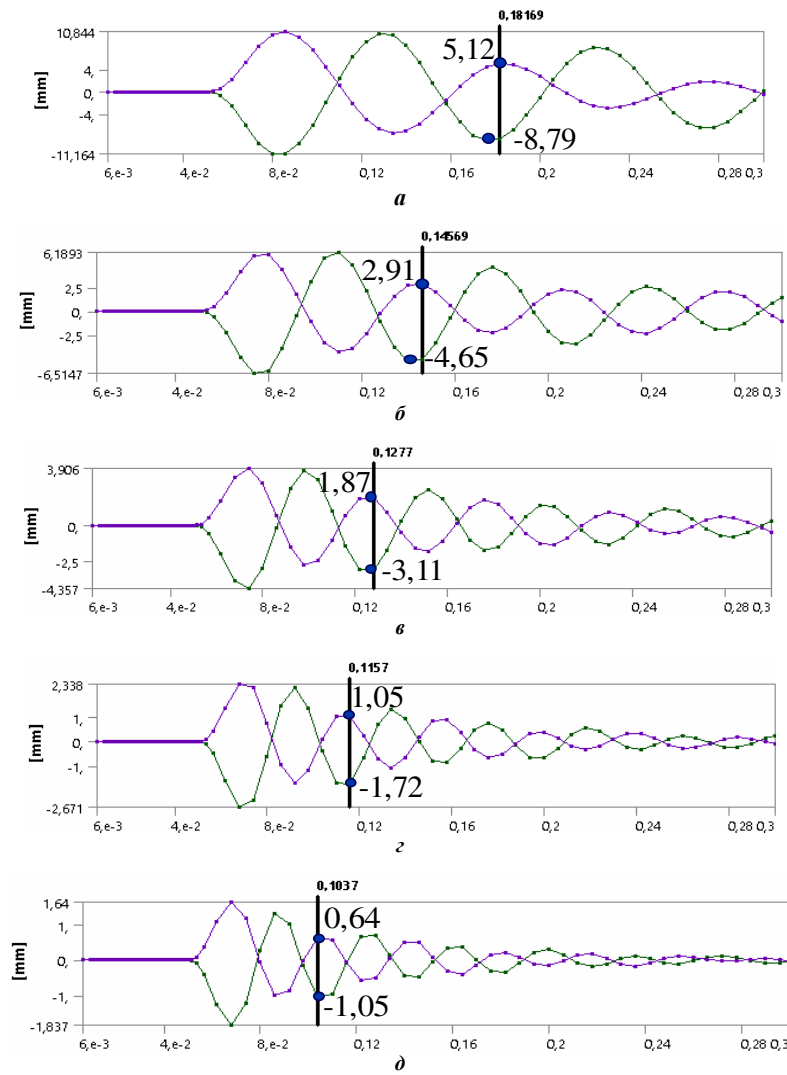


Рисунок 8 – Часові розподіли прогинів точок 1 і 2 при товщині:
 a – 10мм, $б$ – 20мм, $в$ – 30мм, $г$ – 40мм, $д$ – 50мм

