

Імітація латеральної складової польоту кулі на оптоелектронному стрілецькому тренажері

Заневський І.П., Коростильова Ю.С., Михайлов В.В.
Львівський державний університет фізичної культури

В статті розглядається проблема верифікації методики імітації латеральної складової польоту кулі на тренажері СКАТТ. Запропоновано методику визначення положення центра пробоїни від кульки, відповідних точок прицілювання, центра віртуальної пробоїни. Розроблено модель імітації вертикального пониження траєкторії кульки з урахуванням гравітаційної складової руху. Визначено співвідношення між латеральним переміщенням кульки й відповідним коефіцієнтом в імітаційній моделі СКАТТ. Розроблено рекомендації щодо отримання оптимального значення коефіцієнта латеральної складової руху кульки.

Заневский И.Ф., Коростылева Ю.С., Михайлов В.В. Имитация латеральной составляющей полета пули на оптоэлектронном стрелковом тренажере. В статье рассматривается проблема верификации методики имитации латеральной составляющей полета пули на тренажере СКАТТ. Предложено методику определения положения центра пробоины от пульки, соответствующих точек прицеливания, центра виртуальной пробоины. Разработано модель имитации вертикального понижения траектории пульки с учетом гравитационной составляющей движения. Определено соотношение между латеральным перемещением пульки и соответствующим коэффициентом в имитационной модели СКАТТ. Разработано рекомендации по получению оптимального значения коэффициента латеральной составляющей движения пульки.

Zanevsky I.P., Korostylova Yu.S., Mykhaylov V.V. Bullet flight lateral component imitation on SCATT optoelectronic shooting simulator. The article considers the problem of the imitation method of bullet flight lateral component on SCATT simulator. The methods of finding the location of a pellet hole centre, a virtual hole centre, and corresponding sighting points are proposed. Taking into account gravitation movement component, the model of vertical pellet fall imitation is developed. The correlation between lateral pellet movement and corresponding SCATT imitation model coefficient is defined. Recommendations to find optimal pellet lateral movement component coefficient are developed.

кульова стрільба, тренажер СКАТТ, латеральна складова руху кульки.

пулевая стрельба, тренажер СКАТТ, латеральная составляющая движения пульки.

shooting, SCATT simulator, pellet lateral movement component.

Вступ.

Оптоелектронні тренажери останнім часом стали обов'язковим засобом технічної підготовки як початківців, так і висококваліфікованих спортсменів у різних видах стрілецького спорту. Найбільшого поширення набули оптоелектронні тренувальні системи Ноптель [8], Ріка [7] і СКАТТ [6]. Їхня популярність серед стрільців пояснюється ефективністю застосування для контролю й відпрацювання стійкості зброї, точності наведення на мішень і чистоти спуску курка [1, 3, 4]. Під час тренування на оптоелектронному тренажері фіксуються також час прицілювання, інтервали між пострілами, частота серцевих скорочень стрільця та інші параметри [6-8]. Зокрема, оптоелектронним тренажером СКАТТ імітується латеральна складова польоту кулі. Розробники системи зазначають, що комп'ютерна програма СКАТТ використовує алгоритм, за яким вираховується поправка на латеральний рух зброї під час вильоту кулі зі стволу. Кількісно величина цієї поправки задається відповідним значенням коефіцієнта латеральної складової руху кульки, так званім «балістичним коефіцієнтом». Річ у тім, що полишивши ствол, кулька разом з основним рухом до мішені продовжує поперечний рух у тому ж напрямку, що й торець стволу на момент пострілу. Зазначається, що в разі низького рівня стійкості стрільця, СКАТТ зображує пробоїну осторонь від траєкторії. Користувачам системи пропонується експериментальним шляхом підбирати оптимальне значення цього коефіцієнта, яке відповідає «дистанції стрільби та швидкості кулі», однак, жодних кількісних даних стосовно відповідного коефіцієнта, на жаль, не подано, методика для визначення цього коефіцієнта не описана.

Оскільки математична модель й відповідний алгоритм для обчислення поправки на латеральну складову

руху кульки в документації стрілецького тренажера не наводяться, для коректного використання системи у тренуванні необхідно провести верифікацію цієї функції СКАТТ.

Дослідження проводились в рамках завдань НДР по темі 2.2.5 “Моделювання процесів взаємодії тіла людини зі спортивним приладдям” Зведеного плану науково-дослідної роботи у сфері фізичної культури і спорту на 2006-2010 роки (№ держреєстрації 0106U012607).

