

УДК 551.510.42

В. Г. Малюк, О. М. Калита, М. І. Зюбан

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОЛІТ КУЛІ СТРЕЛЬЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Розглядаються принципи побудови комп'ютерної моделі польоту кулі, яка дозволяє оцінити вплив вітрового навантаження та балістичного коефіцієнта на параметри пострілу. Проведені розрахунки підтверджують точність моделі. Наведені практичні рекомендації щодо вибору параметрів кулі для різних умов стрільби.

Постановка проблеми. Велику роль у виконанні спеціальних операцій особовим складом внутрішніх військ відіграє снайперська зброя. Точний постріл з достатньо високою енергетикою кулі вирішує численні задачі боротьби зі злочинністю, особливо в населених пунктах. З мінімальним ризиком для присутніх, у тому числі заручників, можна знешкодити злочинця, як удень, так і вночі. З використанням снайперської зброї найбільш ефективно виконують завдання виведення з ладу різних технічних пристроїв (засобів зв'язку, легкоброньованих транспортних засобів, літаків на аеродромах поза укриттями).

На ефективність застосування снайперської гвинтівки впливають як розсіювання, так і точність пострілу. Також на ці два параметри стрільби впливають численні атмосферні фактори, технологічні особливості виробництва патронів та ін. На рис. 1 показано розсіювання 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова (СВД). Серединні (ймовірні) відхилення за висотою B_e і у бічному напрямку B_o в діапазоні прицільної дальності взяті з експлуатаційної документації на даний зразок зброї. Радіус кола, у яке потрапляє краща половина влучень r_{50} , визначається за співвідношенням [4]

$$r_{50} = 1.76\sqrt{B_e B_o}.$$

Оцінювання радіуса кола, у яке потрапляють всі влучення, проводилося за формулою

$$R_{100} \cong 2.3r_{50}.$$

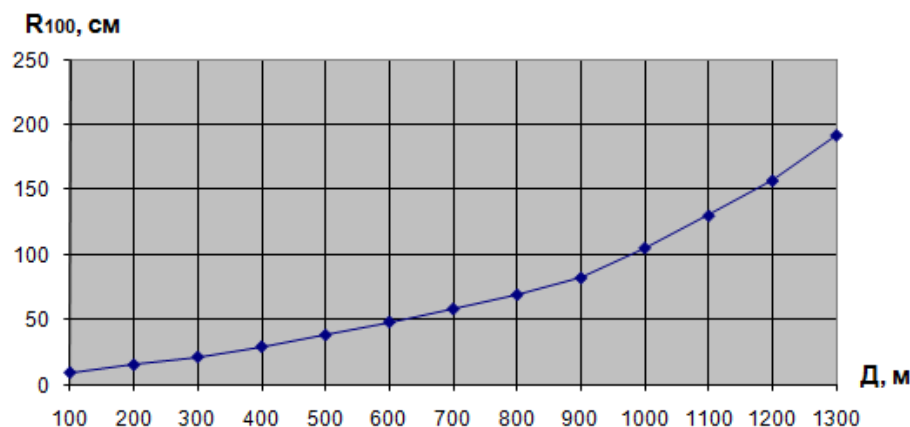


Рис. 1. Розсіювання снайперської гвинтівки СВД залежно від дальності пострілу

Як видно з рис. 1, розсіювання істотно залежить від дальності стрільби. Приблизно з відстані 500 м відбувається його стрімке збільшення. Для гвинтівки СВД вже на дистанціях 600 м одержуємо коло розсіювання $R_{100} \approx 50$ см, що практично робить ураження живої цілі першим пострілом малоімовірним.

Рішення всього різноманіття задач не може забезпечити снайперська гвинтівка одного калібру. Гвинтівковий патрон 7,62 мм ефективний у разі стрільби по живих цілях на дистанції до 600 м. Використання патрона 12,7 мм цю відстань збільшує до 1000 м, а деяких інших – до 2000 м.

