

**ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛУ УРАЖАЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА КІНЕТИЧНОЇ ЗБРОЇ
НЕСМЕРТЕЛЬНОЇ ДІЇ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ У М'ЯЗОВІ ТКАНИНИ ТІЛА**

Досліджено вплив твердості уражаючого елемента кінетичної зброї несмертельної дії на глибину його проникнення у м'язові тканини тіла. Отримано емпіричну залежність глибини проникнення у ціль уражаючого елемента від його твердості та швидкості зустрічі з цілью для кінетичної зброї несмертельної дії. Зазначена залежність дає змогу прогнозувати глибину проникнення у ціль уражаючого елемента та оцінювати безпечність кінетичної зброї несмертельної дії для об'єкта її застосування.

Ключові слова: *вогнепальна зброя, уражаючий елемент, твердість уражаючого елемента, термінальна балістика, імітатор цілі, кінетична зброя несмертельної дії.*

Постановка проблеми. Під час балістичного проектування кінетичної зброї несмертельної дії (КЗНД) правильне визначення характеристик уражаючого елемента (УЕ) при зустрічі з цілью є надзвичайно важливим. При цьому, з одного боку, необхідно забезпечити достатню дію УЕ по цілі, а з іншого – не завдати травм, що можуть спричинити летальний наслідок застосування КЗНД. Отже, слід визначити такий перелік характеристик уражаючих елементів та їхніх значень у момент зустрічі з цілью, які б задовольняли зазначену вище умову. Не поодинокі випадки отримання незадовільних результатів застосування КЗНД (спричинення смертельних поранень або недостатнього впливу на ціль [1, 2, 3]) свідчать про недосконалість науково-методичного апарату формування вимог до такої зброї, зокрема викликає сумнів повнота переліку критеріїв, які достатньо надійно гарантують безпечність застосування КЗНД. З метою уточнення переліку показників критеріїв дії уражаючих елементів по цілі необхідно дослідити вплив на результати застосування зброї додаткових чинників, зокрема твердості УЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні достатніми критеріями безпечності дії уражаючого елемента по цілі вважають граничні значення кінетичної та питомої кінетичної енергій УЕ. Вважають, що обмеження питомої кінетичної енергії значенням у $0,5 \text{ Дж/мм}^2$ дає змогу уникнути проникаючих поранень, а отже, мінімізувати ймовірність смертельного наслідку дії УЕ по цілі.

Так, у стандарті [4] зазначається, що достатньою уражаючою здатністю володіють снаряди, що мають на мінімально дозволеній відстані використання величину питомої кінетичної енергії, яка дорівнює або більша за $0,5 \text{ Дж/мм}^2$. У працях [5, 6] наголошується, що перевищення питомої кінетичної енергії уражаючого елемента значенням у $0,5 \text{ Дж/мм}^2$ є підставою для віднесення патронів до категорії боєприпасів. Про гранично допустиме значення питомої кінетичної енергії УЕ, що дорівнює $0,5 \text{ Дж/мм}^2$, йдеться у статті [7].

Стосовно регламентації кінетичної енергії УЕ ситуація менш однозначна. Наприклад, у статті [8] в алгоритмі обґрунтування раціональних значень технічних характеристик кінетичної зброї несмертельної дії передбачається забезпечення кінетичної енергії УЕ в межах 65–80 Дж.

Так, у працях [9, 10] розглянуто закономірності утворення вогнепальних пошкоджень, морфологію вогнепальної рани у діапазоні кінетичної енергії 35–100 Дж, що непрямо свідчить про межі діапазону значень енергії. У статті [11] зазначається, що для ушкодження тканин достатньо кінетичної енергії у 70–100 Дж.

Питання розроблення КЗНД порушуються у публікаціях [12, 13, 14], але у цих джерелах не приділено уваги питанням визначення граничних величин енергетичних характеристик УЕ.

Отже, можна стверджувати про брак єдиної думки стосовно енергетичних характеристик уражаючих елементів, що є достатніми та не надмірними для кінетичної зброї несмертельної дії.