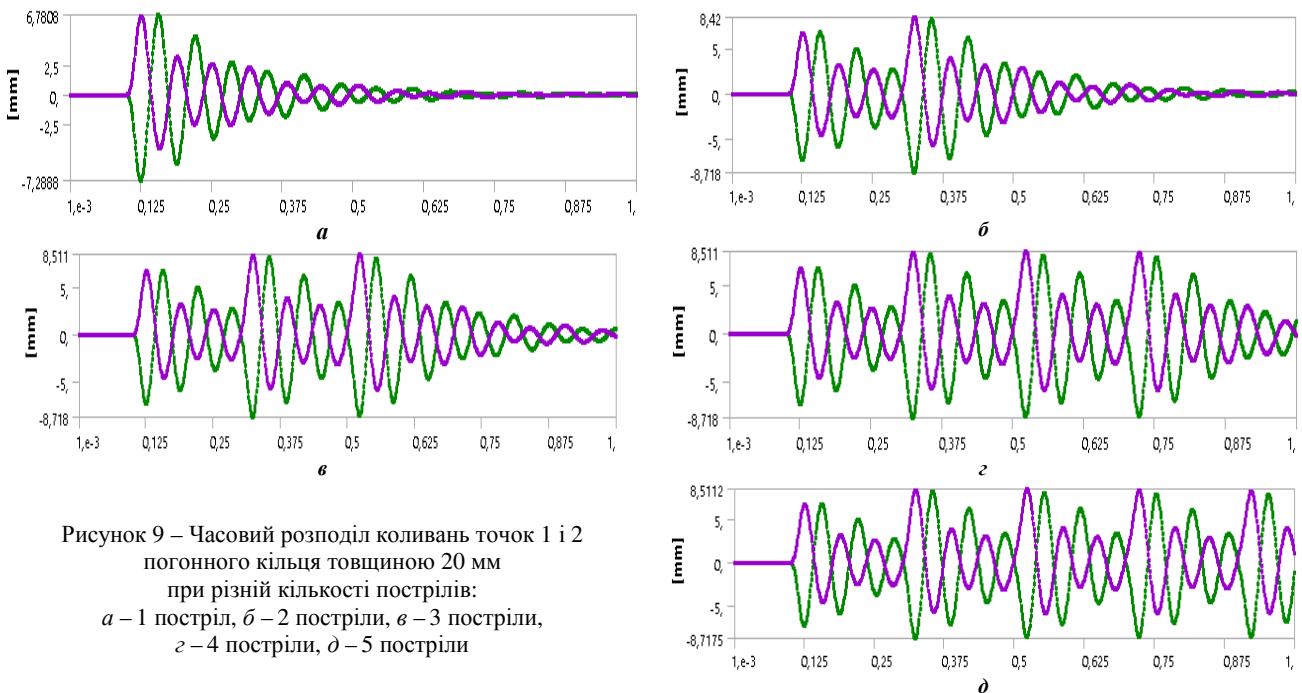


Рисунок 9 – Часовий розподіл коливань точок 1 і 2 погонного кільця товщиною 20 мм при різній кількості пострілів:
 a – 1 постріл, $б$ – 2 постріли, $в$ – 3 постріли,
 $г$ – 4 постріли, $д$ – 5 постріли

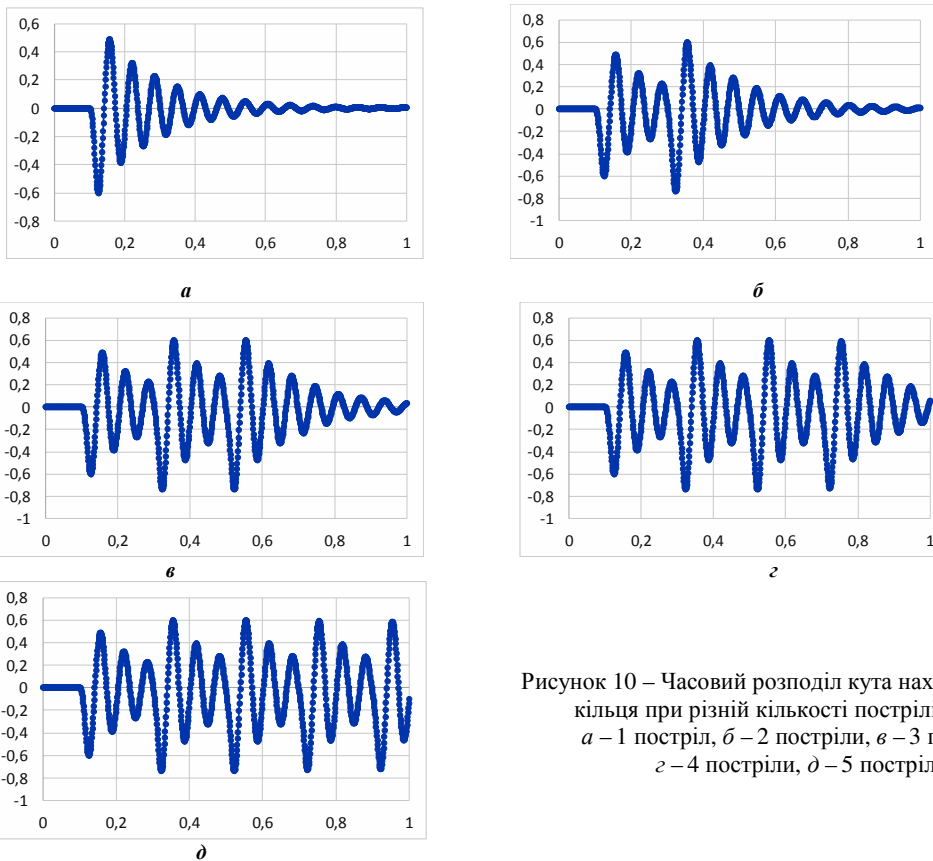


Рисунок 10 – Часовий розподіл кута нахилу погонного кільця при різній кількості пострілів у черзі: а – 1 постріл, б – 2 постріли, в – 3 постріли, г – 4 постріли, д – 5 постріли

