

Особливості визначення уражаючих властивостей малокаліберних куль після рикошету

Олександр Коломійцев *^a, Віктор Сапелкін **^b, Павел Гіверц ***^c,
Олександр Герман ****^d

* Канд. техн. наук, провідн. наук. співробітн., ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-1034>, e-mail: sashagun@ukr.net

** Канд. мед. наук, Харківська медична академія післядипломної освіти, м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9795-8463>, e-mail: bodydoc666@gmail.com

*** PhD з права, криміналістики і судової експертизи, Балістична лабораторія поліції Ізраїля, м. Єрусалим, Ізраїль, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4019-5055>, e-mail: pavel.giverts@gmail.com

**** Ст. наук. співробітн., ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6522-9381>, e-mail: herman30121966@gmail.com

^a Методологія, концепція, написання оригінального проекту.

^b Кураторство даними, формальний аналіз.

^c Ресурси.

^d Адміністрування проекту, нагляд.

DOI: [10.32353/khrife.2.2022.05](https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.05) УДК 343.983

Надійшло 07.06.2022 / Рецензовано 07.06.2022 / Прийнято до друку 17.06.2022 /
Доступно онлайн 30.06.2022



Автори мали на меті узагальнити експериментальні дослідження уражаючих властивостей безоболонкових куль калібру .22 Long Rifle після їх рикошету від різних видів перешкод. Запропоновано альтернативний критерій оцінювання уражаючих властивостей куль, за допомогою якого можливо прогнозувати ступінь і тяжкість тілесних ушкоджень після рикошету. Виявлено особливості й умови, за яких відбувається фрагментація безоболонкових малокаліберних куль, а також визначено швидкість польоту куль і їх фрагментів після ударно-контактної взаємодії з перешкодами різних видів. Особливу увагу приділено дослідженню характеру взаємодії куль і їх фрагментів після рикошету із в'язко-пружним середовищем, що імітує біологічні тканини тіла людини. Установлено, що енергетична концепція ураження біологічної цілі та критерії її оцінювання під час дослідження уражаючих властивостей куль після рикошету мають обмежене застосування, оскільки не завжди можна достеменно визначити початкові умови

влучання як самих куль, так і їх окремих фрагментів. Здобуті результати експериментальних досліджень і натурних випробувань дали змогу сформувати альтернативний критерій оцінювання ступеня тяжкості тілесних ушкоджень, яких людина зазнала внаслідок влучання свинцевих малокаліберних куль після рикошету. Ним є довжина ранового каналу, спричиненого кулею чи її фрагментами внаслідок їх влучання у тіло людини після рикошету. Запропоновано розрахунковий метод визначення довжини спричиненого ранового каналу, який можна застосовувати в експертній практиці для визначення потенційної шкоди життю та здоров'ю людини.

Ключові слова: енергетична концепція ураження цілі; розрахунковий метод; уражаючі властивості; альтернативний критерій оцінювання; довжина ранового каналу; імітатор біологічних тканин; малокаліберна куля; рикошет.

Постановка наукової проблеми

Криміналістичне дослідження особливостей ударно-контактної взаємодії куль, фрагментів куль чи окремих елементів конструкції після їх рикошету від поверхонь відносно щільних перешкод із біологічними об'єктами є доволі складним завданням. Основні труднощі виникають під час дослідження уражаючих¹ властивостей цих об'єктів та оцінювання їх спроможності завдавати тілу людини тілесних ушкоджень різного ступеня тяжкості, оскільки відсутні науково обґрунтовані методики таких досліджень, а сучасна енергетична концепція ураження цілі, яку використовують у судовій балістиці, у таких випадках має доволі обмежене застосування. Передусім це зумовлено неможливістю визначити початкові умови влучання дестабілізованої після

рикошету кулі й хаотичністю фрагментації кулі внаслідок її ударно-контактної взаємодії із поверхнею перешкоди. У зв'язку із цим виникає потреба застосувати альтернативний критерій оцінювання уражаючих властивостей куль після рикошету та запровадити граничне значення цього параметра. Окрім того, у практиці судової балістики необхідно започаткувати розрахунковий метод оцінювання уражаючих властивостей куль після рикошету, завдяки чому стане можливим прогнозувати ступінь тяжкості шкоди, завданої життю та здоров'ю людини.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Дослідженню рикошету приділили доволі значну увагу сучасні фахівці в галузі судової балістики, зокрема

1 За правилами української мови від глагола «уражати» (у значенні *ранити, убивати; порушувати життєдіяльність* — про хвороби) дієприкметники утворити *не можна*, варіант «уражаючий» є калькою з російської: суфікси *-уч-, -юч-* узагалі не характерні для української мови. Доречніше послуговуватися прикметником «уразливий» (у значенні *болочий*). Проте, зважаючи на стале застосування в чинних нормативно-правових актах, що регулюють судово-експертну діяльність, згаданих помилкових словоформ, ми змушені оперувати у цій праці саме ними.— Ред.

М. та L. Haag ², G. A. Rathman ³, Z. Kotas і C. E. Reno ⁴, А. В. Кофанов ⁵ та ін. Проте вони мають переважно практичну спрямованість, пов'язану з експериментальним відтворенням умов рикошетування куль, або розглядають тільки наслідки реальних випадків рикошету куль від поверхонь різних видів перешкод (зокрема, E. Thompson і R. Wyant ⁶, О. В. Коломійцев ⁷, А. О. Гусенцов, А. А. Артюшин і В. А. Данилова ⁸). Незначну кількість наукових робіт присвячено визначенню аеробалістичних характеристик куль після рикошету ⁹, а також комп'ютерному моделюванню фізичних процесів, що

відбуваються під час рикошету різних видів уражаючих елементів ¹⁰.

