

*А.Ю. ВАСИЛЬЄВ, С.В. КУЦЕНКО, А.А. ПЕТРЕНКО, О.С. ЛЬОЗНИЙ*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ТЕСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ КОРПУСІВ БОЙОВИХ МАШИН ЛЕГКОЇ КАТЕГОРІЇ ЗА МАСОЮ**

У роботі наведений приклад проектного пошуку доданих значень до товщини бронелістів корпусу, що мають забезпечити необхідний рівня захищеності бойових машин легкої категорії за масою. Як інструмент оцінки рівня захищеності використовується поєднання методів тривимірних тактичних діаграм і числової статистики за низькою критеріїв захищеності, розглянутих в попередніх роботах. При виконанні розрахунків використана умовна модель БТР-80, з грубою розрахунковою сіткою, модель бронепробиття розраховується за формулою Жакоб де Марра. У роботі знайдено значення монотонного збільшення товщини, що забезпечує необхідний рівень захищеності. Обрані напрямки подальших досліджень.

*Ключові слова:* легкоброньована машина; броньова машина легкої категорії за масою; захищеність; тактична діаграма; бронепробиття

*А.Ю. ВАСИЛЬЕВ, С.В. КУЦЕНКО, А.А. ПЕТРЕНКО, О.С. ЛЕЗНИЙ*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСОВ БОЕВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ КАТЕГОРИИ ПО МАССЕ**

В работе проведен пример проектного поиска добавочного значения к толщинам бронелистов корпуса для обеспечения необходимого уровня защищенности боевой машины легкой категории по массе. Как инструмент оценки уровня защищенности выступает комбинация методов трехмерных тактических диаграмм и численной статистики по ряду критериев защищенности, рассмотренных в предыдущих работах. При выполнении расчетов использовалась условная модель БТР-80, с грубой расчетной сеткой, модель бронепробития рассчитывается по формулам Жакоб де Марра. В работе найдено значение монотонного утолщения, которое обеспечивает требуемый уровень защищенности. Обозначены направления дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* легкобронированная машина; бронированная машина легкой категории по массе; защищенность; тактическая диаграмма; бронепробитие

*A. VASILIEV, S. KUTSENKO, A. PETRENKO, O. LOZNYI*

### **ANALYSIS OF TEST DESIGN HULL PROTECTION FOR ARMoured FIGHTING VEHICLES OF LIGHTWEIGHT CATEGORY**

Purpose of this work is an example of a design exploration for an additional value to the body armor plates thickness was carried out to provide the necessary protection level for a light category combat vehicle. As a tool for assessing the protection level, a combination of three-dimensional tactical diagrams methods and numerical statistics based on a numbers of protection criteria, which was described at previous works. During calculations, the conventional model BTR-80 was used, with a rough computational mesh, the armor penetration model is calculated using the Jacob de Marr formula. The value of monotonous thickening, which provides the required protection level, is found at the work. Directions for further research are indicated.

*Keywords:* light armored vehicle; light weight armored fighting vehicle; ballistic protection; tactical diagram; armor penetration

**Вступ.** Як показав аналіз використання машин легкої категорії за масою безпосередньо в зонах конфлікту [1], рівень захищеності бойових машин легкої категорії за масою (БМ ЛКМ) на теперішній час не відповідає вимогам рівня озброєння, який використовується у воєнних конфліктах. Натепер бронекорпуси майже всіх машин легкої категорії за масою, що є легшими, ніж танк, не забезпечують необхідного рівня захисту навіть від стрілецької зброї. В умовах сучасних конфліктів моральне старіння проявляється у поступовому підвищенні рівня проблем, що не дають змоги виконувати не тільки нові задачі відповідно до сучасних доктрин, а й вихідні задачі, які ставились на етапах розробки. Найчастіше модернізація здійснюється шляхом установки більш потужних двигунів і озброєння, але для виконання тактичних задач широкого спектру на передній план виходять вимоги до захищеності машин.

Таким чином, надалі стає актуальною задача забезпечення високого рівня захищеності БМ ЛКМ, що має достатньою мірою відповідати сучасним вимогам та умовам бойового застосування, в тому числі тактичним прийомам та засобам ураження (озброєнню).

