

УДК 623.44



О. І. Біленко



О. О. Кириченко



Д. В. Павлов

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ КИДАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РИКОШЕТУ

*Встановлено, що механічні властивості матеріалу поражаючого елемента впливають на величину умовного коефіцієнта відновлення та залишкову кінетичну енергію після відбиття від перешкоди. Отримано залежності залишкової швидкості поражаючого елемента та умовного коефіцієнта відновлення від швидкості зустрічі зі сталевією перешкодою для декількох матеріалів, з яких можна виготовляти кулі.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* стрілецька зброя, безпечність застосування зброї, рикошет, умовний коефіцієнт відновлення.

**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Останнім часом зростає роль сил безпеки (СБ), на які покладається широкий спектр завдань – від охорони громадського порядку до боротьби з тероризмом та знешкодження незаконних збройних формувань. При цьому процес гуманізації суспільства накладає суттєві обмеження на способи та припустимі результати дій СБ. У разі застосування зброї у населених пунктах, визволенні заручників та виконанні інших завдань у безпосередній близькості до сторонніх осіб сили охорони правопорядку повинні враховувати інтереси останніх та забезпечувати їхню безпеку.

Метою застосування зброї СБ є припинення правопорушення, позбавлення правопорушника можливості чинити опір або здійснювати втечу. Ці завдання необхідно виконувати по можливості без людських втрат серед правопорушників та категорично без втрат серед представників СБ, а також заручників та інших громадян, що не є учасниками подій (далі – сторонні особи).

Одним з чинників, який негативно впливає на безпеку застосування стрілецької зброї, є можливість ураження заручників, сторонніх осіб та стрільця внаслідок відбиття поражаючого елемента (ПЕ) від поверхонь (стіл будівель, дорожнього покриття, поверхні води тощо) та його руху у не передбачуваному стрільцем напрямку. Про небезпеку враження внаслідок рикошету кидального елемента свідчать реальні випадки, коли після застосування бойової зброї солдатами або співробітниками СБ та рикошету ПЕ отримують поранення та гинуть сторонні особи [1 – 6].

Єдиним способом уникнення випадків ураження сторонніх осіб внаслідок рикошету є зниження енергетичних характеристик ПЕ після його відбиття від перешкоди до такого значення залишкової кінетичної енергії (ЗКЕ)  $E_{\text{заль}}$ , що виключає враження сторонньої особи [7]. Під ЗКЕ будемо розуміти енергію кидального елемента після відбиття від перешкоди.

Кінетична енергія тіла залежить від його маси та швидкості руху. Отже, є два шляхи зниження кінетичної енергії ПЕ до потрібного значення:

- зниження маси ПЕ в результаті зустрічі з поверхнею перешкоди;
- зниження швидкості руху ПЕ після відбиття від поверхні перешкоди до прийняттого рівня.

Зниження маси ПЕ можливе за рахунок його фрагментації внаслідок удару об перешкоду. Принципово така можливість існує, але через значний розкид механічних характеристик перешкод (асфальтобетонні дорожні покриття, залізобетонні стіни та цегли різних типів, металеві конструкції, поверхня води) її практична реалізація є малоімовірною.

Більш перспективним уявляється зниження швидкості руху ПЕ після відбиття від поверхні перешкоди.

У результаті аналізу процесу зіткнення ПЕ з перешкодою визначені такі варіанти взаємодії ПЕ та перешкоди:

- ПЕ значно заглиблюється в перешкоду;

- ПЕ та перешкода піддаються пружній деформації;
- у результаті зіткнення ПЕ та перешкоди виникають пластичні деформації одного або обох елементів;
- у результаті зіткнення ПЕ та перешкоди виникають часткові руйнування одного або обох елементів.

Можливі також інші комбінації, але для аналізу процесу вони не є суттєвими.

При значному заглибленні ПЕ в перешкоду рикошет відсутній.

У випадку, коли ПЕ та перешкода піддаються лише пружній деформації, втрати кінетичної енергії ПЕ в процесі відбиття є мінімальними і значення ЗКЕ практично дорівнює значенню кінетичної енергії до зустрічі з перешкодою.

При виникненні пластичних деформацій частина енергії (енергія формозмінення) витрачається на змінення форми взаємодіючих елементів, залишкова кінетична енергія ПЕ відповідним чином зменшується.