Збільшення дальності ефективною стрільби для патрона 12,7 мм, порівняно з патроном калібру 7,62 мм, пов'язане з різними значеннями їх балістичних коефіцієнтів, які значно впливають на

зовнішню балістику куль.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням математичного моделювання польоту кулі стрілецької зброї присвячена низка науково-технічних видань. У праці [1] розглянуто табличні підходи до рішення цієї задачі. Комп'ютерні моделі з використанням диференціальних рівнянь, які враховують вплив різноманіття факторів на політ кулі, дозволяють проводити чисельні експерименти з метою обґрунтування тактико-технічних вимог до зразків зброї, що проектують, виробляти рекомендації для стрільби. Найбільш повно подібні задачі розглянуті у працях [2; 6], проте деякі питання мають постановочний характер, для моделювання використовується потужний, але громіздкий апарат системи MathCAD, непридатний для створення портативного балістичного комп'ютера.

Мета статті. На політ кулі після вильоту її зі ствола зброї впливають такі фактори, як температура повітря, атмосферний тиск, вологість повітря. Також істотно впливає її балістичний коефіцієнт, який залежить від маси, максимального діаметра поперечного перерізу кулі, а також від аеродинамічного коефіцієнта сили лобового опору. Для аналізу впливу цих факторів на політ кулі у різних точках траєкторії необхідно мати безперервну модель процесу. Комп'ютерна реалізація такої моделі може бути основою роботи балістичного обчислювача для стрілецької зброї.

Виклад основного матеріалу. З метою комплексного вивчення взаємодії зазначених факторів та визначення чутливості траєкторії до їх зміни розроблена математична модель польоту кулі у реальній атмосфері, розрахункова схема якої наведена на рис. 2.

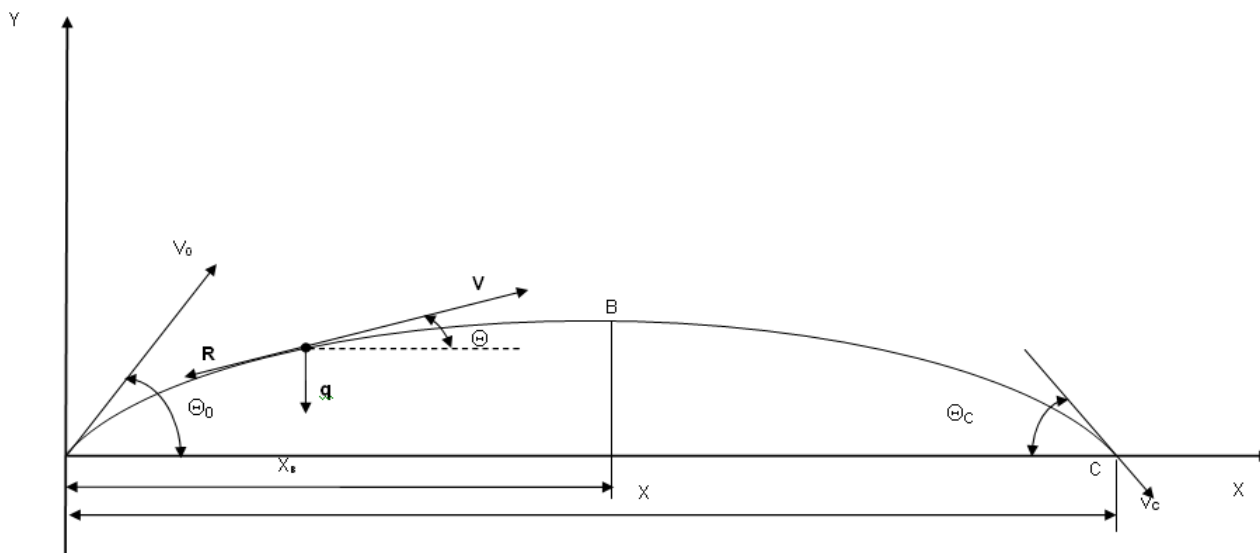


Рис. 2. Розрахункова схема математичної моделі польоту кулі

Для побудови математичної моделі польоту кулі прийняті такі припущення:

- куля є матеріальною точкою;
- Земля вважається пласкою і такою, що не обертається;
- прискорення сили тяжіння постійне й дорівнює 9,81 м/с²;
- сила опору повітря спрямована у бік, протилежний напрямку швидкості.