Таблиця 1 – Власні частоти коливань перехідного кільця, Гц

№ пп.	Товщина кільця, мм				
	10	20	30	40	50
1	6,68	7,934	9,55	11,90	14,07
2	8,80	13,54	19,22	24,45	27,98
3	8,93	13,60	19,26	24,48	28,02
4	60,58	59,15	58,93	60,02	63,19
5	72,58	78,60	83,02	84,20	85,37
6	76,84	84,43	90,57	99,39	109,53

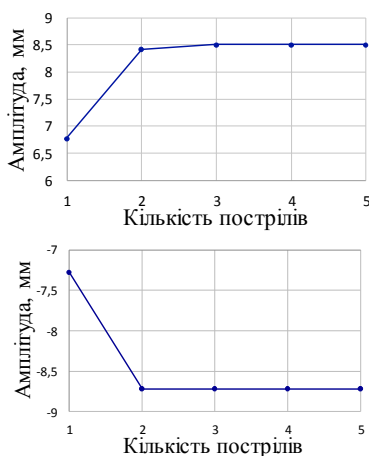


Рисунок 11 – Залежність максимальних вертикальних переміщень від кількості пострілів МАГ чергою

На рис. 12 наведені просторові розподіли переміщень та еквівалентних за Мізесом напружень у ПК у певні моменти часу, а на рис. 13 – залежність максимальних прогинів та кутів повороту погонного кільця від товщини листа

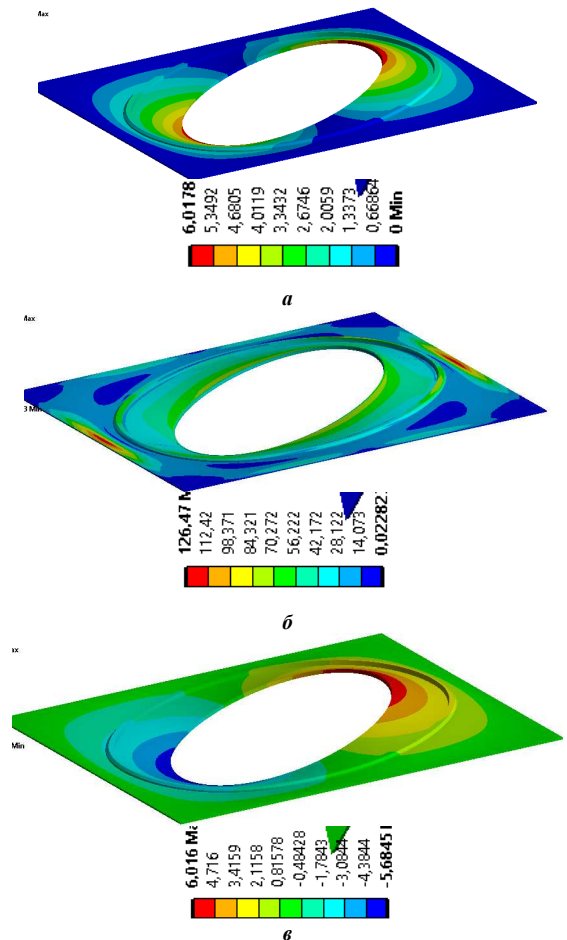


Рисунок 12 – Просторові розподіли компонент напружено-деформованого стану у ПК: а – повні переміщення, мм; б – еквівалентні напруження за Мізесом, МПа; в – вертикальні переміщення, мм

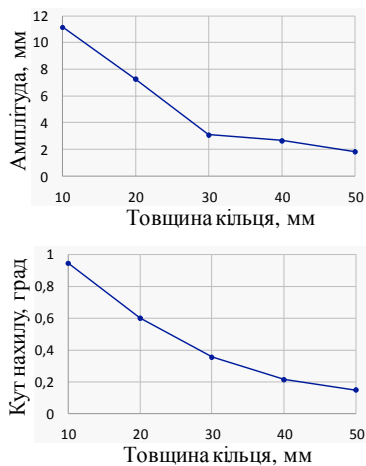


Рисунок 13 – Залежність максимальних прогинів та кутів повороту погонного кільця від товщини листа

Висновки. Аналіз отриманих результатів досліджень дає підстави для наступних висновків.