У відкритих публікаціях, які доступні спортсменам і тренерам, широкій спортивній громадськості, проблема верифікації запропонованої в СКАТТ методики обчислення поправки на латеральну складову руху кульки ніким, окрім авторів цієї статті [10], не розглядалася.

Мета, завдання роботи, матеріал і методи.

Метою роботи є верифікація методики імітації латеральної складової польоту кулі на оптоелектронному стрілецькому тренажері СКАТТ.

Завдання дослідження. 1. Розробити методику визначення положення центра пробоїни від кульки й відповідних точок прицілювання й центра віртуальної пробоїни СКАТТ для конкретного пострілу. 2. Провести експериментальне дослідження з паралельною фіксацією координат положення точки прицілювання й центрів пробоїн на реальній мішені та віртуальній мішені СКАТТ. 3. Розробити модель імітації вертикального пониження траєкторії кульки з урахуванням гравітаційної складової руху й провести її кількісну оцінку. 4. Вивчити та описати співвідношення між латеральним переміщенням кульки й відповідним коефіцієнтом в імітаційній моделі СКАТТ. 5. Порівняти між собою середні координати й розсіяння положення центрів пробоїн від кульок та віртуальних пробоїн на

мішені СКАТТ в діапазоні реально вживаних значень коефіцієнта латеральної складової руху кульки. 6. Виробити рекомендації щодо отримання оптимального значення коефіцієнта латеральної складової руху кульки.

Методика дослідження. Відповідно до правил стрільби з пневматичного пістолета [5] спортсмен високої кваліфікації виконав 15 тренувальних пострілів 4,49 мм кульками Finale Match з пневматичного пістолету Steyr LP-10 з оптичним сенсором СКАТТ USB OS 01 (рис. 1) по стандартній мішені, яка була встановлена в рамці оптоелектронної мішені СКАТТ USB ST4-12 (рис. 2) за допомогою модуля мішені СКАТТ USB UTC 02. Дульна швидкість кульок ($M \pm SD = 162,2 \pm 0,6$ м/с) вимірювалася встановленим на пістолеті спеціальним пристроєм Chronoscore Combro cb-625mk4 [2]. Під час виконання серії пострілів спортсмен мав завдання не коригувати техніку виконання наступного пострілу в залежності від результату попереднього й намагався виконати всі 15 пострілів якомога однаково. Щоб уникнути підсвідомого мотиву для корекції наступного пострілу в залежності від результату попереднього спортсмен не дивився на екран комп'ютера та на мішень з пробойною.

Поправка на латеральну складову руху кульки визначалася величиною відповідного балістичного коефіцієнта (15 одиниць), прийнятій за замовчанням у програмі СКАТТ.

Координати точки прицілювання, добувалися зі scatt файлу з використанням програми "samples.vbs" (Copyright 2002 ЗАО Scatt [6]). Координати реальних пробойн вираховувалися в ручну на міліметровому папері, оскільки система EasyScore, що використову-

ється у спортивній практиці, визначає лише результат пострілу (наприклад – 10,1), але не дає координати центра пробойни [7]. Координати віртуальних пробойн СКАТТ отримано зі scatt файлу з використанням програми "scattexp.vbs" (Copyright 2001 ЗАО Scatt [6]).

Для опрацювання результатів вимірювань використано метод Шапіра-Уїлка; статистичні тести на основі t -критерію Стьюдента й F -критерію Снедекора; комп'ютерні програми Excel, Paint і Statistica.

Результати дослідження.

На рис. 3 у прямокутній системі координат xSy з початком у центрі мішені показано точки прицілювання в момент пострілу (т. A), центри реальних (т. P) і віртуальних (т. S) пробойн. Центр пробойни знаходиться на відстані латеральної складової руху від точки прицілювання. В ідеалі положення т. S мало б співпадати з положенням т. P , однак через певну невідповідність імітаційної моделі реальному пострілу і внаслідок дії випадкових факторів (варіація величини дульної швидкості, рух повітря) розрахункове положення пробойни, тобто імітація її положення, не обов'язково співпадає з фактичним положенням.

Результати вимірювань та їхньої статистичної обробки представлені в табл. 1.