*Метою дослідження є аналіз та виявлення закономірностей у результатах розрахунків*

тривимірних тактичних діаграм на прикладі макету бойової машини легкої категорії типу БТР-80. Для виконання розрахунків використовується методика врахування геометрії (форми та розмірів) бойових машин легкої категорії за масою для побудови тактичних діаграм та спеціалізований програмно-модельний комплекс «Бузок» [2].

**Аналіз методів дослідження захищеності корпусів бойових машин легкої категорії за масою.** Досліджується та розвивається розроблений і описаний у попередніх роботах комплексний математичний апарат побудови тривимірних тактичних діаграм (ЗДТД) [1–2], у комплексі з підходами проектно-технологічного синтезу параметрів легкоброньованих машин [3–6]. Подібна задача є актуальною і такою, що розв'язується багатьма дослідниками і проектувальниками світу стосовно об'єктів бронетанкової техніки [7–11]. Проте слід зазначити, що здебільшого використовуються відмінні підходи [8–11], які засновані переважно на методах експериментальних досліджень і скінченно-елементних розрахунків [12–22]. При моделюванні високонелінійних швидкоминаючих процесів, які відбуваються під

© А.Ю. Васильєв, С.В. Куценко,  
А.А. Петренко, О.С. Льозний, 2020

час пробиття ударниками елементів броні, відбуваються процеси, характерні для деяких технологічних операцій – різання, штампування, кування тощо [23, 24]. Однак через відмінності кінцевих цілей подібного моделювання відносно завдань забезпечення необхідного рівня захищеності легкоброньованих машин, класифікації матеріалів, а також більшість налаштувань слід підбирати розрахунково-експериментальним методом [5, 11–22] для матеріалів, які використовуються у вітчизняному виробництві військових машин [25–26] і з урахуванням загальних підходів до підвищення захищеності додатковим бронюванням [27]. Слід зазначити, що синтез параметрів бронеелементів легкоброньованих машин можна здійснювати на базі експериментальних або чисельних досліджень, проте якщо мати на увазі високу вартість і тривалість таких досліджень, це – не завжди доцільно. Використання методу ЗДТД для оцінки параметрів захищеності є набагато більш раціональним і швидким заходом, однак вимагає наявності максимально точної інформації про характеристики бронематеріалів, бронепластин і бронепанелей. Таким чином, метод ЗДТД не замінює методи, засновані на експериментах і розрахунках, але доповнює їх і дає можливість використовувати більш ефективно. Метою цієї роботи як раз і є розвиток такого підходу на

прикладі тестової конструкції бронекорпусу.

**Розрахунки тактичних діаграм тестової конструкції бронекорпусу для БТР-80.** Для аналізу рівня захищеності ЛБМ від ураження стрілецькою зброєю, перш за все було здійснено низку розрахунків для повної моделі БТР-80, рис. 1.

Розрахунки були здійснені для певної точки на карті Yavoriv5 з координатами 50,05489 пд.ш. та 23,57933 сх.д. Ця точка знаходиться на лісовій дорозі на височині. Загалом були здійснені розрахунки для однієї точки, з кутом повороту 45°, і таким чином, було отримано вісім тактичних діаграм, що були розраховані «по колу». Ці розрахунки були здійснені для того, щоб наочно та візуально сприйняти той факт, як тактичні діаграми для кожного розрахунку відрізняються залежно від місцевості та орієнтації машини. На діаграмах позначені більш темні кольори в зонах, де ураження бронемашини є найбільшим (табл. 1, рис. 2).

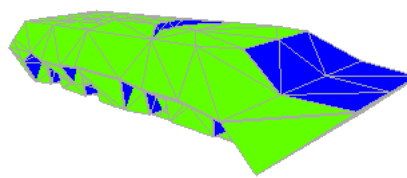


Рисунок 1 – Модель БТР-80, що була використана для розрахунків

Таблиця 1 – Діаграми ураження БТР-80 для окремих калібрів з різним кутом повороту

№ пп.	Кут повороту, °	Калібр, мм		
		14.5	12.7	7.62 (x 3)
1	0			
2	45			
3	90			
4	135			

№ пп.	Кут повороту, °	Калібр, мм		
		14.5	12.7	7.62(x 3)
5	180			
6	225			
7	270			
8	315			