За наявності руйнування взаємодіючих елементів частина кінетичної енергії витрачається як на формозмінення, так і на саме руйнування. Отже, в такому випадку залишкова кінетична енергія буде мінімальною з усіх розглянутих випадків.

Динамічна взаємодія твердих тіл є надзвичайно складною для моделювання. Аналіз існуючих напрацювань [8–19] свідчить про відсутність достатньо адекватних спеціальних моделей, що описують відбиття кидального елемента від перешкоди. Тому доцільним є проведення натурних експериментальних досліджень з метою встановлення зв'язків між механічними характеристиками ПЕ та значенням залишкової кінетичної енергії.

**Мета статті** – отримати залежності між механічними характеристиками поражаючого елемента та його залишковою кінетичною енергією після відбиття від перешкоди.

**Виклад основного матеріалу.** У прикладному сенсі не варто розраховувати на те, що властивості перешкоди виявляться сприятливими для втрати енергії поражаючим елементом. Тому доцільно виявити такі з них, які забезпечують найбільші значення ЗКЕ поражаючого елемента. Ними є перешкоди, виготовлені зі сталі та бетонів, що мають тверді включення, які не руйнуються та не деформуються в результаті дії ПЕ.

Слід враховувати, що значення ЗКЕ залежить від кута зустрічі ПЕ з перешкодою (кут між нормаллю до поверхні перешкоди та напрямком руху ПЕ). При кутах, близьких до  $90^\circ$ , втрати енергії ПЕ будуть мінімальними, а при кутах, близьких до  $0^\circ$ , – максимальними.

При великих кутах зустрічі ( $80 \dots 90^\circ$ ) стрілець здатний контролювати простір у напрямку відбиття ПЕ, а боротьба з рикошетом дуже ускладнюється, отже, такі випадки далі не розглядатимемо.

Діапазон швидкості повинен відповідати зброї, яка застосовується для виконання специфічних завдань силами безпеки. Для стандартних пістолетних калібрів (7,62 та 9 мм) і патронів (маса кулі  $m = 5,3 \dots 6,1$  г), а також відстаней застосування зброї до 50 м та мінімальних значень кінетичної енергії  $E_{k \min} = 23 \dots 32$  Дж такими дульними швидкостями є  $V_d = 110 \dots 130$  м/с.

Матеріали ПЕ повинні мати механічні характеристики, що змінюються в максимально широкому діапазоні. Аналіз джерел свідчить, що характеристиками, які впливають на величину ЗКЕ, є модуль Юнга, межа текучості, межа міцності та твердість матеріалу. Для виявлення можливої кореляції між вказаними параметрами та уникнення проблеми мультіколінеарності доцільно провести попередні експериментальні дослідження та звести кількість впливових чинників до мінімуму.

Для проведення експерименту спроектовано та виготовлено експериментальну установку (див. рис. 1), яка складається з балона зі стисненим повітрям, ресивера, електромагнітного клапана, ствола, уловлювача обтюраторів, двох оптико-електронних приладів для вимірювання швидкості руху ПЕ та штативу зі зразком перешкоди.

Поражаючий елемент сферичної форми кріпиться до обтюлятора за допомогою консистентної змазки, після чого обтюратор вкладається в ствол. За допомогою вентиля на балоні зі стисненим повітрям та манометра в ресивері утворюється тиск, що відповідає потрібній початковій швидкості ПЕ. Для розгону ПЕ подається електричний струм на електромагнітний клапан (який є нормально зачиненим). Клапан пропускає стиснене повітря з ресивера в ствол, і ПЕ під дією сили тиску повітря прискорюється до потрібної швидкості.

Для уникнення дії обтюлятора на прилади для вимірювання швидкості він затримується спеціальним уловлювачем. Поражаючий елемент проходить через вікно першого приладу для вимірювання швидкості, відбивається від зразка перешкоди та проходить через вікно другого приладу для вимірювання швидкості.