1. Досліджена конструкція працює не в екстремальних, проте у чутливих режимах навантаження за міцнісними властивостями. Для переходу матеріалу у зону пластичних деформацій потрібні значні додаткові зовнішні збурення.

2. Пружна деформація конструкції призводить до суттєвої зміни напрямку осі каналу ствола гармати та відповідного збурення, що може погіршити узгодженість напрямку у початковий момент наведення на ціль та у момент виходу снаряда. Для уникнення цих ситуацій потрібні певні заходи, що обмежать максимальні навантаження або підсилять конструкцію.

3. Потенційна наявність резонансних режимів роботи конструкції вимушує приймати конструктивні рішення, які виведуть їх за ці режими. Для цього можлива зміна схеми обпирання, варіювання параметрів, властивостей опор тощо.

Таким чином, установлені деякі чинники, які впливають на міцнісні, жорсткісні та динамічні характеристики конструкції, а також у ході тестових розрахунків НДС запропоновані шляхи подальшого удосконалення її конструкції та відповідні напрямки досліджень.

Список літератури

- Чепков І.Б. Використання передових наукових знань, технологічних розробок та інновацій для зміцнення обороноздатності держави та досягнення військової переваги у технологічній сфері. *Вісник Національної академії наук України*. 2021. № 6. С. 59–62
- Чепков І.Б. Актуалізація питань розвитку ОБТ в Україні - сучасний вимір. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції* (Львів, 17-18 травня 2018 року). Львів: НАСВ, 2018. С. 5–6.
- Andrew Feickert, (2020). The Army's Optionally Manned Fighting Vehicle (OMFV) Program: Background and Issues for Congress., *Congressional Research Service Report for Members and Committees of Congress*, updated July 13, 2020, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45519.pdf>
- Чепков І.Б., Бісик С.П., Миронюк О.Ю., Сливінський О.А., Давидовський Л.С., Я.А. Миронов. Актуальні проблеми протимінного та балістичного захисту бойових броньованих машин. *Науково-технічні підходи до вирішення актуальних проблем розбудови сектору безпеки і оборони*. Під загальною редакцією проф. Марченка А. П.: колективна монографія. Харків : Друкарня МАДРИД, 2021.

- С. 5–58 ISBN 978-617-7988-69-3
- Попков Б.О. Шляхи підвищення захищеності зразків ОБТ сухопутних військ Збройних Сил України за досвідом проведення АТО. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ*. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 14-15 травня 2015 р.). С.10.
- Будяну Р.Г., Калінін О.М., Русіло П.О. Обґрунтування тактико-технічних вимог для розробки перспективних зразків і подальшої модернізації вітчизняних легких броньованих автомобілів. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ*. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 14-15 травня 2015 р.). С. 19.
- <https://web.archive.org/web/20200904110105/http://uos.ua/produksiya/vooruzhenie-i-boeiprasi/28-30-mm-avtomaticheskie-pushki-ztm-1-i-ztm-2>
- <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9072>
- <https://mil.in.ua/uk/articles/30-mm-avtomatychna-garmata-2a42/>
- Bisyk S.P., Chepkov I.B., Vaskivskyy M.I., Davydovskiy L.S. (2019). Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA. Comparison and analysys. *Озброєння та військова техніка*, no. 1, pp. 22–31.
- Davydovskiy L., Bisyk S., Hutov I., Lilov I., Kuprinenko A., Yalnytskyi O. (2020). Optimization of the parameters of the energy absorbing element of the armored combat vehicle's seat in the conditions of explosive loading. *Trans Motauto World*, vol. 5, iss. 2, pp. 45–47.
- Васильєв А. Ю., Куценко С. В., Ткачук М. А., Грабовський А. В., Шаталов О. Є., Волошина І. О., Тимофієнко В. В. Моделювання дії ударно-хвильового навантаження на корпусні елементи транспортних засобів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»: Серія: Машинознавство та САПР*. 2021. №1. С. 5–16. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/231074>
- Бісик С. Експериментальне дослідження вибухового навантаження макета корпусу бойової броньованої машини. *III International Scientific and Practical Conference «Grundlagen der modernen wissenschaftlichen forschung»* August 12, 2022; Zurich, Switzerland
DOI <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.23>
- Душенко В.В. *Системи підресорювання військових гусеничних і колісних машин: розрахунок та синтез*: навч. посібник Харків: Панов А. М. 2018. 336 с.
- Грабовський А. В., Ткачук М. М., Васильєв А.Ю., Куценко С.В., Сопрунов І.А. Моделювання процесів і станів як основа підвищення технічних і тактико-технічних характеристик елементів бойових броньованих машин. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ*. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 17-18 травня 2018 р.). С.25.
- Душенко В.В., Воронцов С.М., Нанівський Р.А. Дослідження втрат енергії у гідроамортизаторах підвіски бронетранспортера БТР-4 та оцінка доцільності застосування системи її рекуперації. *Військово-технічний збірник Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного*. 2020. № 23. С. 40–49.
- Сокіл Б.І., Нанівський Р.А., Грубель М.Г. Власні вертикальні коливання корпусу автомобіля з урахуванням нелінійних характеристик пружної підвіски. *Автомобільний транспорт: науково-вироб. журнал*. 2013. №5 (235). С. 15–18.
- Грубель М.Г., Красюк О.П., Сокіл М.Б., Нанівський Р.А. Вертикальні коливання підресореної частини колісних транспортних засобів під дією випадкових збурень. *Наукові нотатки*: Зб. наук. пр.; Луцьк: національний технічний ун-т, Луцьк. 2014. В. 46. С. 112–116.
- Грубель М.Г., Нанівський Р.А., Сокіл М.Б. Резонансні коливання підресореної частини колісних транспортних засобів під час руху вздовж впорядкованої системи нерівностей. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 1. С. 155–161.
- Ткачук П.П., Грубель М.Г., Сокіл М.Б., Нанівський Р.А. Оцінка впливу нелінійних силових характеристик підвіски на ефективність ведення вогню бойових колісних машин. *Військово-технічний збірник Національної академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного*. 2016. № 15. С. 42–47.
- Малакей А.Н. Математическая модель динамических процессов в корпусе и ходовой системе