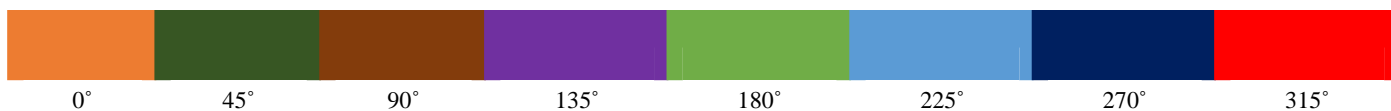


Рисунок 2 – Значення кольорів для кожного кута

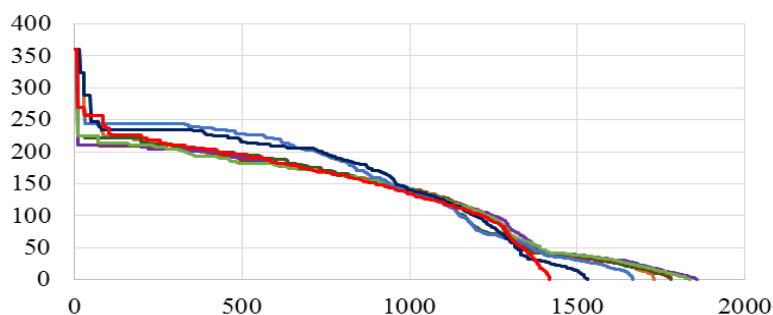


Рисунок 3 – Графік значення максимальної щільності ймовірності ураження

У ході розрахунків були отримані діаграми, котрі використовуємо для перерахунку значення максимальної щільності ймовірності ураження на дистанції більше 200 м (скорочено –  $P_m(r)$ ).

Згідно до задачі аналізуємо у графіках лише калібр 12.7 мм. Отримуємо наступні значення, які потім підсумовуємо в один графік (рис. 3), де для кожного кута маємо наступний колір, вказаний на рис. 2.

Виходячи з графіку, можна побачити, що для

дистанції у 200 м,  $P_m(r)$  варіюється в межах 335–350 м, а припустиме значення ймовірності становить 25%, а саме 90° (з 360°) та досягається лише на відстані у 1500–1600 м. Таким чином, захищеність цієї машини є недостатньою. Це значить, що постає завдання збільшити рівень захищеності шляхом зміни товщі бронепластин.

Для демонстрації працездатності методу здійснено проектний синтез усіх бронепластин машини. Для цього попередньо було розраховано

захищеність при базовій товщині. Передня частина з дистанції в 200 м не має пробиватися кулею зовсім, тому  $90^\circ P_m(r)$  ділимо по  $30^\circ$  на бокові поверхні та задню частину (з огляду того, що у міських умовах противник може перебувати де завгодно відносно БТР).

Для того, щоб надалі обрати оптимальний варіант, наступним кроком буде розрахунок цієї машини зі зміненою товщиною усіх пластин. Розрахунок здійснювався для кожного кута, але для загального розуміння, для прикладу, будуть показані тактичні діаграми різних товщин з однаковим кутом напрямку  $0^\circ$ .

Результати розрахунків показані у табл. 2. На

Таблиця 2 – Діаграми ураження БТР-80 із пластинами різної товщини (відносно базової) для калібрів 14.5 мм та 12.7 мм

Товщина пластини (відносно базової), мм	Калібр, мм		Товщина пластини (відносно базової), мм	Калібр, мм	
	14.5	12.7		14.5	12.7
+ 1			+ 2		
+ 3			+ 4		
+ 5			+ 6		
+ 7					