У векторній формі диференціальне рівняння руху кулі як матеріальної точки має вигляд [1]:

$$\frac{d\vec{j}}{dt} = \vec{R} + \vec{q}, \quad (1)$$

де \vec{j} – прискорення центру маси кулі; \vec{q} – сила тяжіння кулі; g – прискорення вільного падіння; \vec{R} – сила лобового опору.

Стандартна форма запису величини сили \vec{R} має вигляд:

$$R = C_x \frac{\rho V^2}{2} S_M, \quad (2)$$

де C_x – аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору, який визначається за результатами випробувань (стрільб з вимірюванням швидкості кулі або продувок у аеродинамічних трубах); ρ – масова щільність повітря; $S_m = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа міделя, тобто площа найбільшого поперечного перерізу кулі; d – калібр кулі.

Коефіцієнт C_x є функцією числа Маха, що визначається за формулою

$$M = \frac{V}{a}, \quad (3)$$

де a – швидкість звука у конкретних атмосферних умовах.

Функцію $C_x(M)$ називають також функцією лобового опору. Введемо коефіцієнт форми кулі

$$i = \frac{C_x(M)}{C_{xe}(M)}, \quad (4)$$

де $C_{xe}(M)$ – еталонна функція опору. На рис. 3 наведений закон опору 1943 року [1], який найбільше застосовують у дослідженнях куль стрілецької зброї.

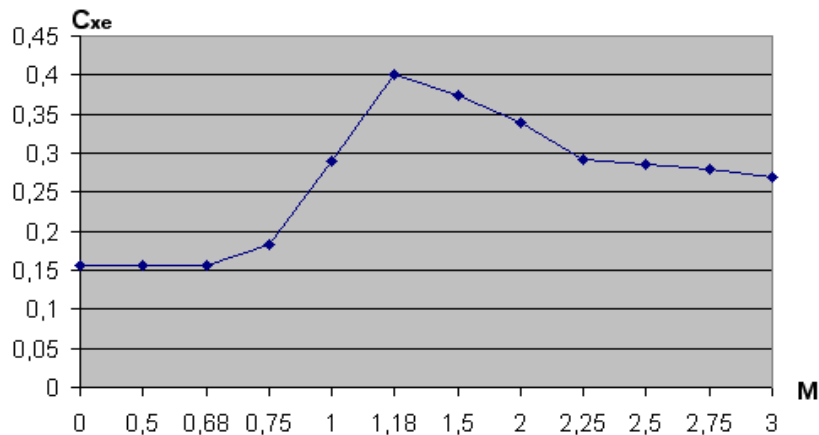


Рис. 3. Залежність аеродинамічного коефіцієнта сили лобового опору від швидкості кулі

Із урахуванням співвідношень (2)...(4) у проекціях на осі координат рівняння (1) зводиться до системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -g \sin \theta - i \cdot C_x \cdot \frac{\rho_0 V^2}{2m} S_M, \\ \frac{d\theta}{dt} &= -g \frac{\cos \theta}{V}, \\ \frac{dx}{dt} &= V \cos \theta, \\ \frac{dy}{dt} &= V \sin \theta, \end{aligned} \quad (5)$$

де t – час; V – величина швидкості в довільний момент часу; m – маса кулі; i – коефіцієнт форми кулі; θ – поточне значення кута між дотичною в довільній точці траєкторії та віссю x .

Початкові умови:

$$t = 0; \quad x = 0; \quad y = 0; \quad V = V_0; \quad \theta = \theta_0. \quad (6)$$

Побудуємо оператор переходу для інтегрування системи рівнянь (1), (2) за методикою, викладеною у [5]. Позначимо $X_1 = V$; $X_2 = \theta$; $X_3 = x$; $X_4 = y$.