Іншим способом регламентації характеристик УЕ КЗНД є обмеження глибини його проникнення у м'язові тканини тіла цілі. Так, у виданнях [15, 16] запропоновано запровадження альтернативного критерію оцінювання уражаючих властивостей куль травматичної дії на основі розрахунків довжини спричиненого нею ранового каналу. Проте такий спосіб є прийнятним під час оцінювання пошкоджень, які є результатом реального застосування зброї, але не є придатним для прогнозування пошкоджень на етапі проектування КЗНД. У зв'язку з цим для формування вимог до технічних характеристик КЗНД, зокрема енергетичних та балістичних характеристик, у статті [17] авторами

досліджено вплив балістичних характеристик уражаючого елемента кінетичної зброї несмертельної дії на глибину його проникнення у м'язові тканини тіла. Унаслідок цього отримано емпіричну залежність глибини проникнення у ціль УЕ від його кінетичної енергії та швидкості зустрічі з цілью для кінетичної зброї несмертельної дії. Водночас у ході досліджень помічено, що під час використання для виготовлення УЕ гіперпружних матеріалів на глибину проникнення у м'язові тканини тіла останніх впливає також твердість матеріалу.

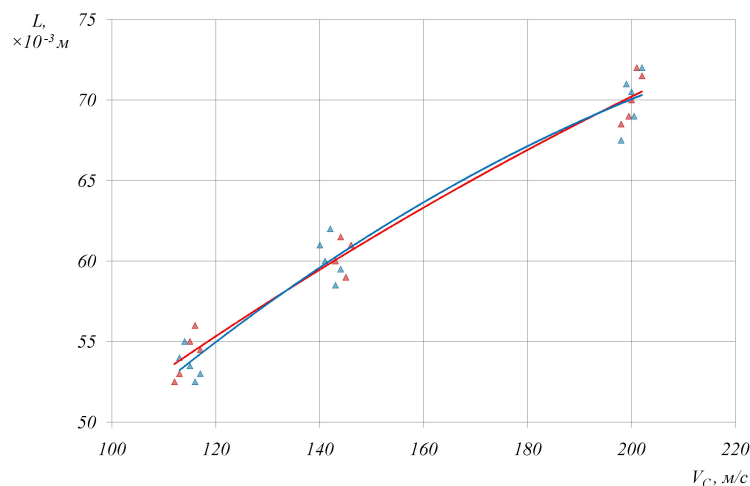
Таким чином, з проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що для прогнозування результатів дії уражаючих елементів по цілі недостатньо спиратися лише на його енергетичні та швидкісні характеристики. Також необхідно враховувати твердість матеріалу, з якого виготовлений УЕ. При цьому піддаються уточненню допустимі значення енергетичних та швидкісних характеристик уражаючого елемента, які будуть пов'язані з його твердістю під час визначення глибини проникнення УЕ у ціль.

Отже, є проблемна ситуація, що полягає у суперечності між необхідністю прогнозування дії УЕ по цілі та браком моделей, які враховують вплив твердості уражаючого елемента кінетичної зброї несмертельної дії на глибину його проникнення у м'язові тканини тіла.

Метою статті є отримання залежності глибини проникнення уражаючого елемента кінетичної зброї несмертельної дії у м'язові тканини тіла від його твердості.

Виклад основного матеріалу. Через складність математичного моделювання ударної взаємодії тіл, а також унаслідок широкого застосування у відповідних математичних моделях емпіричних коефіцієнтів для дослідження впливу твердості уражаючих елементів на глибину проникнення у м'язові тканини тіла прийнято рішення надати перевагу емпіричним методам. Спираючись на досвід проведення подібних досліджень у Національній академії Національної гвардії України [17, 18, 19], для експериментальних досліджень було використано такі обладнання і матеріали: пневматична балістична установка [19] для надання УЕ необхідної швидкості руху; пластилінові імітатори цілі (ПЩ) з балістичного пластиліну марки «Beschussmasse» масою 6 кг; гумові УЕ калібром 20 мм, масою 0,005–0,015 кг та твердістю за Шором А 30 од., 50 од. та 80 од.; аналоговий твердомір ТШ-А, який дає можливість вимірювати твердість м'яких полімерних матеріалів за Шором А; цифровий електронний термометр Testo 720 для контролю температури ПЩ; оптоелектронні комплекси XR2000 Chronograf для вимірювання швидкості руху УЕ; штангенциркуль з глибиноміром для визначення глибини проникнення УЕ в ціль.