- легкобронированной колесной боевой машины. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХПІ», 2005. № 60. С. 98–120.
22. Александров Е.Е., Воронцов С.Н., Карпенко В.А. [и др.] Математическое моделирование на ЭВМ случайного микропрофиля дороги. *Вестник ХГПУ*. Вып. 60. Харьков, 1999. С. 36–39.
 23. Мельник Б.А., Малакей А.Н., Мухин Д.С., Танченко А.Ю., Кохановская О.В. Математическое и численное моделирование динамических процессов в элементах легкобронированных боевых машин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2013. № 1(975). С. 93–117.
 24. Грабовський А.В., Ткачук М.А., Мерецька К.О., Ткачук М.М., Васильєв А.Ю., Бондаренко М.О., Скрипченко Н.Б. Вплив варіюваних параметрів на власні коливання бронекорпусів легкоброньованих машин. *Механіка та машинобудування: наук.-техн. журнал*. Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 1. С. 65–74.
 25. Ткачук М.А., Набоков А.В., Грабовський А.В., Рікунов О.М., Ткачук М.М., Марусенко С.І., Храмова І.Я., Кохановська О.В., Прокопенко М.В., Льозний О.С., Чала Ю.С. Аналіз реакції тестових просторових конструкцій корпусів легкоброньованих машинна дію серії імпульсів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. 2020. № 2. С. 117–139.
 26. Танченко А. Ю., Ткачук М. А., Набоков А. В., Грабовський А. В., Малакей А. М. Нелінійні коливання елементів легкоброньованих машин: модельні задачі та якісні особливості. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування*. Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 29 (1305). С. 108–128. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2018_29.pdf
 27. Грабовський А. В., Ткачук М. М., Набоков А. В., О.В. Литвиненко, Ткачук Г. В., Рікунов О. М., Куценко С. В., Панченко В. В., Кислиця Д. В. Аналіз реакції легкоброньованих машин на дію поліімпульсних сил. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. № 1, 2021. С. 47–52. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/232450>
 28. Ткачук М. А., Набоков А. В., Грабовський А. В., Рікунов О. М., Ткачук М. М., Марусенко С. І., Храмова І. Я., Кохановська О. В., Прокопенко М. В., Льозний О. С., Чала Ю. С. Аналіз реакції тестових просторових конструкцій корпусів легкоброньованих машин на дію серії імпульсів // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. 2020. № 2. С. 117–139. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/217419>
 29. Троценко В. В., Набоков А. В., Грабовський А. В., Ткачук М. А., Храмова І. Я., Рікунов О. М., Васильєв А. Ю., Коба А. М. Динаміка бойових модулів легкоброньованих машин: моделювання перехідних та усталених процесів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. 2022. № 2. С. 127–135. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/261668>
- References (transliterated)**
1. Chepkov I.B. (2021). Vykorystannia peredovykh naukovykh znan, tekhnolohichnykh rozrobok ta innovatsii dlia zmitsnennia oboronozdatnosti derzhavy ta dosiahnennia viiskovoi perevahy u tekhnolohichnii sferi. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, no. 6, pp. 59–62
 2. Chepkov I.B. (2018). Aktualizatsiia pytan rozvytku OVT v Ukraini - suchasnyi vymir. *Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Suxoputnykh viisk*: Zbirnyk tez dopovidei Mizhnapodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Lviv, 17-18 travnia 2018poky). Lviv: HACB, pp. 5–6.
 3. Andrew Feickert (2020). The Army's Optionally Manned Fighting Vehicle (OMFV) Program: Background and Issues for Congress, *Congressional Research Service Report for Members and Committees of Congress*, updated July 13, 2020, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45519.pdf>
 4. Chepkov I.B., Bisyk S.P., Myroniuk O.Iu., Slyvynskiy O.A., Davydovskiy L.S., Myronov Ya.A. (2021). Aktualni problemy protyminnoho ta balistychnoho zakhystu boiovykh bronovanykh mashyn. *Naukovo-tekhnichni pidkhody do vyryshennia aktualnykh problem rozhdovoy sektoru bezpeky i oborony*. Pid zahalnoiu redaktsiieiu prof. Marchenka A. P.: kolektyvna monohrafiia. Kharkiv : Drukarnia MADRYD, S. 5–58 ISBN 978-617-7988-69-3