Тоді задача (1) набирає такого вигляду:

$$\dot{X}_1 = -g \sin X_2 - i \cdot C_x \cdot \rho \cdot X_1^2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot g / 8 \cdot q,$$

$$\dot{X}_2 = -g \cdot \cos X_2 / X_1,$$

$$\dot{X}_3 = X_1 \cos X_2,$$

$$\dot{X}_4 = X_1 \sin X_2;$$

з початковими умовами:

$$t = 0,$$

$$X_1 = V_0 = 830,$$

$$X_2 = \frac{\pi \cdot Q_0}{180} = \frac{\pi \cdot 14}{180 \cdot 60} = 0.0041 \text{ рад},$$

$$X_3 = 0,$$

$$X_4 = 0.$$

Виконаємо алгебраїзацію похідних за явним методом Ейлера:

$$\frac{X_{1,n+1} - X_{1,n}}{h} = -g[\sin X_{2,n} + i \cdot C_x \cdot \rho \cdot X_{1,n}^2 \cdot \pi \cdot d^2 / 8q],$$

$$\frac{X_{2,n+1} - X_{2,n}}{h} = -g \cos X_{2,n} / X_{1,n},$$

$$\frac{X_{3,n+1} - X_{3,n}}{h} = X_{1,n} \cos X_{2,n},$$

$$\frac{X_{4,n+1} - X_{4,n}}{h} = X_{1,n} \sin X_{2,n};$$

де h – крок інтегрування. Одержимо оператор переходу для інтегрування рівнянь (5) у вигляді:

$$X_{1,n+1} = X_{1,n} - gh(\sin X_{2,n} + i \cdot C_x \cdot \rho \cdot X_{1,n}^2 \cdot \pi \cdot d^2 / 8q),$$

$$X_{2,n+1} = X_{2,n} - (gh \cos X_{2,n}) / X_{1,n},$$

$$X_{3,n+1} = X_{3,n} + hX_{1,n} \cos X_{2,n},$$

$$X_{4,n+1} = X_{4,n} + hX_{1,n} \sin X_{2,n}.$$

(7)

Алгоритм обчислення траєкторії польоту кулі. Позначимо змінні: t – модельний час; AllTime – інтервал часу моделювання.

Крок 1. Визначити значення коефіцієнтів моделі i , C_x , ρ .

Крок 2. Визначити параметри стрільби θ_0 , V_0 , q , m , i , d .

Крок 3. Прийняти $n = 0$, $t = 0$, $X_1 = 830$, $X_2 = 0.0041$, $X_3 = 0$, $X_4 = 0$.

Крок 4. Обчислити аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору C_x за табличними даними та залежністю (див. рис. 3).

Крок 5. Обчислити нові значення координат моделі відповідно до оператора переходу (7).

Крок 6. Вивести значення t і координат моделі на екран ПК.

Крок 7. Прийняти $n = n + 1$, $t = t + h$.

Крок 8. Якщо $t < \text{AllTime}$, перейти до кроку 4.

Крок 9. Кінець.

Для оцінювання точності чисельного моделювання виконано розрахунки окремих випадків, результати яких можна перевірити за традиційними таблицями. Приклад розрахунку траєкторії польоту кулі зі сталевим осердям для снайперської гвинтівки СВД наведений на рис. 4. Вихідні дані стрільби беремо для прицілу 4:

$$\theta_0 = 14'; V_0 = 830 \text{ м/с}; q = 9,6 \text{ г}; m = \frac{q}{g}; i = 1.0; d = 7,62 \text{ мм}.$$