Окремим напрямом є дослідження наслідків рикошету куль, що викладено у працях фахівців судової медицини ¹¹. Провідною темою цих робіт є визначення комплексу ознак вогнепальних поранень, характерних для випадків рикошету куль від різних видів перешкод. Іншою галуззю досліджень рикошету куль різних калібрів є рана балістика ¹², що визначає бойову ефективність дії по живій цілі. Значну частину наукових праць присвячено дослідженню фізичних процесів, що відбуваються під

- 2 Haag L. C. Bullet Ricochet: An empirical study and a device for measuring ricochet angle. *AFTE Journal*. 1975. Vol. 7 (3). Pp. 44–51 ; Haag M., Haag L. Shooting incident reconstruction. 2020. 560 p. DOI: [10.1016/C2018-0-03137-0](https://doi.org/10.1016/C2018-0-03137-0) (дата звернення: 11.05.2022).
- 3 Rathman G. A. Bullet ricochet and associated phenomena. *AFTE Journal*. 1987. Vol. 19 (4). Pp. 374–381.
- 4 Kotas Z., Reno C. E. A Case Study in the use of bullet ricochet experimentation to provide evidence in a homicide. *Ibid*. 2014. Vol. 46 (3). Pp. 211–217.
- 5 Кофанов А. В. Теоретичні та практичні аспекти моделювання рикошетування вогнепального снаряда при проведенні експертного експерименту. *Криміналістика і судова експертиза* : міжвідом. наук.-метод. зб. 2018. Вип. 63 (1). С. 310–322. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise_2018_63%281%29__36 (дата звернення: 11.05.2022).
- 6 Thompson E., Wyant R. Asphalt skip shooting reconstruction. *AFTE Journal*. 2003. Vol. 35 (1). Pp. 74–758.
- 7 Коломійцев О. В. Метод розрахункового та експериментального визначення вигляду снаряда спеціального призначення із заданими аеродинамічними властивостями : дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2005. 234 с.
- 8 Гусенцов А. О., Артюшин А. А., Данилова В. А. Теория и практика создания модели рикошета огнестрельного снаряда в условиях лабораторного эксперимента. *Судово-балістичні дослідження та суміжні галузі знань* : перш. міжнар. наук.-практ. семінар. Київ, 2009. С. 30–35.
- 9 Shepitko V., Shepitko M., Simakova-Yefremian E., Kolomiitsev A. The Determination of the Bullet Velocity After Ricochet Using Computer Modeling. *AFTE Journal*. 2020. Vol. 52 (2). Pp. 98–102.
- 10 Moxnes J. F., Frøyland Ø., Skriudalen S. et al. On the study of ricochet and penetration in sand, water and gelatin by spheres, 7.62 mm APM2, and 25 mm projectiles. *Defence Technology*. 2016. Vol. 12. Pp. 159–170. DOI: [10.1016/j.dt.2015.12.004](https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.12.004) (дата звернення: 29.11.2021).
- 11 Эйдлин Л. М. Огнестрельные повреждения. Врачебное и криминалистическое распознавание и оценка. Ташкент, 1963. С. 31–109 ; Попов В. Л., Шигеев В. Б., Кузнецов Л. Е. Судово-медичинська баллістика. Санкт-Петербург, 2002. 656 с. URL: <https://djvu.online/file/hkakzjDMC5I3P> (дата звернення: 29.11.2021).
- 12 Озерецковский Л. Б., Гуманенко Е. К., Бояринцев В. В. Раневая баллістика. Санкт-Петербург, 2006. 374 с. ; Денисов А. В., Тюрин М. В., Сохранов М. В. и др. Особенности поражения живых целей в зоне рикошета пуль при стрельбе по твёрдым преградам. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2014. № 1 (45). С. 179–184.

час ударно-контактної взаємодії куль із поверхнями перешкод (здебільшого металевих¹³). Водночас дослідженню уражаючих характеристик як самих куль, так і їх фрагментів після рикошету приділено вкрай недостатньо уваги: лише окремі роботи пов'язані з дослідженням енергетичних характеристик уражаючих елементів після рикошету¹⁴.

Більшість згаданих наукових праць присвячено дослідженню оболонкових куль зі сталевим чи свинцевим осердям. Однак уражаючим властивостям куль малокаліберних патронів кільцевого запалення (зокрема, .22 Short і .22 Long Rifle, далі — .22 LR), приділено недостатньо уваги, незважаючи на те, що вони є найбільш поширеними і найчастіше стають об'єктами судово-балістичної й судово-медичної експертиз.

Мета статті

Експериментальне дослідження уражаючих властивостей безоболонкових куль калібру .22 LR після їх рикошету від поверхонь різних видів перешкод. На

основі зданих результатів натурних випробувань запропонувати альтернативний критерій оцінювання їх уражаючих властивостей, що дасть змогу прогнозувати ступінь і тяжкість тілесних ушкоджень, завданих людині кулею або її фрагментами внаслідок рикошету.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для експериментальних досліджень використано 5,6 мм спортивні патрони кільцевого запалення (.22 LR), споряджені безоболонковою свинцевою кулею, та 5,6 мм пістолети моделей *Grand Power K22 S* і *K22 X-TRIM* (див. рис. 1—3).