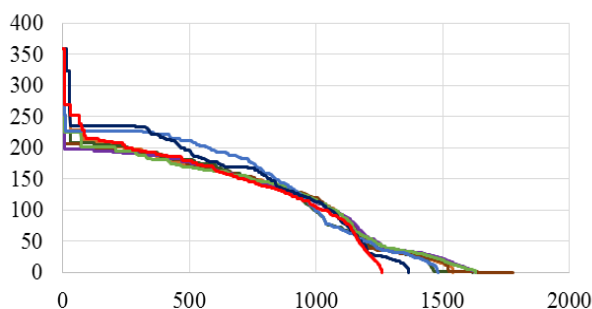


Рисунок 4 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 1 мм

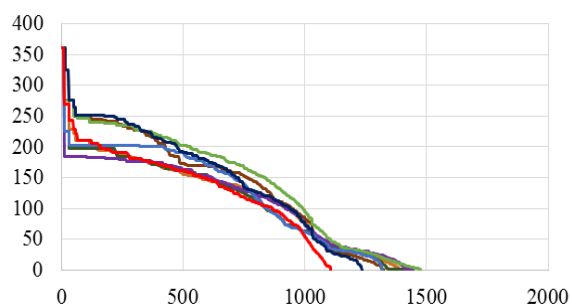
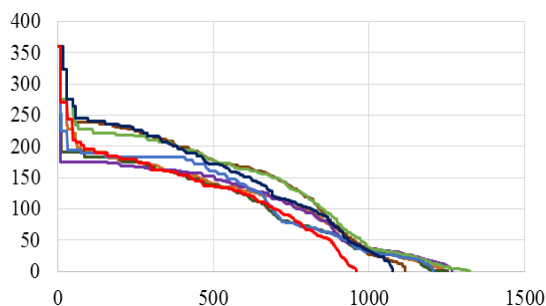
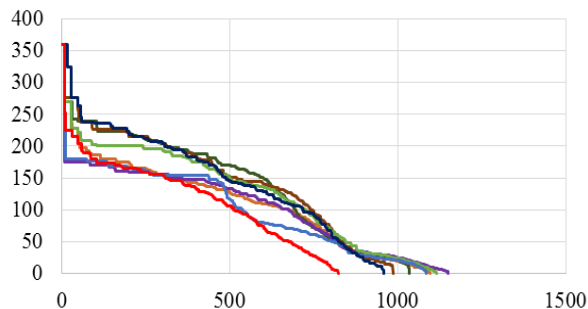
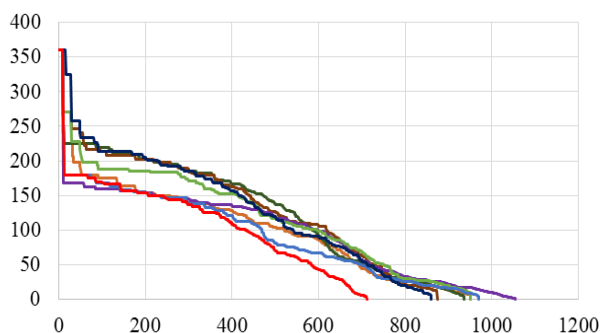
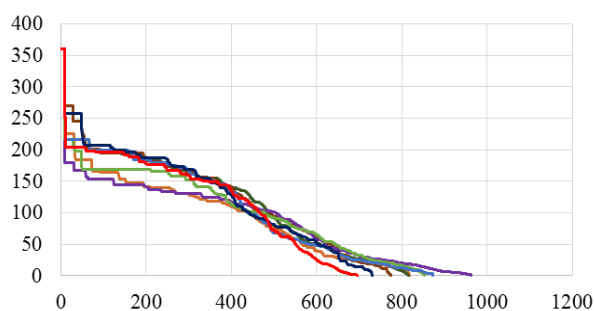
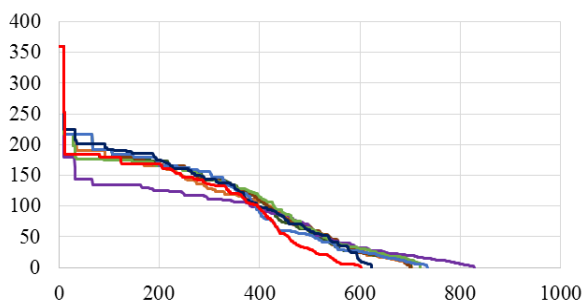


Рисунок 5 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 2 мм

Рисунок 6 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 3 ммРисунок 7 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 4 ммРисунок 8 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 5 ммРисунок 9 – Графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 6 ммРисунок 10 – графік  $P_m(r)$  з товщиною пластин, що дорівнює базовій товщині + 7 мм

При аналізі завдання з урахуванням величини площі можливого ураження корпусу бронемашини, можна відзначити більш реальні розподіли параметрів захищеності, що дає можливість у ході синтезу отримати більш раціональну і легку конструкцію. В той же час, виходячи з результатів розрахунків та графіків, можна побачити, що забезпечення необхідного рівня захищеності для цієї машини (тестова конструкція бронекорпуса) досягається лише на відстані більше 400 м, а на дистанції в 200 м – різниця мінімальна і становить не більше 10%.

Таким чином, для задач міського бою можна використовувати варіант без урахування "градієнта" товщин панелей, що дає можливість вирішувати задачі з більшою швидкістю.