Імітаційна модель вертикального пониження кульки в польоті. Оскільки гравітаційна складова руху кульки (вільне падіння) додається до латеральної складової, викликаній рухом ствола зброї, необхідно кількісно оцінити її величину. Кулі внаслідок гравітаційного тяжіння, що діє під час польоту, досягають мішені у точках, розміщених нижче точок прицілювання. Без врахування опору повітря це пониження для випадку горизонтального положення вектора дульної швид-

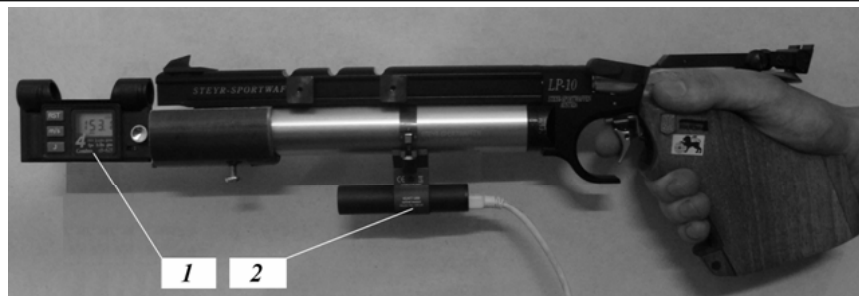


Рис. 1. Пістолет під час експериментального пострілу: 1 – вимірювач швидкості кульки Combro cb-625mk4; 2 – оптичний сенсор OS 01 тренажеру СКАТТ



Рис. 2. Електронна мішень СКАТТ ST4-12 зі стандартною мішенню.

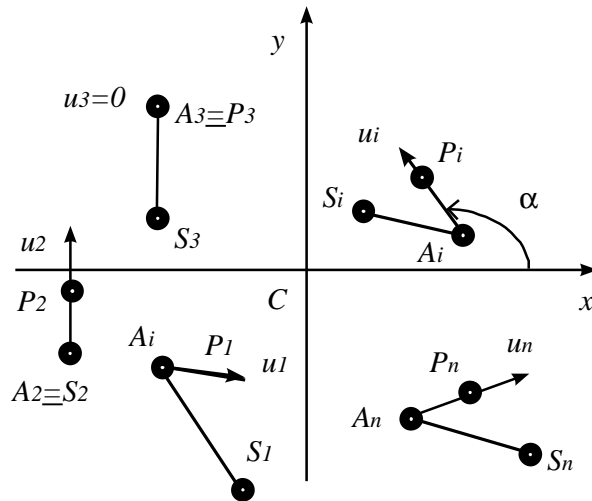


Рис. 3. Схема мішені з результатами експериментальних пострілів: P – центри реальних пробойн; A – точки прицілювання в момент пострілу; S – центри віртуальних пробойн СКАТТ; u – латеральна складова швидкості польоту кульки; C – центр мішені.

Таблиця 1

Дульна швидкість кульок (v) та координати точок прицілювання (x_A, y_A), реальних (x_P, y_P) й віртуальних пробойн (x_S, y_S)

№ пострілу	v , м/с	Координати, мм					
		x_A	y_A	x_P	y_P	x_S	y_S
1	161,3	2,1	3,1	5,5	-4,0	0,2	3,5
2	162,8	17,6	14,3	-11,5	-14,0	19,3	15,2
3	161,8	16,1	-1,8	-7,0	3,0	15,9	-1,7
4	161,6	8,1	5,6	8,5	-3,5	6,3	5,6
5	162,2	4,0	-0,9	-0,5	0,5	6,3	-0,9
6	162,0	12,3	-4,5	-8,0	4,0	14,5	-5,9
7	162,5	-1,4	-3,1	6,5	-1,0	-0,9	-2,1
8	163,6	9,5	3,4	-5,3	-7,3	11,3	3,8
9	162,0	-3,3	3,9	9,5	-5,0	-4,4	2,9
10	162,4	1,3	0,6	-2,0	-5,0	3,8	1,4
11	161,7	4,9	4,3	-1,5	-7,5	5,6	3,7
12	161,8	6,1	-1,3	1,5	1,0	6,5	-1,3
13	162,8	9,3	16,6	-6,5	-16,5	11,7	17,8
14	162,9	-2,1	-0,5	6,5	0,0	-3,9	1,2
15	161,9	-2,4	0,1	8,5	-2,0	-2,5	-0,2
M	162,2	5,5	2,7	0,3	-3,8	6,0	2,9
SD	0,6	6,7	5,9	6,9	5,8	7,4	6,3

* M – середнє арифметичне; SD – середнє квадратичне відхилення.