Рис. 1. 5,6 мм спортивні патрони кільцевого запалення

- 13 Jauhari M. Bullet ricochet from metal plates. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*. 1969. Vol. 60 (3). Pp. 387—394. DOI: [10.2307/1141995](https://doi.org/10.2307/1141995) (дата звернення: 29.11.2021) ; Burke T. W., Rowe W. F. Bullet ricochet: A comprehensive revive. *Journal of Forensic Sciences*. 1992. Vol. 37 (5). Pp. 1254—1260. DOI: [10.1520/JFS13312J](https://doi.org/10.1520/JFS13312J) (дата звернення: 29.11.2021) ; Karget B., Joosten U. A case of «boomerang» bullet ricochet. *International Journal of Legal Medicine*. 2001. Vol. 115 (2). Pp. 70—71. DOI: [10.1007/s004140000148](https://doi.org/10.1007/s004140000148) (дата звернення: 29.11.2021) ; Біленко О. І., Кириченко О. О., Павлов Д. В. Дослідження впливу матеріалу металевого елемента на характеристики рикошету. *Збірник наукових праць Національної гвардії України*. 2017. Вип. 2 (30). С. 15—21. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpavs_2017_2_5 (дата звернення: 29.11.2021) ; Гиверц П. В. Криминалистическое исследование винтовок AIRSOFT, модернизированных для стрельбы патронами калибра 5,56×45 мм. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2018. Вип. 18. С. 301—308. DOI: [10.32353/khrife.2018.34](https://doi.org/10.32353/khrife.2018.34) (дата звернення: 29.11.2021).
- 14 Петрученко О. С. Щодо вивчення взаємодії кулі чи осколка снаряда з перешкодою. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки*. 2015. Вип. 2 (4). С. 74—81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/zbnpva_2015_2_13 (дата звернення: 29.11.2021) ; Петрученко О. С., Флюд О. В., Білаш О. В., Величко Л. Д. Дослідження співудару твердих тіл. *VII Науково-практична конференція : зб. тез допов.* Харків, 2017. С. 125 ; Біленко О. І., Кириченко О. О., Павлов Д. В. Методика зниження енергетичних характеристик поражаючого елемента після відбиття від перешкоди. *Science Rice*. 2018. Vol. 4 (45). P. 14—18. DOI: [10.15587/2313-8416.2018.129326](https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.129326) (дата звернення: 29.11.2021).



Рис. 2. Правий і лівий боки 5,6 мм пістолета *Grand Power K22 S*



Рис. 3. Правий і лівий боки 5,6 мм пістолета *Grand Power K22 X-TRIM*

Експериментальні стрільби серіями по 25 пострілів здійснювали у бетонний блок бордюру, білу силікатну цеглу й металеву плиту, кут зустрічі куль із поверхнею перешкод — 0—30°. Завдяки відносно

низькій швидкості куль у момент влучання вдалося здобути дані щодо енергетичних характеристик куль і їх фрагментів після рикошету. Результати досліджень наведено у табл. 1—3 та на рис. 4—6.

Таблиця 1
Балістичні характеристики уражаючих елементів до та після рикошету під час стрільби по бетонному блоку патронами кільцевого запалення калібру 5,6 мм із пістолета *Grand Power K22 S* (тільки залікові постріли)

№ пострілу	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с
1	285,9	189,6
2	296,0	40,5

№ пострілу	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с
3	296,9	212,3
4	279,0	201,5
5	282,0	270,8
6	285,0	76,7
7	284,6	201,3
8	303,1	251,9
9	283,2	244,2
10	267,1	233,4
11	303,4	268,4
12	296,8	263,8

Таблиця 2

Балістичні характеристики уражаючих елементів до та після рикошету під час стрільби по силікатній цеглі патронами кільцевого запалення калібру 5,6 мм із пістолета Grand Power K22 S (тільки залікові постріли)

№ пострілу	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с
1	296,6	232,5
2	294,4	234,2
3	297,6	48,5
4	297,3	246,7
5	301,2	246,5
6	286,1	225,5
7	297,2	232,2
8	280,0	232,1
9	292,8	101,4
10	301,4	226,2

Таблиця 3

Балістичні характеристики уражаючих елементів до та після рикошету під час стрільби по металевій плиті патронами кільцевого запалення калібру 5,6 мм із пістолета Grand Power K22 X-TRIM (тільки залікові постріли)

№ пострілу	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с
1	287,7	244,4
2	285,8	246,2
3	298,8	265,5
4	295,8	262,5
5	290,3	208,8

№ пострілу	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с
6	292,3	259,5
7	285,4	195,4
8	286,8	237,8
9	295,8	244,0
10	291,3	195,8
11	293,4	252,3

Швидкість польоту куль до та після рикошету вимірювали оптоелектронним вимірювальним комплексом ИБХ-731.4. За мішені слугував балістичний пластилін, що є імітатором біологічних тканин тіла людини.



Рис. 4. Пошкодження бетонного блока, спричинені рикошетом 5,6 мм свинцевих куль



Рис. 5. Сліди рикошету на поверхні металевій плиті, спричинені влучанням 5,6 мм свинцевих куль



Рис. 6. Пошкодження білої силікатної цегли, спричинені рикошетом 5,6 мм свинцевих куль

Дослідженням встановлено, що фрагментування 5,6 мм свинцевих куль спортивно-мисливських патронів кільцевого запалення майже завжди відбувається під кутами зустрічі з поверхнею перешкоди від 5 до 30°. Це насамперед зумовлено значною первинною площею контакту з перешкодою, фізико-механічні характеристики матеріалу якої дорівнюють або перевищують відповідні параметри матеріалу куль. Величина сил реакції опору матеріалу перешкоди (з урахуванням контактного тиску) значно перевищує межу міцності матеріалу кулі, що завдає руйнівних наслідків (див. рис. 7–10).