У попередніх дослідженнях встановлено, що відповідність глибини проникнення УЕ в ПЩ глибині проникнення у м'язові тканини тіла досягається за температури ПЩ 21°C [19]. Результати попередніх досліджень для УЕ з твердістю Sh A = 80 од., яка є найпоширенішою, наведено на рис. 1. Червоні маркери відповідають глибині проникнення УЕ у м'язову тканину біологічного імітатора цілі (фрагмент черевини порося породи «велика біла»), а сині – у пластиліновий імітатор цілі. Червона та синя лінії є графіками апроксимуючих функцій відповідно для першого та другого випадків. Ураховуючи достатню збіжність наведених залежностей подальші дослідження проведено із застосуванням імітатора цілі з балістичного пластиліну «Beschussmasse», температура якого підтримувалася на рівні 21°C.



- біологічний імітатор цілі;
- імітатор цілі з балістичного пластиліну

Рисунок 1 – Залежності глибини проникнення уражаючого елемента від швидкості зустрічі з цілью для уражаючого елемента твердістю Sh A = 80 од.

Відповідно до розробленого плану експерименту по пластиліновому імітатору цілі здійснювалися постріли із пневматичної установки елементами, що уражають, які мали твердість $Sh A = 30$ од., $Sh A = 50$ од. та $Sh A = 80$ од. Варіювання швидкості зустрічі уражаючого елемента з ціллю при постійній кінетичній енергії забезпечувалося унаслідок зміни маси УЕ.

Отримані емпіричні дані оброблено загальноприйнятими методами математичної статистики [20], у результаті чого отримано залежність глибини проникнення уражаючого елемента в цілю L від швидкості УЕ в момент зустрічі з ціллю V_C для зазначених вище твердостей матеріалу.

Глибина проникнення УЕ в цілю є функцією його кінетичної енергії, тому для забезпечення порівнюваності результатів енергія УЕ була зафіксована на рівні 100 Дж. Аналіз наявних зразків КЗНД [11, 21, 22] показав, що таке значення можна вважати максимальним з погляду на безпечність застосування КЗНД незалежно від інших параметрів УЕ.

На рисунку 2 маркерами позначено вихідні емпіричні дані, що отримані під час проведення експериментів, а лініями – результати апроксимації зазначених даних. Вказані дані добре апроксимуються логарифмічною функцією (1) – (3). Значення коефіцієнта детермінації для отриманих залежностей не нижче 0,96, що свідчить про достатньо тісний зв'язок між вихідними статистичними даними та їх апроксимуючими функціями. Винятком є залежність для твердості УЕ $Sh A = 30$ од., для якої значення коефіцієнта детермінації дорівнює 0,67. Це пояснюється незначним впливом швидкості УЕ на глибину його проникнення для надто м'яких матеріалів.

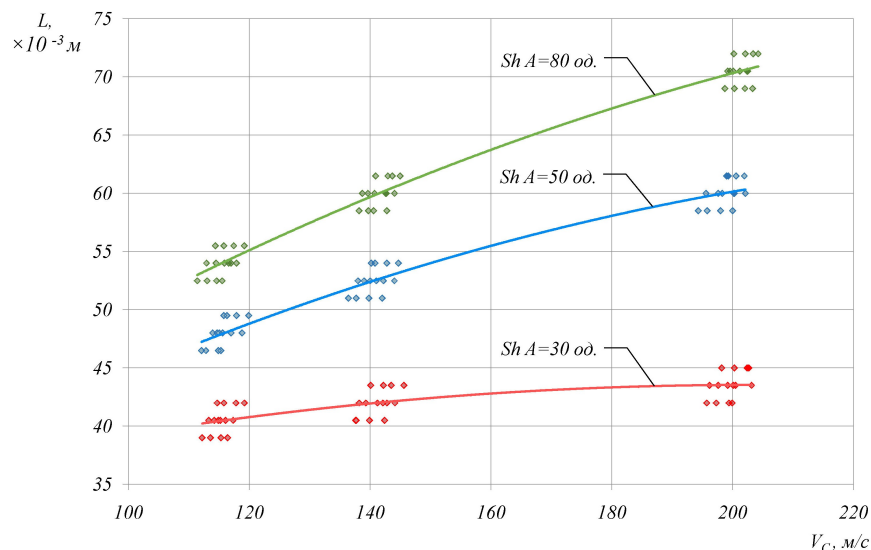


Рисунок 2 – Залежності глибини проникнення у цілю уражаючого елемента від швидкості зустрічі з ціллю для різних твердостей матеріалу

$$L_{80} = 29,69 \ln(V_C) - 87,05, \quad (1)$$

$$L_{50} = 22,21 \ln(V_C) - 57,45, \quad (2)$$

$$L_{30} = 5,51 \ln(V_C) - 14,49. \quad (3)$$

Отримані залежності можна подати інакше: як залежності глибини проникнення у цілю уражаючого елемента від твердості матеріалу для різних швидкостей зустрічі з ціллю (рис. 3) або як залежність глибини проникнення у цілю уражаючого елемента від його твердості матеріалу та швидкості зустрічі з ціллю (рис. 4).