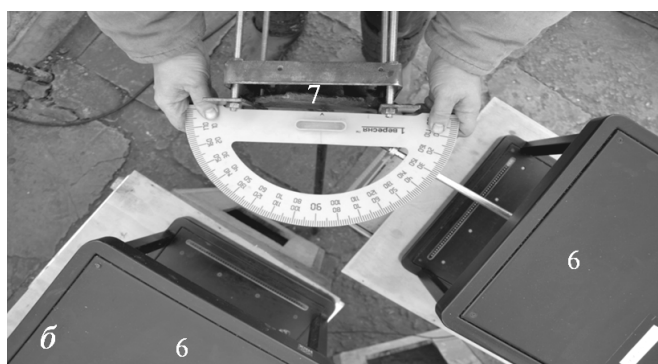


Рис. 1. Експериментальна установка:

1 – балон зі стисненим повітрям; 2 – ресивер; 3 – електромагнітний клапан; 4 – ствол;  
5 – уловлювач обтюраторів; 6 – прилади для вимірювання швидкості руху ПЕ; 7 – зразок перешкоди

Таким чином, визначаються швидкості ПЕ до та після відбиття від перешкоди. Відстані від приладів для вимірювання швидкості до перешкоди складають близько 0,5 м, отже, спаданням швидкості на цьому шляху внаслідок сили аеродинамічного опору повітря можна знехтувати.

Додатково перевірено гіпотезу про рівність кутів падіння та відбиття ПЕ від перешкоди. Для цього за другим пристроєм для вимірювання швидкості розташовано раму з міліметровим папером, скрізь який проходив ПЕ після відбиття від перешкоди.

У результаті експериментальних досліджень встановлено таке:

- кут падіння практично дорівнює куту відбиття, за винятком випадків руйнування свинцевих ПЕ;
- значення ЗКЕ залежить від властивостей матеріалів ПЕ та перешкоди;
- найбільші значення ЗКЕ спостерігаються при відбитті ПЕ від сталеві та залізобетонної перешкод.

Враховуючи, що швидкості кидання мають різні значення, для оцінювання характеру взаємодії ПЕ та перешкоди введено показник “умовний коефіцієнт відновлення”  $K_B$ , який дорівнює відношенню швидкості ПЕ до зустрічі з перешкодою та після неї.

На рис. 2 наведено графік залежності залишкової швидкості поражаючого елемента  $V_{\text{зал}}$  від швидкості його зустрічі зі сталевією перешкодою  $V_c$  під кутом  $45^\circ$  для різних матеріалів (таблиця).

З таблиці видно, що умовний коефіцієнт відновлення залежить від матеріалу, з якого виготовлений ПЕ. Так, сталеві загартовані кульки мають максимальний (з числа досліджуваних) умовний коефіцієнт відновлення  $K_B = 0,85$ , що пояснюється відсутністю утворення помітних пластичних деформацій кульок при ударі об перешкоду та незначною деформацією самої перешкоди.

Умовні коефіцієнти відновлення кульок, виготовлених з інших матеріалів, є дещо нижчими, що пояснюється утворенням залишкової деформації.