кості дорівнює $1/2gt_p^2$, де g – прискорення вільного падіння; t_p – час польоту кулі, тобто тривалість фази зовнішньої балістики. Відповідна розрахункова схема зовнішньої балістики кульки зображена на рис. 4. Час польоту кулі, а отже, й пониження пробойни на мішені залежать від кута вильоту (α), тобто кута між віссю ствола в момент вильоту кулі й горизонтальною площиною. Оцінимо вплив величини цього кута на гравітаційне пониження пробойни.

Величина пониження пробойни відносно точки прицілювання, викликана гравітаційним тяжінням, визначається формулою:

$$AP = Ltg\alpha - v_B t_P \sin\alpha + \frac{gt_P^2}{2},$$

де $L = v_B t_P \cos\alpha$ – відстань від дула до мішені; v_p – дульна швидкість. Виключаючи з цих двох рівнянь час, після деяких перетворень отримуємо непараме-

тричну залежність гравітаційного пониження від кута піднесення стволу зброї:

$$AP = \frac{gL^2}{2v_B^2 \cos^2 \alpha}$$

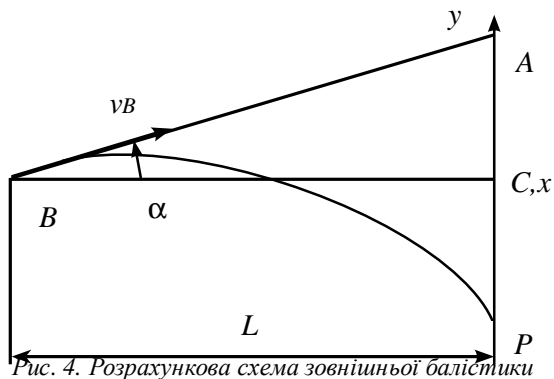


Рис. 4. Розрахункова схема зовнішньої балістики кульки.

Практичне значення може мати максимальне відхилення точки прицілювання від центра мішені на величину не більшу від половини її діаметра r_1 (діаметр кола 1-1 мішені у вправах ПП-2 і ПП-3: $2r_1 = 155,5$ мм). При розміщенні стволу перпендикулярно до площини мішені ($\alpha=0$) пониження траєкторії є мінімальним $AP = \left(\frac{gL^2}{2v_B^2}\right)$, а при відхиленні осі стволу від цього перпендикуляра величина пониження траєкторії збільшується у $(\cos^2 \alpha)$ разів. Оскільки за найбільшого відхилення точки прицілювання від центра мішені $tg \alpha = \frac{r_1}{L} \approx 0,0086$, можна прийняти: $\cos^2 \alpha \approx 1 + tg^2 \alpha$. Отож відповідне пониження буде більшим від мінімального на частку, що дорівнює

$$\left(\frac{r_1}{L}\right)^2 \approx 0,00007$$

Для діаметра зовнішнього кола мішені $2r_1$ у вправі ПП-2 та відстані від дула до мішені $L=9,12$ м й дульної швидкості $v_B = 162,2$ м/с $AP=15,5$ мм, притому що внесок, зумовлений максимальним кутом піднесення стволу має порядок $0,001$ мм ($g=9,81$ мс⁻²), тобто впливом кута піднесення на величину зниження практично можна нехтувати.

Уточнене значення пониження пробіони з врахуванням опору повітря визначається емпіричною формулою [9]:

$$\Delta y = 28,9 t_P + 85 \ln \frac{1 + e^{-0,68 t_P}}{2}$$

де $t_P = \frac{e^{0,012L} - 1}{0,012 v_B}$; $v_P = v_B e^{-0,012L}$; $e=2,718$ – основа натурального логарифму. Для наведених вище числових даних отримаємо: $v_P = 145,4$ мс⁻¹; $t_P = 0,0594$ с; $\Delta y = 17,3$ мм. Максимальна величина пониження траєкторії є більшою від цього значення на $17,3 \times 0,00007 \approx 0,001$ мм, тобто є за межами точності рестрації положення віртуальної пробіони системою СКАТТ.