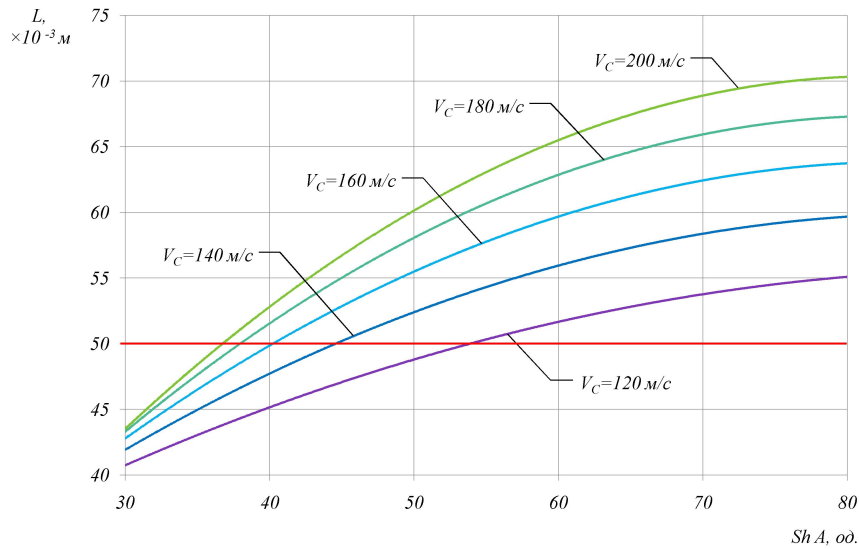


Рисунок 3 – Залежності глибини проникнення у ціль уражаючого елемента від твердості матеріалу для різних швидкостей зустрічі з цілью

Залежності, що наведені на рис. 3, описуються рівняннями (4) – (8).

$$L_{120} = 2,29 \cdot 10 + 7,11 \cdot 10^{-1} ShA - 3,86 \cdot 10^{-3} ShA^2, \quad (4)$$

$$L_{140} = 1,78 \cdot 10 + 9,73 \cdot 10^{-1} ShA - 5,62 \cdot 10^{-3} ShA^2, \quad (5)$$

$$L_{160} = 1,29 \cdot 10 + 1,21 ShA - 7,21 \cdot 10^{-3} ShA^2, \quad (6)$$

$$L_{180} = 8,28 + 1,43 ShA - 8,62 \cdot 10^{-3} ShA^2, \quad (7)$$

$$L_{200} = 3,85 + 1,62 ShA - 9,84 \cdot 10^{-3} ShA^2. \quad (8)$$

З розуміннь безпечності застосування кінетичної зброї несмертельної дії важливим вважається не перевищити глибину проникнення УЕ у ціль, що дорівнює 50 мм [15, 16]. Сполученням E_k та V_c , що є граничними з погляду зазначеного критерію, відповідає червона лінія на рис. 3 та 4.