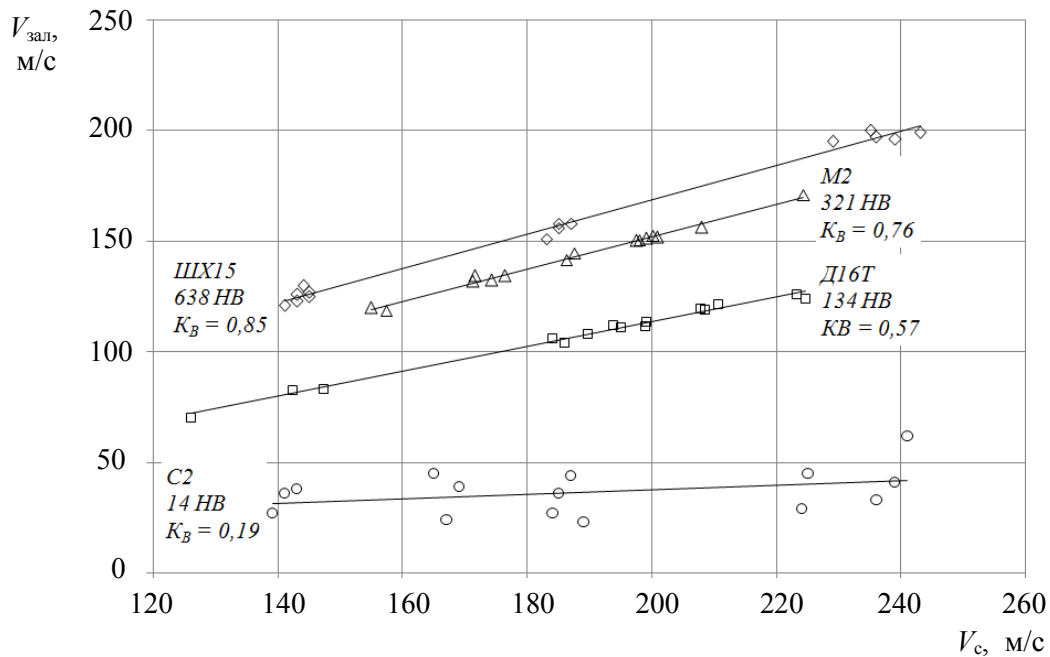


Рис. 2. Залежність залишкової швидкості ПЕ від швидкості зустрічі зі сталеву перешкодою (кут зустрічі з цилію 45°)

*Твердість та середнє значення умовного коефіцієнта відновлення досліджуваних матеріалів*

| Матеріал                | Твердість, НВ | Середнє значення $K_B$ |
|-------------------------|---------------|------------------------|
| Сталь ШХ15              | 638           | 0,85                   |
| Бронза БрАЖ9-4          | 496           | 0,83                   |
| Алюмінієвий сплав АК4-1 | 372           | 0,80                   |
| Мідний сплав М2         | 321           | 0,76                   |
| Латунь ЛС59-1           | 272           | 0,78                   |
| Алюмінієвий сплав Д16-Т | 134           | 0,57                   |
| Свинцевий сплав С2      | 14            | 0,19                   |

Значення умовного коефіцієнта відновлення для свинцевих ПЕ ( $K_B = 0,19$ ) є значно нижчим, ніж для сталевих та алюмінієвих. Це зумовлено їх руйнуванням, при чому ступінь руйнування у різних повтореннях експерименту не є однаковим, що пояснює відносно низьку стабільність значень  $K_B$  (рис. 3).

При цьому значення умовного коефіцієнта відновлення не залежить від швидкості ПЕ, принаймні у досліджуваному діапазоні швидкостей, який властивий стрілецькій зброї СБ.

У результаті досліджень встановлено, що достатньо повною характеристикою металевих ПЕ щодо відбиття від перешкод є твердість матеріалу, з якого вони виготовлені. Про це свідчить залежність умовного коефіцієнта відновлення від твердості по Брінеллю, яка наведена на рис. 4. При зростанні твердості матеріалу ПЕ значення

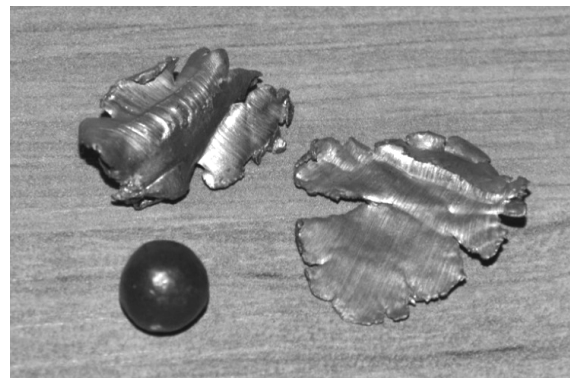


Рис. 3. Свинцеві поразючі елементи сферичної форми до та після зустрічі зі сталеву перешкодою