Рис. 7. Фрагменти куль, утворені внаслідок рикошету (один бік фрагментів; кут зустрічі — $5-30^\circ$)



Рис. 8. 5,6 мм свинцева куля під кутом зустрічі з поверхнею бетонного блока, наближеним до 0° (а — один бік кулі; б — зворотний бік кулі зі слідами рикошету)

Коли кути зустрічі наближені до діапазону $0-5^\circ$, свинцеві кулі калібру 5,6 мм під час контактної швидкості до 300 м/с завдають менших пошкоджень (див. рис. 8). Зважуванням встановлено, що маса 5,6 мм свинцевих куль до ри-

кошету становила 2,55–2,60 г, а після рикошету — 2,37–2,44 г із масою фрагментів 0,25–1,75 г.

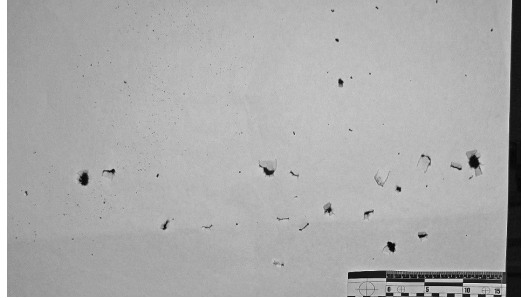


Рис. 9. Розсіювання 5,6 мм свинцевих куль і їх фрагментів після рикошету

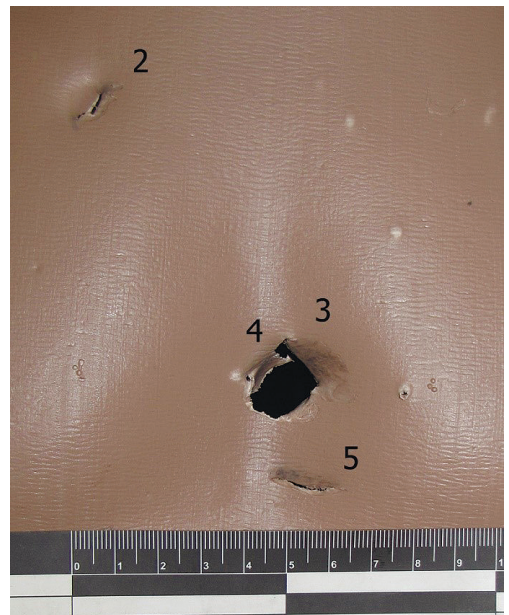


Рис. 10. Пошкодження манекена 5,6 мм свинцевими кулями та їх фрагментами після рикошету

Можливість визначати швидкість і масу куль та їх фрагментів дала змогу розрахувати енергетичні характеристики утворених у результаті рикошету вторинних уражаючих елементів. Для цього поза оптоелектронним приладом для вимірювання швидкості уражаючих

елементів встановили блок балістичного пластиліну розміром 150×210×140 мм, відстань від блока до перешкоди (від поверхні якої зрикошетило) — 1000 мм. Результати досліджень наведено у табл. 4 та на рис. 11–17.

Варто зауважити, що більша частина маси кулі зберігається (див. табл. 4), але форма кулі доволі сильно змінюється, що суттєво ускладнює розрахунки, пов'язані з визначенням коефіцієнта сил

опору середовища під час руху у ньому кінетичного снаряда (див. рис. 8). До того ж після деформування основний фрагмент кулі після рикошету набуває доволі складної просторової форми з перемінними параметрами руху, він як уражаючий елемент має непередбачувану (квазібалістичну) траєкторію руху, що унеможливорює визначення форми та площі його первинного контакту із блоком балістичного пластиліну.

Таблиця 4

Балістичні характеристики уражаючих елементів до та після рикошету під час стрільби по блоку балістичного пластиліну 5,6 мм патронами кільцевого запалення з пістолета Grand Power K22 S (тільки залікові постріли)

№ пострілу	Маса фрагментів після рикошету, г	Швидкість кулі до рикошету, м/с	Швидкість кулі (фрагментів кулі) після рикошету, м/с	Довжина каналу пошкодження, мм
1	-	287,4	245,6	-
2	-	300,6	206,8	-
3	-	289,4	254,9	72*
4	2,43	292,2	254,2	58**
5	2,36	259,6	226,7	89***
6	2,05	302,3	256,9	98****
7	2,38	290,8	242,4	50*****
8	-	298,2	266,3	-

Примітка:

* — пошкодження, позначене як «1»;

** — пошкодження, позначене як «2»;

*** — пошкодження, позначене як «3»;

**** — пошкодження, позначене як «4»;

***** — пошкодження, позначене як «5».



Рис. 11. Фрагменти 5,6 мм куль після рикошету (один бік)

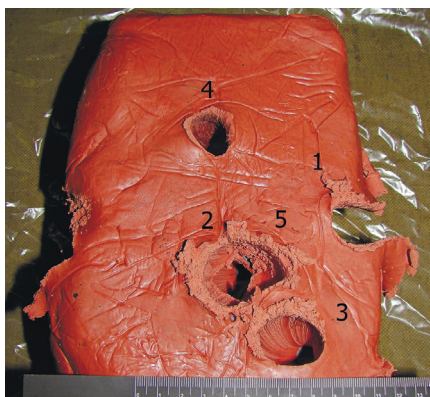


Рис. 12. Пошкодження блока балістичного пластиліну фрагментами 5,6 мм кулі після рикошету