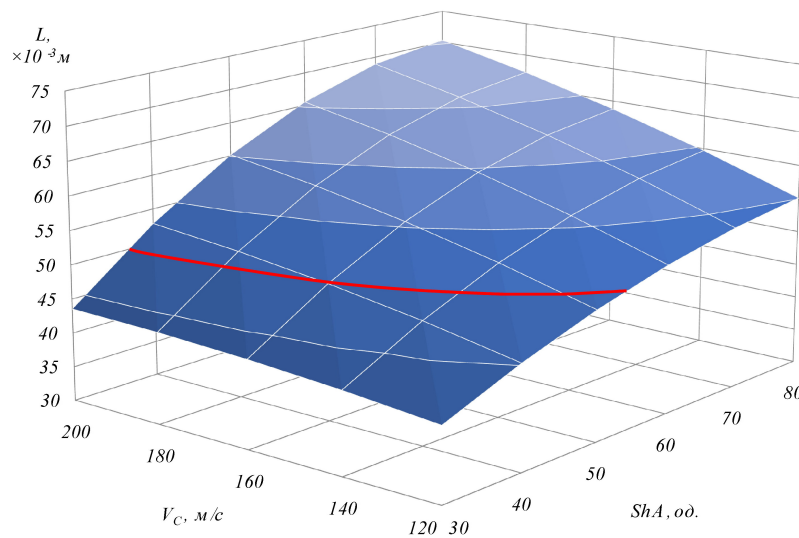


Рисунок 4 – Залежність глибини проникнення у ціль уражаючого елемента від твердості його матеріалу та швидкості зустрічі з цілью

Отже, проведені дослідження підтверджують необхідність урахування твердості уражаючого елемента під час прогнозування його дії по цілі. Отримані залежності дають можливість прогнозувати глибину проникнення у ціль УЕ залежно від його твердості та швидкості зустрічі з ціллю для значення кінетичної енергії під час зустрічі з ціллю $E_{kc} = 100$ Дж. Для інших значень E_{kc} та твердості УЕ необхідне проведення додаткових досліджень.

Висновки

1. Отримано емпіричну залежність глибини проникнення у ціль уражаючого елемента від твердості його матеріалу та швидкості зустрічі з ціллю для кінетичної зброї не смертельної дії.

2. Отримані залежності дають змогу прогнозувати глибину проникнення у ціль уражаючого елемента та оцінювати безпечність кінетичної зброї не смертельної дії для об'єкта її застосування, а також встановлювати граничні значення швидкості або твердості уражаючого елемента за умови фіксації значень інших показників.

Напрямом подальшого дослідження є отримання аналогічних залежностей для інших значень кінетичної енергії уражаючого елемента під час зустрічі з ціллю та його твердості.

Перелік джерел посилання

1. Мішалов В. Д. Судово-медична оцінка тілесних ушкоджень у протестувальників Майдану. *Судово-медична експертиза*. 2017. № 1. С. 41–45.
2. Стеблюк В., Мішалов В. Майдан: усвідомлення крізь освідування. *Цензор.НЕТ*. URL: https://sensor.net.ua/resonance/363122/mayidan_usvdomlennya_krz_osvduvannya (дата звернення: 19.08.2024).
3. Біленко О. І. Зброя не смертельної дії для військових формувань та правоохоронних органів. *Збірник наукових праць Національної академії Прикордонної служби України*. Хмельницький : НА ПСУ, 2010. № 54. С. 47–50.
4. СОУ 78-41-016:2013. Патрони не смертельної дії. Загальні технічні вимоги МВС України. Вид. офіц. Київ, 2013. 16 с.
5. Гамов Д. Ю. Методика встановлення належності об'єкта до бойових припасів вогнепальної стрілецької зброї та його придатності до стрільби. Київ : ДНДЕКЦ МВС України; ДЕЗП Мініюсту України. 2012. 25 с.
6. Андронов К., Гуренко Є. Проблемні питання обігу та дослідження патронів травматичної (не смертельної) дії. ЛОГОС. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139/article/view/5197> (дата звернення: 19.08.2024).
7. Власов В. А., Гутянтов С. В., Біляєва О. Д., Криворучко О. В. Дослідження патронів травматичної дії, які виробляються в Україні. *Сучасна спеціальна техніка*. 2018. № 4 (55). С. 164–171.
8. Біленко О. І. Обґрунтування раціональних значень технічних характеристик кінетичної зброї не смертельної дії для сил безпеки. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2015. № 2 (26). С. 5–9.
9. A. Langlet, J. Pavier, N. Eches & P. Bailly. Study of less lethal projectiles blunt impacts on the thorax by experiments on pig thoracic cages and numerical simulations. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. Vol. 18. 2015. P. 93–102.
10. Nicholas Russell Maiden. The assessment of bullet wound trauma dynamics and the potential role of anatomical models. *A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy*. 2014. 150 p.
11. Копчак А. В., Рибак В. А., Марухно Ю. І. Патогенез і принципи лікування вогнепальних поранень щелепно-лицевої ділянки в умовах багатопрофільного медичного закладу. *Медицина невідкладних станів*. 2015. № 7 (70). С. 94–105.
12. Біленко О. І. Формування вимог до розкиду дульних швидкостей металевих елементів кінетичної зброї. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. Вип. 1 (21). С. 16–20.
13. Біленко О. І., Пашенко В. В. Підвищення стабільності дульної швидкості поразючих елементів кінетичної зброї не смертельної дії. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2010. Вип. 2. С. 5–10.