 5. Popkov B.O. (2015). Shliakhy pidvyshchennia zakhyshchenosti zrazkiv OVT sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy za dosvidom provedennia ATO. *Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki sukhoputnykh viisk*. Zbirnyk tez dopovidei Mizhnapodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Lviv, 14-15 travnia 2015 r.), pp.10.
 6. Budianu R.H., Kalinin O.M., Rusilo P.O. (2015). Obhruntuvannia taktyko-tekhnichnykh vymoh dlia rozrobky perspektyvnykh zrazkiv i podalshoi modernizatsii vitchyznianskykh lehkyykh bronovanykh avtomobiliv. *Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki sukhoputnykh viisk*. Zbirnyk tez dopovidei Mizhnapodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Lviv, 14-15 travnia 2015 r.), pp. 19. <https://web.archive.org/web/20200904110105/http://uos.ua/produktivna/voorozhenie-i-boepripasi/28-30-mm-avtomaticheskie-pushki-ztm-1-i-ztm-2>
 8. <https://uk.wikipedia.org/wiki/2%D0%9072>
 9. <https://mil.in.ua/uk/articles/30-mm-avtomatychna-garmata-2a42/>
 10. Bisyk S.P., Chepkov I.B., Vaskivskyy M.I., Davydovskiy L.S. (2019). Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA. Comparison and analysis. *Ozbroennia ta viiskova tekhnika*, no. 1, pp. 22–31.
 11. Davydovskiy L., Bisyk S., Hutov I., Lilov I., Kuprinenko A., Yalynskiy O. (2020). Optimization of the parameters of the energy absorbing element of the armored combat vehicle's seat in the conditions of explosive loading. *Trans Motauto World*, vol. 5, iss. 2, pp. 45–47.
 12. Vasyliiev A. Yu., Kutsenko S. V., Tkachuk M. A., Hrabovskiy A. V., Shatalov O. Ye., Voloshyna I. O., Tymofiienko V. V. (2021). Modeliuvannia dii udarno-khvylovoho navantazhennia na korpusni elementy transportnykh zasobiv. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»: Seriia: Mashynoznavstvo ta SAPR*, no. 1, pp. 5–16. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/231074>
 13. Bisyk S. (2022). Eksperymentalni doslidzhennia vybukhovoho navantazhennia maketa korpusu boiovoi bronovanoi mashyny. *III International Scientific and Practical Conference «Grundlagen der modernen wissenschaftlichen forschung»* August 12, 2022; Zurich, Switzerland DOI <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.23>
 14. Dushchenko V.V. (2018). *Systemy pidresoriuvannia viiskovykh huseynichnykh i kolisnykh mashyn: rozrakhunok ta syntezy: navch. posibnyk* Kharkiv: Panov A. M, 336 p.
 15. Hrabovskiy A. V., Tkachuk M. M., Vasyliiev A.Iu., Kutsenko S.V., Soprunov I.A. Modeliuvannia protsesiv i staniv yak osnova pidvyshchennia tekhnichnykh i taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk elementiv boiovykh bronovanykh mashyn. *Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki sukhoputnykh viisk*. Zbirnyk tez dopovidei Mizhnapodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Lviv, 17-18 travnia 2018 r.), pp.25.
 16. Dushchenko V.V., Vorontsov S.M., Naniivskiy R.A. (2020). Doslidzhennia vtrat enerhii u hidroamortyzatorakh pidvisky bronetransportera BTR-4 ta otsinka dotsilnosti zastosuvannia systemy yii rekuperatsii. *Viiskovo-tekhnichni zbirnyk Natsionalnoi akademii sukhoputnykh viisk imeni hetmana Petra Sahaidachnoho*, no. 23, pp. 40–49.
 17. Sokil B.I., Naniivskiy R.A., Hrubel M.H. (2013). Vlasni vertykalni kolyvannia korpusu avtomobilia z urakhuvanniam nelineinykh kharakterystyk pruzhnoi pidvisky. *Avtomobilnyi transport: naukovo-vyrob. Zhurnal*, no. 5 (235), pp. 15–18.
 18. Hrubel M.H., Krasiuk O.P., Sokil M.B., Naniivskiy R.A. (2014). Vertykalni kolyvannia pidresorenoi chastyny kolisnykh transportnykh zasobiv pid dieiui vypadkovykh zburen. *Naukovi notatky*: Zb. nauk. pr.; Lutskyi natsionalnyi tekhnichniy un-t, Lutsk, vol. 46, pp. 112–116.
 19. Hrubel M.H., Naniivskiy R.A., Sokil M.B. (2015). Rezonansni kolyvannia pidresorenoi chastyny kolisnykh transportnykh zasobiv pid chas rukhu vzdovzh vporiadkovanoi systemy nerivnostei. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, no. 1, pp. 155–161.
 20. Tkachuk P.P., Hrubel M.H., Sokil M.B., Naniivskiy R.A. (2016). Otsinka vplyvu nelineinykh sylovykh kharakterystyk pidvisky na efektyvnist vedennia vohniu boiovykh kolisnykh mashyn. *Viiskovo-tekhnichni zbirnyk Natsionalnoi akademii Cukhoputnykh viisk imeni hetmana Petra Sahaidachnoho*, no. 15, pp. 42–47.
 21. Malakei A.N. (2005). Matematycheskaia model