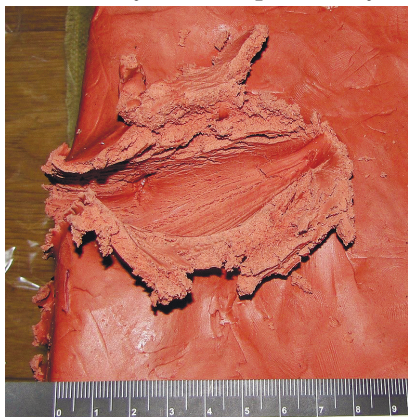


Рис. 13. Поздовжній перетин пошкодження блока балістичного пластиліну, позначеного як «1»

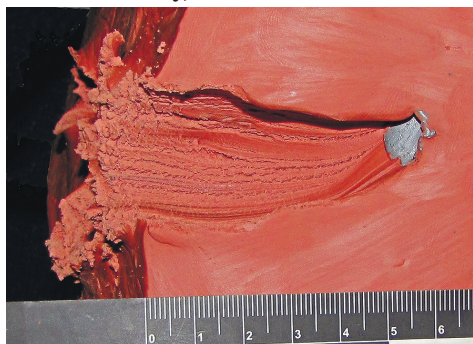


Рис. 14. Поздовжній перетин пошкодження блока балістичного пластиліну, позначеного як «2»

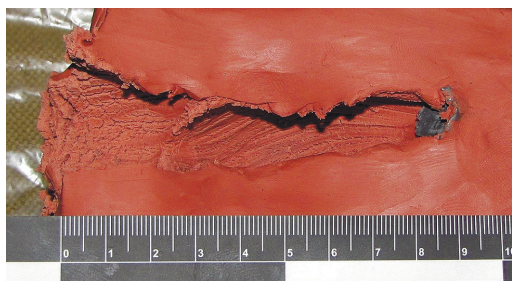


Рис. 15. Поздовжній перетин пошкодження блока балістичного пластиліну, позначеного як «3»

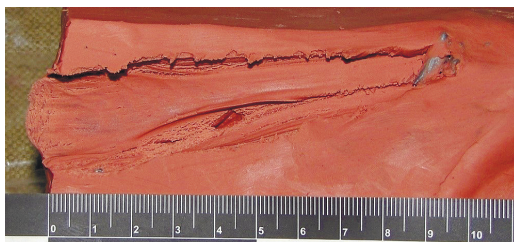


Рис. 16. Поздовжній перетин пошкодження блока балістичного пластиліну, позначеного як «4»

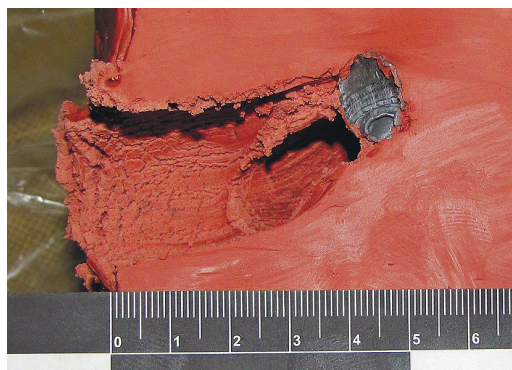


Рис. 17. Поздовжній перетин пошкодження блока балістичного пластиліну, позначеного як «5»

Зважаючи на результати проведених досліджень, найтипівішою формою кулі, позначених як «2», «3» та «5» (див. рис. 14, 15, 17), після їх деформування внаслідок рикошету, можна вважати форму, наближену до овальної. Якщо, рухаючись у товщі перешкоди,

вони не змінювали свого положення, то площа контакту деформованих куль із в'язко-пружним середовищем блока балістичного пластиліну становила 141,14–176,15 мм².

Для таких куль складено табл. 5 і 6 із параметрами, необхідними для подальших розрахунків (зокрема, для визначення коефіцієнта сил опору середовища).

Таблиця 5

Параметри фрагментів куль для визначення коефіцієнта сил опору середовища

№ фрагмента	Маса фрагмента кулі, г	Розрахункова площа контакту, мм ²	Швидкість фрагмента кулі в момент влучання після рикошету, м/с	Глибина каналу пошкодження, мм
2	2,43	160,42	254,2	58
3	2,36	141,14	226,7	89
5	2,38	176,15	242,4	50

Таблиця 6

Енергетичні параметри фрагментів куль після рикошету

№ фрагмента	Кінетична енергія, Дж	Питома кінетична енергія, Дж/мм ²
2	78,51	0,489
3	60,64	0,430
5	69,92	0,396

Аналіз даних табл. 5 і 6 свідчить: хоча фрагменти кулі й мають доволі високу контактну швидкість у момент влучання у блок балістичного пластиліну, але для спричинених ними пошкоджень характерні доволі неглибокі канали, що зумовлено значною контактною площею деформованого фрагмента кулі. Незважаючи на це, на основі граничного значення довжини ранового каналу 50 мм можна констатувати, що в разі влучання в тіло людини досліджувані фрагменти куль обов'язково завдадуть проникного поранення зі значним обсягом пошкодження біологічних тканин.

Оскільки всю кінетичну енергія фрагменти куль передали блоку балістичного пластиліну, то в першому наближенні можна знехтувати втратами енергії на нагрів і подолання сил тертя.

Отже, вважаємо, що всю кінетичну енергію окремого фрагмента кулі витрачено на подолання сил опору в'язко-пружного середовища. Тоді:

$$A = E_{kin} = \frac{m V_c^2}{2} = F_c \cdot l, \quad (1)$$

де: A — робота, яку здійснив фрагмент кулі у товщі перешкоди, Дж;
 E_{kin} — кінетична енергія фрагмента кулі у момент влучання, Дж;
 m — вага фрагмента кулі, кг;
 V_c — швидкість фрагмента кулі у момент влучання, м/с;
 F_c — сила опору середовища, Н;
 l — довжина каналу пошкодження, м.