#### Список літератури

1. Шаталов О. Є., Дудар Є. Є., Васильєв А. Ю. Комплексна математична модель аналізу захищеності бойових машин

легкої категорії за масою від стрілецької зброї з урахуванням геометрії машини, рельєфу місцевості й додаткового бронювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Машинознавство та САПР = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Engineering and CAD.* Харків : НТУ «ХПІ», 2019. № 1. С. 93–109.

2. Дудар Є. Є., Шаталов О. Є., Васильєв А. Ю., Куценко С. В. Комплексна математична модель побудови тривимірних тактичних діаграм на місцевості та її програмна реалізація. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Машинознавство та САПР = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Engineering and CAD.* Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 7 (1283). С. 25–33
3. Хлань А.В., А.Н. Малакей, Н.А. Ткачук, ..., Набоков А.В. Проектно-технологически-производственное обеспечение тактико-технических характеристик боевых бронированных машин: подходы, модели и методы. *Механіка та машинобудування.* 2017. №1. С. 156–182.
4. Ткачук Н. А., Климов В. Ф., ..., Набоков А. В. Компьютерный программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов объектов бронетанковой техники. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Машинознавство та САПР = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Engineering and CAD.* Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 12 (1234). С. 96–109.
5. Васильєв А. Ю., Танченко А. Ю., Ткачук М. М., Скріпченко Н. Б., Лісовол Я. М. Обгрунтування структури та параметрів бронекорпусів легкоброньованих машин за критеріями захищеності. *Наука: безпека країни та розвиток військово-промислового комплексу. Інформаційно-комунікативний захід.* Київ: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2016. С. 32–36.
6. Васильєв А. Ю., Танченко А. Ю., Ткачук М. М., Скріпченко Н. Б., Лісовол Я. М. Обгрунтування структури та параметрів бронекорпусів легкоброньованих машин за критеріями захищеності шляхом комп'ютерного моделювання процесів і станів при дії засобів ураження. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Машинознавство та САПР = Bulletin of the National*