Імітаційна модель латерального переміщення кульки. Оскільки в документації й методичних матеріалах СКАТТ не наведено кількісних співвідношень

між значеннями коефіцієнта латеральної складової руху кульки й відповідним її переміщенням, нами проведено емпіричне вивчення цього питання й запропоновано аналітичну імітаційну модель. З використанням відповідного scatt файлу імітувалися п'ять положень віртуальних пробіон при зміні коефіцієнта латеральної складової руху кульки зі сталим кроком від нуля до максимально великого значення, яке зустрічається у практиці тренувань стрільців на оптично-електронному тренажері СКАТТ (рис. 5).

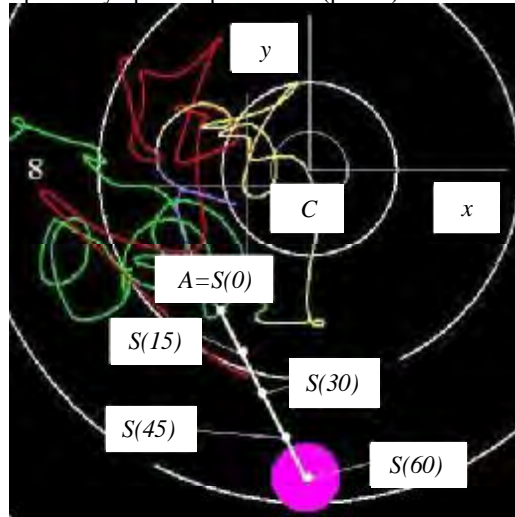


Рис. 5. Розрахункова схема імітації латеральної складової руху кульки.

Для визначення координат положення центрів віртуальних пробіон СКАТТ застосовано створений на основі офісних комп'ютерних технологій (Excel, Paint) метод оцифрування координат точок на графіках траєкторії (Trace) інтерфейсу СКАТТ, який показав свою простоту й точність для отримання кількісної залежності поправок на латеральну складову руху від величини відповідного балістичного коефіцієнта (k). Похибка оцифрування координат знаходиться в межах $0,1$ мм [10]. (В інтерфейсі СКАТТ коефіцієнт латеральної складової позначено F , але оскільки це позначення є загально прийнятим для статистичного F -критерію Снедекора, ми замінили його на k .)

В табл. 2 представлено координати віртуальних пробіон одного з пострілів при п'яти значеннях коефіцієнта $k = 0, 15, 30, 45, 60$. При $k = 0$ центр віртуальної пробіони співпадає з точкою прицілювання. Пара відповідних координат співпала (з точністю до $0,1$ мм) з даними scatt файлу, добутими програмою "samples.vbs".

Оскільки візуально можна зауважити подібність ліній $S(0) \div S(60)$ до прямої, проведемо її апроксимацію функцією, яка б у виродженому стані була лінійною. Отож, щоб вивести аналітичні залежності для координат положення центрів віртуальних пробіон від величини коефіцієнта латеральної складової руху кульки, нами застосовано регресійний аналіз з гіпотетичною функцією у формі полінома четвертого порядку (це – найвищий порядок полінома для однозначної апроксимації за координатами п'яти точок). За отриманими рівняннями регресії можна беззастережно розпізнати

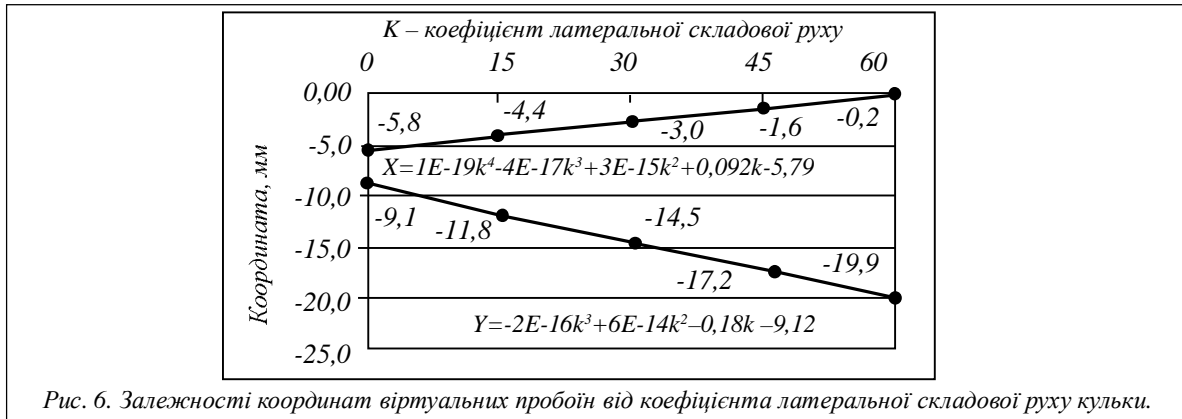


Рис. 6. Залежності координат віртуальних пробойн від коефіцієнта латеральної складової руху кульки.