Перетворивши емпіричну залежність (1) щодо сили опору F_c і враховуючи емпіричну залежність для

розрахунку сили опору, можна визначити коефіцієнт сили опору в'язко-пружного середовища:

$$C_1 = - \frac{2 \cdot E_{kin}}{\rho V_c^2 \cdot S_0 \cdot l}, \quad (2)$$

де: ρ — щільність середовища, кг/м³;
 S_0 — площа контакту фрагмента кулі в момент влучання, м².

Результати розрахунків наведено в табл. 7. Аналіз результатів свідчить, що чим більша площа контакту та швидкість фрагмента кулі в момент влучання, тим більшою є сила опору середовища і тим менший рановий канал завдовжки.

Зменшення контактної швидкості за меншої площини контакту збільшує глибину завданого пошкодження.

У розрахунках щільність середовища становила 1040 кг/м³. Здобуті дані дають змогу обчислити граничну швидкість фрагмента кулі після рикошету у в'язко-пружному середовищі (V_{gr}), яке визначають за формулою ¹⁵:

$$V_{gr} = a \ln V_c - b, \quad (3)$$

де: V_c — швидкість фрагмента кулі у момент влучання, м/с;
 a, b — коефіцієнти кореляції.

Таблиця 7

Коефіцієнт опору середовища фрагментів куль після рикошету

№ фрагмента	Глибина каналу пошкодження, мм	Розрахункова площа контакту, мм ²	Кінетична енергія, Дж	Сила опору середовища, Н	Коефіцієнт сил опору середовища
2	58	160,42	78,51	1353,62	0,251
3	89	141,14	60,64	681,35	0,181
5	50	176,15	69,92	1398,40	0,260

Граничне значення швидкості V_{gr} визначають на основі квадратичного закону спротиву, згідно з яким швидкість уражаючого елемента в разі так званих сліпих вогнепальних поранень (пошкоджень) не може дорівнювати 0: його визначають із отриманих функціональних залежностей для конкретного уражаючого елемента за допущень, що $l = 0$, до того ж $\ln V_c = \ln V_{gr}$.

На підставі наведених у табл. 7 даних визначено, що для досліджуваних фрагментів куль після рикошету значення коефіцієнтів кореляції становлять: $a = 0,349$; $b = 1,977$. Значення коефіцієнта опору для досліджуваних фрагментів куль після рикошету для в'язко-пружного середовища — 0,181—0,260.

Отже, якщо вважати за граничне значення довжину ранового каналу

15 Озерецковський Л. Б., Гуманенко Е. К., Бояринцев В. В. Указ. соч. ; Коломійцев О. В., Остропілець В. Р., Нікітюк В. Г., Герман О. М., Добривченко Б. Д. Розробка методичних рекомендацій з визначення уражаючих властивостей куль після рикошету. Рукопис. № держреєстр. 0118U004606. Харків, 2019. 110 с.

50 мм, то розрахункове граничне значення швидкості такого уражаючого елемента, як деформований фрагмент 5,6 мм свинцевої кулі після рикошету, становитиме 250 м/с. Тому, використовуючи емпіричне вираження (3), можна

обчислити довжину ранових каналів для експериментально визначених значень контактної швидкості фрагментів куль після рикошету.

Результати розрахунків наведено у табл. 8.

Таблиця 8

Розрахункові значення довжини каналів пошкоджень

<i>№ фрагмента</i>	<i>Швидкість фрагмента кулі в момент влучання після рикошету, м/с</i>	<i>Експериментально визначена глибина каналу пошкодження, мм</i>	<i>Розрахункове значення глибини каналу пошкодження, мм</i>	<i>Погрішність, %</i>
2	254,2	58	52	10,3
3	226,7	89	33	62,9
5	242,4	50	47	6,0

Аналіз наведених у табл. 8 даних свідчить про наявність доволі високих розбіжностей у значеннях глибини каналів пошкоджень, здобутих експериментально та шляхом розрахунків, у разі значень контактної швидкості, менших за граничне. Пояснити це можна лише недостатнім обсягом експериментальних даних, необхідних для їх статистичного оброблення. Водночас значну кількість експериментальних досліджень доволі складно статистично обробити. Отже, визначені емпіричні залежності для обчислення глибини ранового каналу фрагментів 5,6 мм свинцевих куль після рикошету мають обмежене застосування, оскільки їх можна використати для випадків, коли контактні швидкості близькі до граничного значення (250 м/с). За менших контактних швидкостей розрахункове значення довжини ранового каналу суттєво зменшується,

а за більших — збільшується, хоча проведені експерименти довели зворотну залежність, яка має фізичне пояснення: зі зростанням швидкості сила опору збільшується у квадратичній залежності, що за інших рівних умов призводить до зменшення довжини ранового каналу. Наприклад, для фрагмента кулі «3» за інших рівних умов (із контактними швидкостями 200, 250 і 300 м/с) розрахункові значення довжини каналу пошкоджень становитимуть 10,4; 50,0 і 82,4 мм відповідно, хоча на практиці має місце зворотна тенденція.

Згідно з енергетичною концепцією ураження цілі основним критерієм є гранична величина питомої кінетичної енергії (0,5 Дж/мм²), тому для досліджуваних фрагментів куль можна обчислити відповідні значення контактної швидкості. Результати розрахунків викладено в табл. 9.