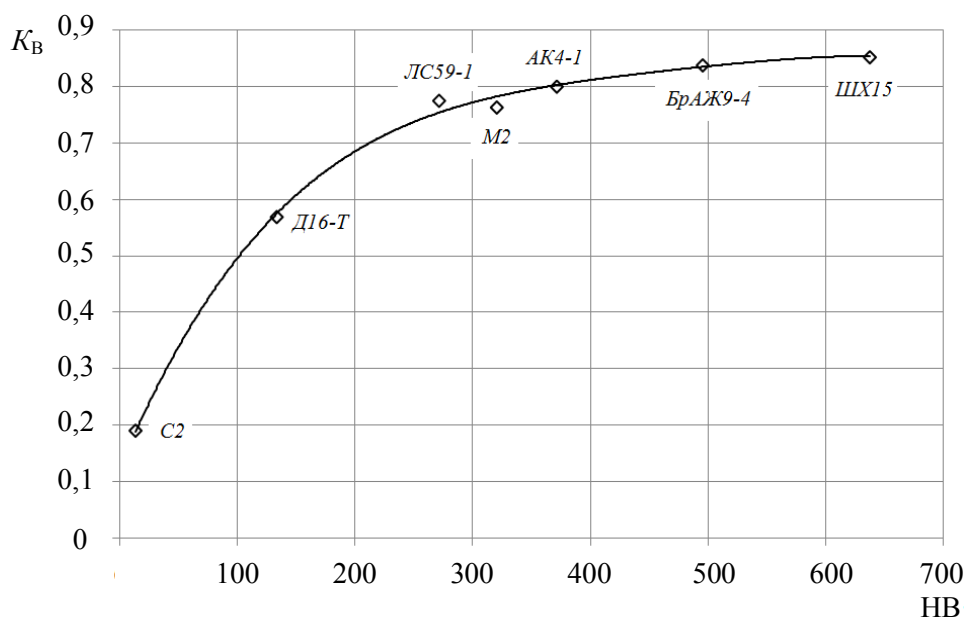


Рис. 4. Залежність умовного коефіцієнта відновлення поражаючого елемента від твердості матеріалу (кут зустрічі з цілью 45°)

умовного коефіцієнта відновлення наблизатиметься до одиниці, ніколи не досягаючи та не перевищуючи її, тобто крива асимптотично наблизатиметься до цього значення. Отже, форма кривої є цілком логічною.

Необхідно зазначити, що використання безболонкових ПЕ зі свинцю та інших матеріалів з низькою міцністю не завжди є прийнятним через їх недостатню пробивну дію та можливість фрагментації у тілі людини.

Таким чином, змінюванням механічних властивостей матеріалу поражаючого елемента можна впливати на величини умовного коефіцієнта відновлення та залишкову кінетичну енергію поражаючого елемента.

### Висновки

1. Одним з дієвих заходів підвищення безпеки застосування вогнепальної зброї в умовах ризику рикошету поражаючого елемента є зниження швидкості його руху після відбиття від поверхні перешкоди до прийнятного рівня.

2. Встановлено, що змінюванням механічних властивостей матеріалу поражаючого елемента можна впливати на величини умовного коефіцієнта відновлення та залишкову кінетичну енергію.

3. Отримано залежності залишкової швидкості поражаючого елемента та умовного коефіцієнта відновлення від швидкості зустрічі зі сталеву перешкодою для декількох матеріалів, з яких можна виготовляти кулі.

4. Напрямок подальшого дослідження є розроблення методики забезпечення безпеки поражаючого елемента після відбиття від перешкоди шляхом вибору його матеріалу.

### Список використаних джерел

1. Обзор происшествий за 13.01.2009 г. РИА Новости. Российское агентство международной информации. Сибирский округ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sibir.rian.ru/incidents/20090113/81746850.html> (дата обращения 27.01.09). – Загл. с экрана.

2. Обзор происшествий за 14.03.2001 г. РосБизнесКонсалтинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://top.rbc.ru/politics/14/03/2001/39375.shtml> (дата обращения 11.08.14). – Загл. с экрана.

3. Снайпер не целился в медсестру при освобождении заложников в колонии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vz.ru/news/2011/11/3/535865.html> (дата обращения 27.06.14). – Загл. с экрана.

4. Ручко, А. В. Судьба по прозвищу “Рикошет” [Электронный ресурс] / А. В. Ручко. – Режим

доступа : [http://www.shooting-ua.com/arm-books/arm\\_book\\_123.htm](http://www.shooting-ua.com/arm-books/arm_book_123.htm) (дата обращения 21.04.14). – Загл. с экрана.

5. Karger, B. A. Case of “boomerang” bullet ricochet [Text] / B. Karger, U. Joosten // Int. J. Legal Med. – 2001. – 115. – P. 70 – 71.

6. Особенности огнестрельных повреждений при рикошете и преодолении пульей преград перед ранением [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vuzlib.su/beta3/html/1/12314/12398> (дата обращения 27.01.14). – Загл. с экрана.

7. Біленко, О. І. Шляхи підвищення безпечності застосування стрілецької зброї силами охорони правопорядку [Текст] / О. І. Біленко, О. О. Кириченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 2/3 (68). – С. 35–39.