- Technical University "KhPI". Ser. : Engineering and CAD. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. №39 (1211). С. 39–44.
7. Sundeep Desai S., Varghese V., Nene M.J. Contoller Area Network for Battlefield-of-Things. In: Jain V., Chaudhary G., Taplamacioglu M., Agarwal M. (eds) *Advances in Data Sciences, Security and Applications. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020. vol 612. Springer, Singapore [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6_16)
  8. El Messiry, M. *Protective Armor Engineering Design*. New York: Apple Academic Press, 2020, 348p <https://doi.org/10.1201/9780429057236>
  9. Hazell, P. *Armour. Materials, Theory, and Design*. Boca Raton: CRC Press, 2016, 395p. <https://doi.org/10.1201/b18683>
  10. Design Configuration of a Generation Next Main Battle Tank for Future Combat / Rahman, A. Hafeezur; Malik Shaik, Ameer; Kumar, J. Rajesh; Balaguru, V.; Sivakumar, P. *Defence Science Journal*. 2017. Vol. 67. Issue 4, pp. 343-353.
  11. Бісик С. П., Бойко Г. О. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин. *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2017. № 3 (3). С. 20–24.
  12. Lenihan, D., Ronan, W., O'Donoghue, P. E., & Leen, S. B. (2019). A review of the integrity of metallic vehicle armour to projectile attack. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(1), 73–94. <https://doi.org/10.1177/1464420718759704>
  13. Subramani K., Vinoth kannan I. (2019) Numerical Simulation of High Velocity Impact on Composite Targets Using Advanced Computational Techniques. In: Chandrasekhar U., Yang L.J., Gowthaman S. (eds) *Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018). Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4\\_44](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4_44)
  14. Liptak P. Delimitations heading of the special technology from the actual reference view. *Интеллектуальные системы в производстве*. 2009. № 2. С. 223–228.
  15. Banerjee A. Numerical Simulation of Ballistic Impact of Armour Steel Plate by Typical Armour Piercing Projectile / A. Banerjee, S. Dhar, S. Acharya, D. Datta, N. Nayak// *Procedia Engineering*, Volume 173. 2017. P 347-354, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.028>.
  16. Lin T. Stress Improved Ballistic Armour. *The unsw canberra adfa journal of undergraduate engineering research*. 2018. Vol 11, no. 2, pp. 1–13 <https://ojs.unsw.adfa.edu.au/index.php/juer/article/view/1151/776>.
  17. Сливінський О. А., Бісик С. П., Чернозубенко О. В. Здатність до зварювання та службові характеристики броньованих сталей іноземного виробництва. *Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки : IV Міжн. наук.-прак. конф., 12–13 жовт. 2016 р. : тези доповідей*. К., 2016. С. 167–169.
  18. Сливінський О. А., Бісик С. П., Чернозубенко О. В. Структура та властивості зварних з'єднань броньованих сталей заводного виробництва. *Технологические системы*. 2016. № 3 (76). С. 103–112.
  19. Сливінський О. А., Коваленко В. Л., Перепічай А. О. Вплив зварювального тепла на знеміцнення металу зони термічного впливу броньованої сталі. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ : Міжн. наук.-техн. конф., 11–12 трав. 2017 р. : зб. тез доп.* Львів : НАСВ, 2017. С. 59–60.
  20. Бісик С. П., Чернозубенко О. В., Сливінський О. А., Схабицький В. Р., Корбач В. Г. Порівняння ефективності підходів до числового моделювання пробиття ударником гомогенної перешкоди. *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2017. № 3 (15). С. 17–22.
  21. Бісик С. П., Чернозубенко О. В., Схабицький В. Р., Сливінський О. А., Ханоков В. А. Числове моделювання пробиття гомогенної перешкоди ударниками з різною формою головної частини. *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2017. № 2 (14). С. 17–22.