- динамических процессов в корпусе у ходовой системе легкого бронированной колесной боевой машины. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Mashynoznavstvo ta SAPR*. Kharkov: NTU «KhPI», no. 60, pp. 98–120.
22. Aleksandrov E.E., Vorontsov S.N., Karpenko V.A. [y dr.] (1999). Matematycheskoe modelirovaniye na ЭВМ sluchainoho mykroprofilya dorohy. *Vestnyk KhHPU*, Kharkov, vol. 60, pp. 36–39.
23. Melnyk B.A., Malakei A.N., Mukhyn D.S., Tanchenko A.Iu., Kokhanovskaia O.V. (2013). Matematycheskoe y chyslennoe modelirovaniye dynamycheskykh protsessov v elementakh lehkobronirovaniykh boevykh mashyn. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, no. 1(975), pp. 93–117.
24. Hrabovskiy A.V., Tkachuk M.A., Meretska K.O., Tkachuk M.M., Vasyliiev A.Iu., Bondarenko M.O., Skrypchenko N.B. (2018). Vplyv variivaniykh parametrov na vlasni kolyvannia bronekorpusiv lehkobronirovaniykh mashyn. *Mekhanika ta mashynobuduvannia: nauk.-tekh. zhurnal*. Kharkiv: NTU «KhPI», no. 1, pp. 65–74.
25. Tkachuk M.A., Nabokov A.V., Hrabovskiy A.V., Rikunov O.M., Tkachuk M.M., Marusenko S.I., Khrantsova I.Ia., Kokhanovska O.V., Prokopenko M.V., Loznyi O.S., Chala Yu.S. (2020). Analiz reaktsii testovykh prostorovykh konstruksii korpusiv lehkobronirovaniykh mashynna diiu serii impulsiv. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Mashynoznavstvo ta SAPR*, no.2, pp. 117–139.
26. Tanchenko A. Yu., Tkachuk M. A., Nabokov A. V., Hrabovskiy A. V., Malakei A. M. (2018). Neliniini kolyvannia elementiv lehkobronirovaniykh mashyn: modelni zadachi ta yakisni osoblyvosti. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Transportne mashynobuduvannia*. Kharkiv: NTU «KhPI», no. 29 (1305), pp. 108–128. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2018_29.pdf
27. Hrabovskiy A. V., Tkachuk M. M., Nabokov A. V., O.V. Lytvynenko, Tkachuk H. V., Rikunov O. M., Kutsenko S. V., Panchenko V. V., Kyslytsia D. V. (2021). Analiz reaktsii lehkobronirovaniykh mashyn na diiu poliimpulsnykh syl. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Mashynoznavstvo ta SAPR*, no. 1, pp. 47–52. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/232450>
28. Tkachuk M. A., Nabokov A. V., Hrabovskiy A. V., Rikunov O. M., Tkachuk M. M., Marusenko S. I., Khrantsova I. Ya., Kokhanovska O. V., Prokopenko M. V., Loznyi O. S., Chala Yu. S. (2020). Analiz reaktsii testovykh prostorovykh konstruksii korpusiv lehkobronirovaniykh mashyn na diiu serii impulsiv. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Mashynoznavstvo ta SAPR*, no. 2, pp. 117–139. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/217419>
29. Trotsenko V. V., Nabokov A. V., Hrabovskiy A. V., Tkachuk M. A., Khrantsova I. Ya., Rikunov O. M., Vasyliiev A. Yu., Koba A. M. (2022). Dynamika boiovykh moduliv lehkobronirovaniykh mashyn: modeliuvannia perekhidnykh ta ustalenykh protsesiv. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Mashynoznavstvo ta SAPR*, no. 2, pp. 127–135. <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/261668>