8. Погребной, А. А. Пособие криминалиста. Установление обстоятельств происшествия по следам рикошета на преградах и пулях [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Погребной. – Москва : Приориздат, 2004. – 112 с.

9. Jauhari, M. Bullet Ricochet from Metal Plates [Text] / M. Jauhari // Journal of Criminal Law. Criminology and Police Science. – 1969. – Vol. 60. – No. 3. – P. 387 – 394.

10. Высокоскоростные ударные явления [Текст] / Под ред. Р. Кинслоу. – Москва : Мир, 1973. – 536 с.

11. Теоретические и экспериментальные исследования высокоскоростного взаимодействия тел [Текст] / Под ред. А. В. Герасимова. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 2007. – 572 с.

12. Wilkins, M. L. Computer simulation of dynamic phenomena [Text] / M. L. Wilkins. – Berlin : Heidelberg : New-York : Springer, 1999. – 246 p.

13. Гусенцов, А. О. Установка для моделирования рикошета огнестрельного снаряда в экспериментальных условиях [Текст] / А. О. Гусенцов // Каталог инновационных разработок Молодежного инновационного форума “Интри-2010” ; под ред. И. В. Войтова. – Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, ГУ “БелИСА”, 2010. – С. 134–142.

14. Молчанов, В. И. О поражениях дробовым снарядом, прошедшим через преграду или рикошетирующим от нее [Текст] / В. И. Молчанов // Сборник работ по теории и практике судебной медицины ; Труды ГИДУВа. – 1962. – № 29. – С. 214 – 219.

15. Burke, T. W. Bullet ricochet: a comprehensive review [Text] / T. W. Burke, W. F. Rowe // Forensic Sc. – 1992. – Vol. 37. – P. 1254–1260.

16. Hartline, P. C. A Study of Shotgun Pellet Ricochet from Steel Surfaces [Text] / P. C. Hartline, G. Abraham, W. F. Rowe // Journ. of Forens. Sc. – 1982. – Vol. 27. – No. 3. – P. 506 – 512.

17. McConnell, M. P. A Study of Shotgun Pellet Ricochet [Text] / M. P. McConnell, G. M. Triplett, W. F. Rowe // Journ. of Forens. Sc. – 1981. – Vol. 26. – No. 4. – P. 699–709.

18. Гусенцов, А. О. Особенности экспериментального моделирования рикошета огнестрельного снаряда [Текст] / А. О. Гусенцов, Э. В. Туманов, В. А. Чучко // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. – Минск : Право и экономика, 2012. – № 1 (31). – С. 166 – 169.

19. Sellier, K. Verletzungsmöglichkeiten von Geschossen, die an Sand oder Beton abgeprallt sind [Text] / K. Sellier // Int. J. Legal Med. – 1976. – Vol. 78. – No. 2. – P. 149–158.

*Стаття надійшла до редакції 21.11.2017 р.*

**УДК 623.44**

**А. И. Биленко, А. А. Кириченко, Д. В. Павлов**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА МЕТАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РИКОШЕТА**

*Установлено, что механические свойства материала поражающего элемента влияют на величину условного коэффициента восстановления и остаточную кинетическую энергию после отражения от преграды. Получены зависимости остаточной скорости поражающего элемента и условного коэффициента восстановления от скорости встречи со стальной преградой для нескольких материалов, из которых можно изготавливать пули.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а : стрелковое оружие, безопасность применения оружия, рикошет, условный коэффициент восстановления.*

UDC 623.44

**O. I. Bilenko, O. O. Kyrychenko, D. V. Pavlov**

**PROJECTILE MATERIAL INFLUENCE ON RICOCHET RESEARCH**

*It is defined the phenomenon of projectile material's mechanical properties influence on after ricochet values of conventional restoration coefficient and remained kinetic energy. Collision velocity influence on after ricochet remained velocity and values of conventional restoration coefficient for several bullet materials are obtained. The ways of further researches are appointed.*

*K e y w o r d s: small arms, weapon usage safety, ricochet, conventional restoration coefficient.*

**Біленко Олександр Іванович** – доктор технічних наук, доцент, начальник докторантури та ад'юнктури Національної академії Національної гвардії України.

**Кириченко Олександр Олександрович** – слухач магістратури Національної академії Національної гвардії України.

**Павлов Дмитрій Вадимович** – кандидат військових наук, старший науковий співробітник, докторант Національної академії Національної гвардії України.