  22. Kravchuk R., Katok O., Kotliarenko A., Shvets V., Bisyk S., Slyvinskyi O., Voroniuk A., Vaskivskyi M. (2019) Vyznachennia kharakterystyk mekhanichnykh vlastyvoستي lehovanoi stali 30Kh2SN2MFA za rezultatamy instrumentovano ho indentuvannia [Determination of mechanical properties of alloy steel 30Kh2SN2MFA according to the instrumented indentation results]. *Scientific Journal of TNTU (Term.)*, vol. 94, no. 2, pp. 28–36 [in Ukrainian].
  23. Криворучко Д. В., Залога В. А. *Моделирование процессов резания методом конечных элементов : методологические основы : моногр. / под общ. ред. В. А. Залого*. Сумы : Университетская книга, 2012. 496 с.
  24. Криворучко Д. В., Залога В. О., Корбач В. Г. *Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів*. Суми : Вид. СумДУ, 2010. 209 с.
  25. MIL-DTL-46100E «Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness».
  26. *Bending ARMOX & CNC bending*. URL: <http://www.armoueng.com/en/bending.php>.
  27. Васильев А.Ю., Шаталов О.Е., Дудар Е.Е. Обзор подходов дополнительного бронирования легкобронированных машин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Машинознавство та САПР = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Engineering and CAD*. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. №31 (1140). С. 38–45.

## References (transliterated)

1. Shatalov O. Ye., Dudar Ye. Ye., Vasylyev A. Yu. Kompleksna matematychna model' analizu zaxy'shhenosti bojovy'x mashyn legkoyi kategoriyi za masovy vid strilecz'koyi zbroyi z uraxuvanniam geometriyi mashyn', rel'yefu miscevoli j dodatkovogo bronyuvannya. *Visnyk Nacional'nogo texnichnogo universy'tetu «KhPI». Ser. : Mashynoznavstvo ta SAPR = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2019, no. 1, pp. 93–109.
2. Dudar Ye. Ye., Shatalov O. Ye., Vasylyev A. Yu., Kucenko S. V. Kompleksna matematychna model' pobudovy try'vy' mirny'x takt'ychny'x diagram na miscevoli ta yiyi programna realizaciya. *Visnyk Nacional'nogo texnichnogo universy'tetu «KhPI». Ser. : Mashynoznavstvo ta SAPR = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2018, no. 7 (1283), pp. 25–33.
3. Xlan' A.V., A.N. Malakej, N.A. Tkachuk, ..., A.V. Nabokov Proektno-texnolog'y chesky'-proy'zvodstvennoe obespecheny'e takt'yko-texny'chesky'x kharaktery'styk boevny'x bronyrovanny'x mashyn: podhody, modely y' metody. *Mexanika ta mashynobuduvannya*. 2017, no. 1, pp. 156–182.
4. Tkachuk N. A., Kly'mov V. F., ..., Nabokov A. V. Komp'yuternyj programmno-apparatnyj kompleks dlya anal'y za y' sy'nteza modelej elementov ob'ektov bronetankovoy texny'ky'. *Visnyk Nacional'nogo texnichnogo universy'tetu «KhPI». Ser. : Mashynoznavstvo ta SAPR = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2017, no. 12 (1234), pp. 96–109.
5. Vasylyev A. Yu., Tanchenko A. Yu., Tkachuk M. M., Skripchenko N. B., Lisovol Ya. M. Obg'runtuvannya struktury ta parametriv bronekorpusiv legkobron'ovany'x mashyn za kry'teriyamy zaxy'shhenosti. *Nauka: bezpeka krayiny ta rozvy'tok vijs'kovo-promy'slovogo kompleksu. Informacijno-komunikatyvny'j zaxid*. Ky'yiv: TOV «Mizhnarodny'j vy'stavkovy'j centr», 2016, pp. 32–36.
6. Vasylyev A. Yu., Tanchenko A. Yu., Tkachuk M. M., Skripchenko N. B., Lisovol Ya. M. Obg'runtuvannya struktury ta parametriv bronekorpusiv legkobron'ovany'x mashyn za kry'teriyamy zaxy'shhenosti shlyahom komp'yuternogo modelyuvannya procesiv i staniv pry'diyi zasobiv urazhennya. *Visnyk Nacional'nogo texnichnogo universy'tetu «KhPI». Ser.: Mashynoznavstvo ta SAPR = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2016, no. 39 (1211), pp. 39–44.
7. Sundeep Desai S., Varghese V., Nene M.J. Contoller Area Network for Battlefield-of-Things. In: Jain V., Chaudhary G., Taplamacioglu M., Agarwal M. (eds) *Advances in Data Sciences, Security and Applications. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020. vol 612. Springer, Singapore [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6_16)