Надійшла (received) 02.03.2023

Відомості про авторів / About the Authors

Мормило Яков Михайлович / Morylo Yakov – PhD, директор ДП «Харківське конструкторське бюро із машинобудування ім. О.О. Морозова», м. Харків, Україна; e-mail: morozov@morozov.com.ua

Жадан Володимир Андрійович / Zhadan Volodymyr – кандидат технічних наук, генеральний конструктор ДП «Харківське конструкторське бюро із машинобудування ім. О.О. Морозова», м. Харків, Україна; e-mail: morozov@morozov.com.ua

Данильченко Вячеслав Петрович / Danylchenko Viacheslav – начальник управління з випробувань та ремонту ДП «Харківське конструкторське бюро із машинобудування ім. О.О. Морозова», м. Харків, Україна; e-mail: morozov@morozov.com.ua

Ткачук Микола Миколайович / Tkachuk Mykola M. – доктор технічних наук, старший дослідник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник кафедри інформаційних технологій та систем колісних і гусеничних машин імені О.О. Морозова; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4753-4267>; e-mail: m.tkachuk@tmm-sapr.org

Грбовський Андрій Володимирович / Grabovskiy Andrey – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-0572>; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Троценко Володимир Володимирович / Trotsenko Volodymyr – підполковник, Військовий інститут танкових військ при Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», ст. викладач кафедри «Експлуатація, озброєння та військова техніка», м. Харків, Україна; e-mail: tma@tmm-sapr.org

Набоків Анатолій Володимирович / Nabokov Anatoliy – аспірант, «Харківський політехнічний інститут», кафедра «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м. Харків, Україна, e-mail: avnnabokov@gmail.com

Рікунов Олег Миколайович / Rikunov Oleg – кандидат технічних наук, Національна академія Національної гвардії України, доцент кафедри «Технічного та тилового забезпечення», м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7581-7531>; e-mail: rikunov317@ukr.net

Ткачук Микола Анатолійович / Tkachuk Mykola A. – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>; e-mail: tma@tmm-sapr.org

Васильєв Антон Юрійович / Vasyliiev Anton – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8106-0950>, e-mail: Obrain.urchin@gmail.com

Деревянкін Роман Павлович / Dereviankin Roman – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент гр. МІТ-220м, м. Харків, Україна; e-mail: romanderevyankin@ukr.net

Коба Андрій Миколайович / Koba Andrii – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м. Харків, Україна; e-mail: a.skoba89@gmail.com