практично лінійний закон зміни величини координат віртуальних пробойн в залежності від величини коефіцієнта латеральної складової руху кульки (рис. 6). Нехтування у відповідних поліномах членами другого і вищих порядків призводить до похибок, менших за абсолютною величиною від похибки визначення координат центрів пробойн.

Таблиця 2

Координати центрів віртуальних пробойн (x_s, y_s) за різних значень коефіцієнта латеральної складової руху кульки (k)

k	$x_s, \text{мм}$	$y_s, \text{мм}$
0	-5,8	-9,1
15	-4,4	-11,8
30	-3,0	-14,5
45	-1,6	-17,2
60	-0,2	-19,9

Таким чином, можна зробити висновок, що в основі моделі імітації латеральної складової руху кульки в програмі СКАТТ покладено лінійну функцію. Центр віртуальної пробойни знаходиться на дотичній до траєкторії прицілювання в точці, яка відповідає моменту спуску курка.

Порівняльний аналіз положення центрів пробойн від кульок та віртуальних пробойн на мішені СКАТТ. Щоб елімінувати систематичну похибку прицілювання, перерахуємо координати віртуальних пробойн, переносячи початок системи координат мішені СКАТТ плоско паралельно у центр ваги цих 15 пробойн. Координати віртуальних пробойн у новій системі координат обчислювалися за формулами:

$$x_{s_0} = x_s - \bar{x}_s; \quad y_{s_0} = y_s - \bar{y}_s; \quad r_{s_0} = \sqrt{x_{s_0}^2 + y_{s_0}^2},$$

де $\bar{x}_s = \frac{\sum_{i=1}^{15} x_s}{15}$ і $\bar{y}_s = \frac{\sum_{i=1}^{15} y_s}{15}$ – середні арифметичні координат віртуальних пробойн на мішені СКАТТ відносно центру мішені; r_{s_0} – відстань центру віртуальної пробойни від початку нової системи координат. Горизонтальна та вертикальна координати центрів віртуальних пробойн, визначені в системі координат з початком в середній точці серії 15-ти пострілів, представлено у додатку (табл. Д1).

Поправка на величину систематичної похибки здій-

снюється програмно або в ручну на всіх електронних тренажерах за результатами пристрілки, тобто перед виконанням залікових пострілів. Однак ця корекція не гарантує потрапляння середньої точки залікової серії у центр мішені. Таку ж корекцію було застосовано й у нашому експерименті, але додатково вже за результатами 15 залікових пострілів було відкориговано положення центра мішені (т. О) за наведеними вище формулами. Це дало можливість розрахунковим шляхом спрогнозувати координати положення центрів пробойн в ідеальному випадку за елімінації систематичної похибки для залікової серії.

Таким же способом перераховано координати реальних пробойн на стандартній мішені. У зведеній таблиці подано відстані центрів віртуальних та реальних пробойн від початку нової системи координат (табл. 3).

Відносно найменшу різницю зафіксовано між відстанями центрів пробойн від центра мішені. Спортивний результат у цьому виді стрільби визначається тільки відстанню пробойни від центра мішені, причому кутова координата („година” пробойни) не впливає на спортивний результат [5]. Щоб однозначно визначити положення пробойни необхідно мати дві координати: у полярній системі координат – це відстань від полюса (початку координат) і кут положення радіус-вектора, а в прямокутній системі координат – це дві проекції центра пробойни на осі координат (рис. 7).

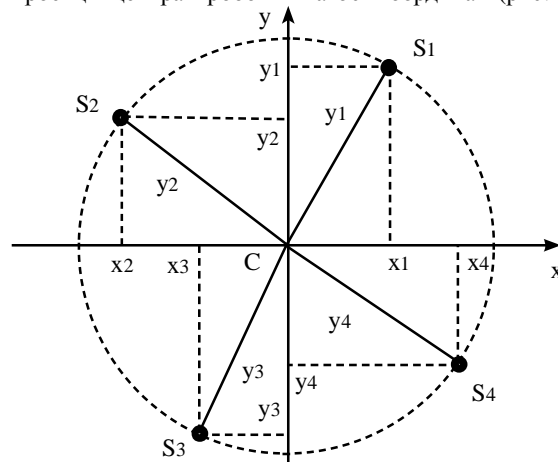


Рис. 7. Схема розташування кількох різних пробойн (S) при однаковій відстані від центра мішені.