8. El Messiry, M. *Protective Armor Engineering Design*. New York: Apple Academic Press, 2020, 348p <https://doi.org/10.1201/9780429057236>.
9. Hazell, P. *Armour. Materials, Theory, and Design*. Boca Raton: CRC Press, 2016, 395p. <https://doi.org/10.1201/b18683>.
10. Design Configuration of a Generation Next Main Battle Tank for Future Combat / Rahman, A. Hafeezur; Malik Shaik, Ameer; Kumar, J. Rajesh; Balaguru, V.; Sivakumar, P. *Defence Science Journal*. 2017. Vol. 67. Issue 4, pp. 343-353.
11. Bisyk S. P., Bojko G. O. Deyaki dani suchasnogo stanu j tendencij rozvytku kolisnyx bojovyx bronovanyx mashyn. Ozbroyennya ta vijskova tekhnika : shhokv. nauk.-texn. zhurn. CzNDI OVT ZSU. 2014, no. 3 (3), pp. 20–24.
12. Lenihan, D., Ronan, W., O'Donoghue, P. E., & Leen, S. B. (2019). A review of the integrity of metallic vehicle armour to projectile attack. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(1), 73–94. <https://doi.org/10.1177/1464420718759704>.
13. Subramani K., Vinoth kannan I. (2019) Numerical Simulation of High Velocity Impact on Composite Targets Using Advanced Computational Techniques. In: Chandrasekhar U., Yang L.J., Gowthaman S. (eds) *Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018)*. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore DOI[https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4\\_44](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4_44).
14. Liptak P. Delimitations heading of the special technology from the actual reference view. *Интеллектуальные системы в производстве*. 2009, no. 2, pp. 223–228.
15. Banerjee A. Numerical Simulation of Ballistic Impact of Armour Steel Plate by Typical Armour Piercing Projectile / A. Banerjee, S. Dhar, S. Acharyya, D. Datta, N. Nayak// *Procedia Engineering*, Volume 173. 2017. P 347-354, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.028>.
16. Lin T. Stress Improved Ballistic Armour. *The unsw canberra at adfa journal of undergraduate engineering research*. 2018. Vol 11, no. 2, pp. 1–13 <https://ojs.unsw.adfa.edu.au/index.php/juer/article/view/1151/776>.
17. Slyvins'kyj O. A., Bisyk S. P., Chernozubenko O. V. Zdatnist' do zvaryuvannya ta sluzhbovi karakterystyky bronovyx stalej inozemnogo vyrobnyctva. *Problemy koordynatsiy voyenno-tekhnichnoyi ta oboronno-promy slovyoi polityky v Ukraini. Perspektyvy rozvytku ozbroynnyia ta vijskovoyi tekhniky : IV Mizhn. nauk.-prak. konf., 12–13 zhovt. 2016 r. : tezy dopovidej*. K., 2016, pp. 167–169.
18. Slyvins'kyj O. A., Bisyk S. P., Chernozubenko O. V. Struktura ta vlastyvoli zvarnyx z'yednan' bronovyx stalej zakordonnogo vyrobnyctva. *Technology chesky'e systemj*. 2016, no. 3 (76), pp. 103–112.
19. Slyvins'kyj O. A., Kovalenko V. L., Perepichaj A. O. Vplyv zvaryval'nogo tepla na znemichnennya metalu zony termichnogo vplyvu bronovoyi stali. *Perspektyvy rozvytku ozbroynnyia ta vijskovoyi tekhniky Suxoputnyx vijsk : Mizhn. nauk.-texn. konf., 11–12 trav. 2017 r. : zb. tez dop.* L'viv : NASV, 2017, pp. 59–60.
20. Bisyk S. P., Chernozubenko O. V., Slyvins'kyj O. A., Sxabycz'kyj V. R., Korbach V. G. Porivnyannya efektyvnosti pidxodiv do chy'slovogo modelyuvannya probyttya udarnykom gomogennoyi pereshkody. *Ozbroynnyia ta vijskova tekhnika : shhokv. nauk.-texn. zhurn. / CzNDI OVT ZSU*. 2017, no. 3 (15), pp. 17–22.
21. Bisyk S. P., Chernozubenko O. V., Sxabycz'kyj V. R., Slyvins'kyj O. A., Xanyukov V. A. Chy'slove modelyuvannya probyttya gomogennoyi pereshkody udarnykamy z riznoyu formoyu golovnoyi chasty'ny. *Ozbroynnyia ta vijskova tekhnika : shhokv. nauk.-texn. zhurn. / CzNDI OVT ZSU*. 2017, no. 2 (14), pp. 17–22.
22. Kravchuk R., Katok O., Kotliarenko A., Shvets V., Bisyk S., Slyvinskyi O., Voroniuk A., Vaskivskyi M. (2019) Vyznachennia kharakterystyk mekhanichnykh vlastyvoitei lehovanoi stali 30Kh2SN2MFA za rezultatamy instrumentovanoho indentuvannya [Determination of mechanical properties of alloy steel 30Kh2SN2MFA according to the instrumented indentation results]. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 94, no. 2, pp. 28–36 [in Ukrainian].
23. Kryvoruchko D. V., Zaloga V. A. Modelyrovany'e processov rezanyia metodom konechnykh elementov : metodology chesky'e osnovy : monogr. / pod obshh. red. V. A. Zalogy. Sumy : Unyversytetskaya knyga, 2012. 496 p.
24. Kryvoruchko D. V., Zaloga V. O., Korbach V. G. Osnovy 3D-modelyuvannya procesiv mexanichnoyi obrobky metodom skinchennyx elementiv. Sumy : Vy'd. SumDU, 2010. 209 s. *MIL-DTL-46100E «Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness»*.
25. *MIL-DTL-46100E «Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness»*.
26. *Bending ARMOX & CNC bending*. URL: <http://www.armouren.com/en/bending.php>.
27. Vasy'ev A.Yu., Shatalov O.E., Dudar E.E. Obzor podxodov dopolnytel'nogo bronirovannya legkobronovannyx mashyn. *Visnyk Nacional'nogo tekhnichnogo universytetu «KhPI»*. Ser. : *Mashynoznavstvo ta SAPR = Bulletin of the National Technical University «KhPI»*. Ser. : *Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2015, no. 31 (1140), pp. 38–45.

*Надійшла (received) 29.04.2020*

#### *Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Васильєв Антон Юрійович (Васильев Антон Юрьевич, Vasiliev 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: <http://orcid.org/0000-0001-8106-0950>; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

**Куценко Сергій Володимирович (Куценко Сергей Владимирович, Kutsenko Serhii)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9053-808X>; e-mail: SKutsenko@tmm-sapr.org

**Петренко Аліна Андріївна (Петренко Алина Андреевна, Petrenko Alina)** – студентка гр. МІТМ219М, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м Харків, Україна; e-mail: s1510@tmm-sapr.org

**Льозний Олег Сергійович (Лезный Олег Сергійович, Loznyi Oleg)** – студент гр. МІТ87Б(ТМ), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м Харків, Україна; e-mail: s1708@tmm-sapr.org