Таблиця 9

**Швидкість фрагментів 5,6 мм свинцевих куль після рикошету
(граничне значення питомої кінетичної енергії 0,5 Дж/мм²)**

№ фрагмента	Граничне значення питомої кінетичної енергії, Дж/мм ²	Відповідне значення швидкості, м/с
2	0,5	256,9
3	0,5	244,6
5	0,5	272,1

Середнє значення граничної швидкості — 257,8 м/с, що наближене до визначеного раніше граничного значення (250 м/с). Проте ці значення актуальні лише для фрагментів, які близькі за масою (не менше ніж 90—95 % від первинної маси куль) і мають відповідну площу контакту, схожу за формою та ступенем деформування кулі після рикошету. За інших параметрів форми, розмірів і маси фрагментів куль їх уражаючі властивості після рикошету потрібно визначати індивідуально.

Висновки

Результати проведених досліджень дають підстави стверджувати, що (незважаючи на складність проведення експериментів і наявність неповної кореляції результатів цих досліджень із результатами розрахунків) запровадження у практику судово-балістичної й судово-медичної експертиз альтернативного критерію оцінювання уражаючих властивостей куль і їх фрагментів після рикошету, який ґрунтується на довжині ранового каналу з відповідним його граничним значенням, є доцільним. Певні недоліки такого підходу (без використання комп'ютерного моделювання фізичних процесів, які відбуваються під час рикошету, і без більш точного обчислення значень контактної

поверхні уражаючих елементів під час їх просування в товщі імітатора біологічних тканин), за умови розрахування довжини ранового каналу на підставі наявних емпіричних залежностей, — можливе зниження ступеня достовірності результатів. Однак, у першому наближенні такий розрахунковий метод можна застосовувати для визначення уражаючих властивостей куль і їх фрагментів після рикошету та визначення ймовірної шкоди, завданої тілу людини. До того ж проведені дослідження свідчать, що такий спосіб доцільний для визначення уражаючих властивостей малокаліберних куль також інших калібрів після рикошету.

Окремо варто зазначити, що під час експериментів уперше здобуто дані щодо швидкості свинцевих малокаліберних куль і їх фрагментів після рикошету, що дало змогу розрахувати й визначити емпіричну залежність довжини ранового каналу від контактної швидкості уражаючого елемента.

Peculiarities of Determining Affecting Properties of Small-bore Bullets After Ricochet

Oleksandr Kolomiitsev, Viktor Sapielkin, Pavel Giverts, Oleksandr Herman

Authors aimed to summarize experimental researches of affecting properties of monolithic .22 Long Rifle bullets after their ricochet from various types of obstacles. Alternative criterion

for evaluating the affecting properties of bullets is proposed using this criterion it is possible to forecast the degree and severity of bodily injuries after ricochet. Specifics and conditions under which fragmentation of monolithic small-bore bullets occurs are revealed, as well as flight speed of bullets and their fragments after impact-contact interaction with obstacles of various types is determined. Special attention is paid to research on interaction nature of bullets and their fragments with a viscoelastic environment imitating biological human body tissues after ricocheting. It has been determined that energy concept of affection to biological target and criteria for its evaluation research on affecting properties of bullets after ricochet have limited application, since it is not always possible to accurately determine initial conditions of hitting as the bullets themselves as their individual fragments. Obtained results of experimental research and field tests made possible to form an alternative criterion for assessing the severity of bodily injuries that a person suffered as a result of being hit by small-bore lead bullets after ricocheting. It is the length of the wound channel caused by a bullet or its fragments as a result of their impact on a person's body after ricocheting. A calculation method for determining the length of the caused wound channel is proposed that can be used in forensic expert practice to determine potential injury to human life and health.

Keywords: energy concept of target hitting; calculation method; affecting properties; alternative evaluation criterion; length of the wound canal; imitator of biological tissues; small-bore bullet; ricochet.

Фінансування

Це дослідження не отримало жодного спеціального гранту від фінансових установ у державному, комерційному чи некомерційному секторах.

Відмова від відповідальності

Засновники не грали жодної ролі у розробленні дослідження, добиранні

й аналізуванні даних, рішенні про публікацію чи підготовку рукопису.

Учасники

Автори внесли свій внесок винятково в інтелектуальну дискусію, що є основою цього документа, дослідження судової практики, написання та редагування, і беруть на себе відповідальність за її зміст і тлумачення.

Декларація щодо конфлікту інтересів

Автори заявляють, що у них відсутній конфлікт інтересів.

References

- Bilenko, O. I., Kyrychenko, O. O., Pavlov, D. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu materialu metalnogo elementu na kharakterystyky rykoshetu [Methods of reducing the energy characteristics of affecting element after reflection from obstacle]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi hvardii Ukrainy*. Vyp. 2 (30). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znprav_2017_2_5 [in Ukrainian].
- Bilenko, O. I., Kyrychenko, O. O., Pavlov, D. V. (2018). *Metodyka znyzhennia enerhetychnykh kharakterystyk porazhaiuchoho elementa pislia vidbytta vid pereshkody* [Research on influence of metal element material on ricochet characteristics]. *Science Rice*. Vol. 4 (45). DOI: 10.15587/2313-8416.2018.129326 [in Ukrainian].
- Burke, T. W., Rowe, W. F. (1992). Bullet ricochet: A comprehensive review. *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 37 (5). DOI: 10.1520/JFS13312J.
- Denisov, A. V., Tiurin, M. V., Sokhranov, M. V. i dr. (2014). Osobennosti porazheniia zhivyykh tselei v zone rikosheta pul pri strelbe po tverdyim pregradam [Specifics of defeating live targets in bullet ricochet zone while firing at solid obstacles]. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii*. № 1 (45) [in Russian].
- Ehidlin, L. M. (1963). *Ognestrelnyepovrezhdeniia. Vrachebnoe i kriminalisticheskoe raspo-*