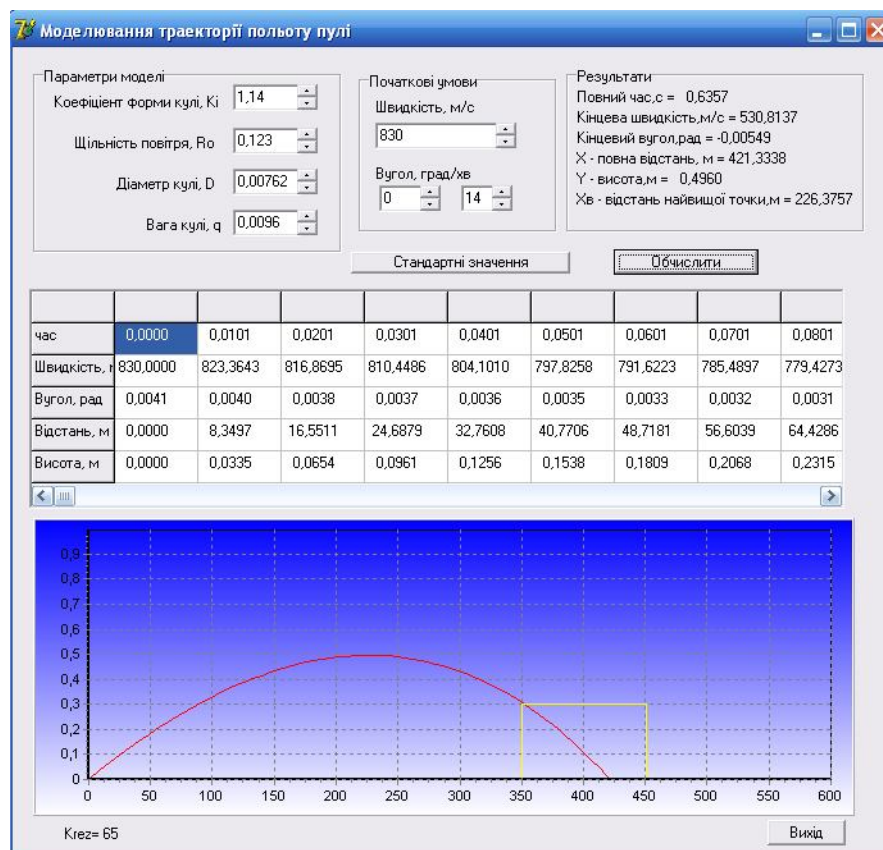


Рис. 4. Програмний інтерфейс моделювання траєкторії кулі

Результати контрольного розрахунку табличним та чисельним методами наведені у таблиці.

Параметри траєкторії	Табличний метод	Чисельний метод
Повна горизонтальна дальність, м	421,0	421,3
Висота траєкторії, м	0,486	0,5
Горизонтальна дальність до вершини траєкторії, м	225,85	226,0
Повний час польоту кулі, с	0,636	0,640
Кут падіння, рад	$0,545 \cdot 10^{-2}$	$0,549 \cdot 10^{-2}$

Результати чисельного моделювання підтверджують високу точність розрахунків.

За допомогою програми моделювання розглянемо вплив вітрового навантаження на політ кулі при стрільбі на великі дистанції зі снайперської зброї. Порівняємо патрони $7,62 \times 54$ та $12,7 \times 107$, які мають різні значення балістичного коефіцієнта і початкові швидкості 830 м/с та 820 м/с відповідно. Відхилення кулі під дією вітру, напрямком якого перпендикулярний площині стрільби, визначається за співвідношенням

$$Z = V_z^0 \left[T - \frac{X}{V_0 \cos \Theta_0} \right],$$

де V_z^0 – складова швидкості вітру, перпендикулярна площині стрільби; T – повний час польоту кулі; Θ_0 – кут піднесення; X – повна горизонтальна дальність.

Результати розрахунків для досліджених патронів представлені на рис. 5. З графіків видно, що дальність ефективного пострілу істотно залежить від відхилення кулі внаслідок вітру.

Слід зауважити, що поправка на вітер у разі стрільби на великі дистанції точно не може бути визначена через труднощі оцінювання сили вітру і його напрямку. Тому точність пострілу на великих дистанціях вища у кулі, яка найменше залежить від вітрового впливу. Такими є кулі з найменшим балістичним коефіцієнтом.

Нааявність полів допусків на геометричні параметри кулі та її вагові характеристики призводить до того, що балістичний коефіцієнт завжди має розкид [2; 3]. Для практики важлива точність

виготовлення кулі, яка впливає на параметри траєкторії в широкому діапазоні дистанції стрільби. На