14. Біленко А. І., Афанасьєв В. В. Вплив параметрів заряджання на початкову швидкість кулі. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. 2007. № 11. С. 33–37.
15. Сапелкін В. В. Оцінка уражаючих властивостей кулі травматичної (несмертельної) дії патрона «Терен-12П» на основі розрахунків довжини спричиненого нею ранового каналу. *Судово-медична експертиза*. 2014. № 1. С. 38–41.
16. Сапелкін В. В., Коломійцев О. В., Бойчук І. П. Запровадження в практику судової медицини альтернативного критерію оцінювання уражаючих властивостей куль травматичної дії. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2014. № 14. С. 388–394.
17. Біленко О. І., Марченко В. В. Вплив балістичних характеристик елемента, що уражає кінетичною зброєю несмертельної дії на глибину проникнення у м'язові тканини тіла. *Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України*. Київ : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2024. № 2 (93) . С. 122–128.
18. Біленко О. І., Марченко В. В. Обґрунтування вибору імітатора цілі для дослідження дії елемента, що вражає, кінетичної зброї несмертельної дії. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2023. Вип. 1 (41). С. 49–56.
19. Біленко О. І., Марченко В. В. Вплив температури імітатора цілі з балістичного пластиліну на результати дії елемента, що вражає. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2023. Вип. 2 (42). С. 15–23.
20. Крюков О. М., Флорін О. П. Основи метрологічного забезпечення : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2010. 208 с.
21. Сапелкін В. В. Судово-медичний аспект балістичних досліджень патронів травматичної дії «Терен-12П». *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2010. № 10. С. 345–352.
22. Коломійцев О. В., Сапелкін В. В. Аналізування балістичних характеристик уражаючих елементів патронів травматичної дії «Терен-12П» і «Терен-12К», відстріляних із помпової рушниці Форт-500А. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2014. № 14. С. 210–223.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2024 р.

UDC 623.44

O. Bilenko, V. Marchenko

**THE INFLUENCE OF THE IMPACTING ELEMENT MATERIAL HARDNESS
OF A NON-LETHAL KINETIC WEAPON ON THE DEPTH OF PENETRATION
IN THE MUSCLE TISSUES OF THE BODY**

During the ballistic design of non-lethal kinetic weapons, the accurate determination of the characteristics of the striking element upon impact with the target is crucial. On one hand, it is necessary to ensure that the striking element has sufficient effect on the target, and on the other, it is imperative to avoid injuries that could result in a fatal outcome from the use of non-lethal kinetic weapons. Therefore, it is essential to identify a set of striking element characteristics and their values at the moment of impact that meet the aforementioned conditions.

A review of the literature indicates that there have been several instances of unsatisfactory results from the use of non-lethal kinetic weapons, highlighting the inadequacies in the scientific and methodological framework for setting requirements for such weapons. In particular, there are doubts about the completeness of the list of indicators and criteria that reliably guarantee the safety of non-lethal kinetic weapons use.

Previous research has shown that when hyperelastic materials are used to manufacture striking elements, the penetration depth into muscle tissues is influenced by the hardness of the material. However, this parameter is not considered in existing models for non-lethal kinetic weapons.

This article investigates the influence of the hardness of the striking element of non-lethal kinetic weapons on its penetration depth into muscle tissues. An empirical relationship has been established between the penetration depth of the striking element into the target and its hardness, as well as the velocity of impact with the target for non-lethal kinetic weapons. This relationship enables the prediction of the striking element's penetration depth into the target and the assessment of the safety of non-lethal kinetic weapons for the intended target.

The obtained results can be used in the development of requirements for non-lethal kinetic weapons, particularly in defining the characteristics of the striking element during the design process or in the selection of existing NLKW samples for deployment.

Keywords: *firearm, striking element, striking element hardness, terminal ballistics, target simulator, kinetic non-lethal weapon.*

Біленко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0001-6007-3330>

Марченко Володимир Володимирович – ад'юнкт докторантури та ад'юнктури Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0001-9670-638X>