- znavanje i otsenka [Gunshot damage. Medical and forensic recognition and evaluation]. Tashkent [in Russian].
- Giverts, P. V. (2018). Kriminalisticheskoe issledovanie vintovok AIRSOFT, modernizirovannykh dlia strelby patronami kalibra 5,56×45 mm [Criminalistic research on airsoft rifles modified for shooting cartridges of the caliber 5.56×45 mm]. *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky*. Vyp. 18. DOI: [10.32353/khrife.2018.34](https://doi.org/10.32353/khrife.2018.34) [in Russian].
- Gusentsov, A. O., Artiushin, A. A., Danilova, V. A. (2009). Teoriia i praktika sozdaniia modeli rikosheta ognestrelnogo snariada v usloviakh laboratornogo ehksperimenta [Theory and practice of creating a ricochet model of firearm projectile under conditions of a laboratory experiment]. *Sudovo-balistychni doslidzhennia ta sumizhni haluzi znan : persh. mizhnar. nauk.-prakt. seminar*. Kyiv [in Russian].
- Haag, L. C. (1975). Bullet Ricochet: An empirical study and a device for measuring ricochet angle. *AFTE Journal*. Vol. 7 (3).
- Haag, M., Haag, L. (2020). *Shooting incident reconstruction*. DOI: [10.1016/C2018-0-03137-0](https://doi.org/10.1016/C2018-0-03137-0).
- Jauhari, M. (1969). Bullet ricochet from metal plates. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*. Vol. 60 (3). DOI: [10.2307/1141995](https://doi.org/10.2307/1141995).
- Karget, B, Joosten, U. (2001). A case of «boomerang» bullet ricochet. *International Journal of Legal Medicine*. Vol. 115 (2). DOI: [10.1007/s004140000148](https://doi.org/10.1007/s004140000148).
- Kofanov, A. V. (2018). Teoretychni ta praktychni aspekty modeliuвання rykoshetuvannya vohnepalnoho snariada pry provedeni ekspertnoho ehksperimentu [Theoretical and practical aspects of modeling of firearm projectile ricochet while forensic expert experiment]. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza*. Vyp. 63 (1). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise_2018_63%281%29__36 [in Ukrainian].
- Kolomiitsev, O. V. (2005). *Metod rozrakhunkovoho ta ehksperymentalnoho vyznachennia vyhliadu snariada spetsialnoho pryznachennia iz zadanymy aerodynamichnymy vlastyvostiamy* [Calculation method of and experimental determination of appearance of a special-purpose projectile with given aerodynamic properties] : dys. ... kand. tekhn. nauk. Kharkiv [in Ukrainian].
- Kolomiitsev, O. V., Ostropilets, V. R., Nikitiuk, V. H., Herman, O. M., Dobrychenko, B. D. (2019). *Rozrobka metodychnykh rekomendatsii z vyznachennia urazhaiuchykh vlastyvostei kul pislia rykoshetu* [Development of methodological recommendations for determining the affecting properties of bullets after ricochet]. Rukopys. № derzhreistr. 0118U004606. Kharkiv [in Ukrainian].
- Kotas, Z., Reno, C. E. (2014). A Case Study in the use of bullet ricochet experimentation to provide evidence in a homicide. *AFTE Journal*. Vol. 46 (3).
- Moxnes, J. F., Frøyland, Ø., Skriudalen, S. et al. (2016). On the study of ricochet and penetration in sand, water and gelatin by spheres, 7.62 mm APM2, and 25 mm projectiles. *Defence Technology*. Vol. 12. DOI: [10.1016/j.dt.2015.12.004](https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.12.004).
- Ozeretskovskii, L. B., Gumanenko, E. K., Boiarintsev, V. V. (2006). *Ranevaia ballistika* [Wound ballistics]. Sankt-Peterburg [in Russian].
- Petruchenko, O. S. (2015). Shchodo vvychennia vzaiemodii kuli chy oskolka snariada z pereshkodoiu [Regarding the study of the interaction of a bullet or a fragment of a projectile with an obstacle]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii (m. Odesa). Tekhnichni nauky*. Vyp. 2 (4). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/zbnpva_2015_2_13 [in Ukrainian].
- Petruchenko, O. S., Fliud, O. V., Bilash, O. V., Velychko, L. D. (2017). *Doslidzhennia spivudaru tverdykh til* [Research on collision of solid bodies]. *VII Naukovo-praktychna konferentsiia : zb. tez dopov*. Kharkiv [in Ukrainian].

- Popov, V. L., Shigeev, V. B., Kuznetsov, L. E. (2002). *Sudebno-meditsinskaia ballistika* [Forensic ballistics]. Sankt-Peterburg. URL: <https://djvu.online/file/hkakzjDMC5I3P> [in Russian].
- Rathman, G. A. (1987). Bullet ricochet and associated phenomena. *AFTE Journal*. Vol. 19 (4).
- Shepitko, V., Shepitko, M., Simakova-Yefremian, E., Kolomiitsev, A. (2020). The Determination of the Bullet Velocity After Ricochet Using Computer Modeling. *AFTE Journal*. Vol. 52 (2).
- Thompson, E., Wyant, R. (2003). Asphalt skip shooting reconstruction. *AFTE Journal*. Vol. 35 (1).

Коломійцев, О., Сапелкін, В., Гіверц, П., Герман, О. (2022). Особливості визначення уражаючих властивостей малокаліберних куль після рикошету. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. Вип. 2 (27). С. 59–75. DOI: 10.32353/khrife.2.2022.05.