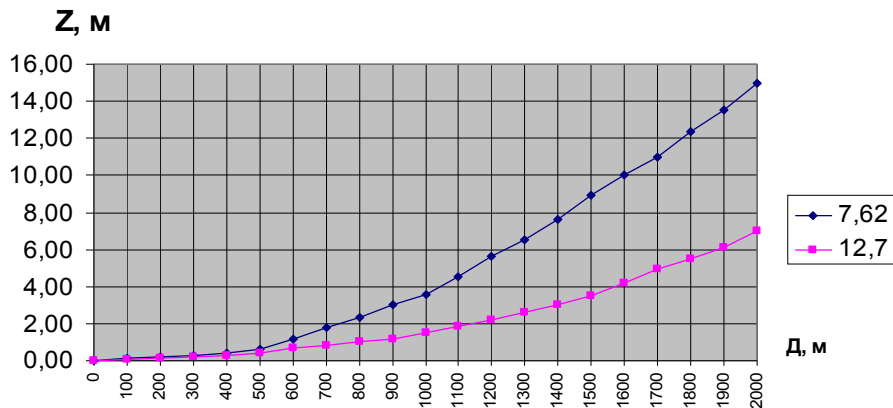


Рис. 5. Вплив вітру на політ кулі

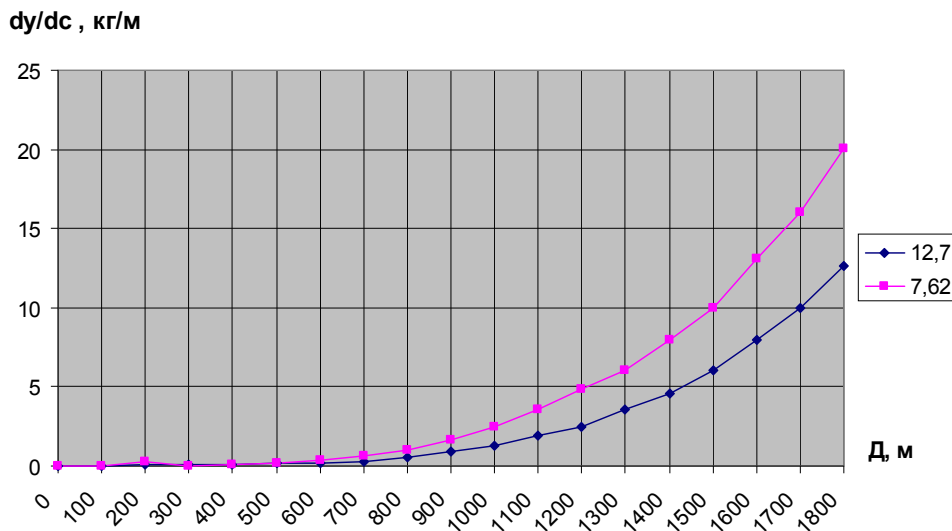


Рис. 6. Чутливість координати Y до розкиду балістичного коефіцієнта

рис. 6 показані графіки залежності похідної координати Y за балістичним коефіцієнтом від дистанції стрільби.

Зазначена похідна характеризує чутливість траєкторії до зміни значення балістичного коефіцієнта кулі. Як видно з графіка, для кожного патрона є ділянка слабкої чутливості траєкторії до зміни значення балістичного коефіцієнта. Починаючи з певної дистанції починається різкий вплив відхилень балістичного коефіцієнта на характеристики траєкторії. У разі перевищення цієї дистанції необхідно враховувати вплив технологічних факторів на характеристики польоту кулі.

Висновки

На точність стрільби впливають різні фактори: точність визначення відстані до цілі, температура навколишнього середовища, вітрове навантаження, розкид балістичного коефіцієнта. Запропонований спеціалізований програмний модуль дозволяє оцінити вплив на точність стрільби зазначених факторів, оцінити помилки практичного визначення параметрів стрільби залежно від параметрів кулі та відстані до цілі.

Список використаних джерел

1. Логвин А. М. Стрельба артиллерии и внешняя баллистика / А. М. Логвин, В. Г. Александров. – Пенза : ПВАНУ, 1977. – 254 с.
2. Кирилов В. М. Патроны стрелкового оружия / В. М. Кирилов, В. М. Сабельников. – М. : Воениздат, 1980. – 372 с.
3. Пистолетные и снайперские патроны. Гранатометные выстрелы : учеб. пособие / В. К. Зелёно и др. – Тула : Инфра, 2008. – 120 с.
4. Основы стрельбы из оружия стрелковых подразделений / Н. П. Семикаленов и др. – М. : Воениздат, 1958. – 266 с.
5. Малюк В. Г. Моделивання в біології та медицині : навч. посіб. / В. Г. Малюк, Б. І. Борзенков. – Х. : ХНУРЕ, 2003. – 214 с.
6. Зуденко А. И. Моделирование влияния природных факторов на баллистические характеристики пули [Электронный ресурс] / А. И. Зуденко. – Режим доступа : <http://kit402.od.ua>.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2010 р.