Відстань центрів реальних (P) та віртуальних (S) пробойн від середньої точки серії 15-ти пострілів при різних значеннях балістичного коефіцієнта (k)

№ пострілу	Відстань, мм					
	P	$S(k=0)$	$S(k=15)$	$S(k=30)$	$S(k=45)$	$S(k=60)$
1	5,2	3,4	5,8	8,1	10,5	12,8
2	15,6	16,8	18,1	19,4	20,7	22,1
3	10,0	11,5	10,9	10,3	9,8	9,2
4	8,2	4,0	2,7	3,2	4,9	7,0
5	4,4	3,9	3,8	4,6	5,9	7,4
6	11,4	9,9	12,2	14,6	16,9	19,3
7	6,8	8,9	8,5	8,1	7,7	7,4
8	6,6	4,1	5,3	6,5	7,8	9,0
9	9,3	8,9	10,4	12,1	13,8	15,7
10	2,6	4,6	2,7	1,0	1,6	3,5
11	4,1	1,8	0,9	0,1	0,8	1,7
12	5,0	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6
13	14,4	14,4	16,0	17,6	19,4	21,2
14	7,3	8,3	10,0	12,1	14,4	16,8
15	8,4	8,3	9,0	9,7	10,4	11,2

Так, кілька різних пробойн можуть мати однакові відстані від центра мішені ($r_1=r_2=r_3=r_4$), але різні координати ($x_1 \neq x_2 \neq x_3 \neq x_4$ і $y_1 \neq y_2 \neq y_3 \neq y_4$).

Оцінімо як кількісно впливає на похибку імітації положення пробойн на мішені СКАТТ перенесення центрів реальної та віртуальної мішеней у відповідні центри серії пробойн. Позначимо горизонтальні переміщення центрів координат мішеней, a_p, a_s , а вертикальні – b_p, b_s (рис. 8 а). Тоді координати пробойн та їхні відстані до центру відповідної мішені у новій системі координат визначатимуться виразами:

$$x_{OP} = x_P - a_P; \quad y_{OP} = y_P - b_P; \quad r_{OP} = \sqrt{x_{OP}^2 + y_{OP}^2}$$

$$x_{OS} = x_S - a_S; \quad y_{OS} = y_S - b_S; \quad r_{OS} = \sqrt{x_{OS}^2 + y_{OS}^2} \quad (1)$$

Похибка імітації положення віртуальної пробойни може бути кількісно визначена з векторного рівняння (рис. 8 б): $\vec{r}_S = \vec{r}_P + \vec{r}_{SP}$ як відстань між центрами пари пробойн (віртуальної і реальної) таким виразом:

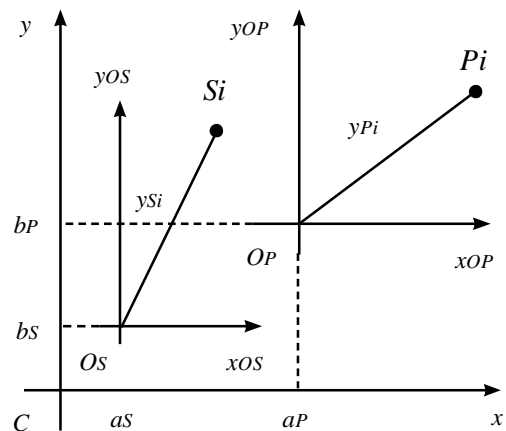
$$l_{SP} = \sqrt{(x_{OS} - x_{OP})^2 + (y_{OS} - y_{OP})^2} \quad (2)$$

Узагальненим критерієм похибки імітації положень пробойн може бути функція:

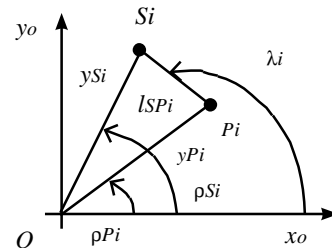
$$\Phi_I = \sum_{i=1}^n l_{SPi}, \quad (3)$$

яка являє собою загальну суму довжин відстаней між центрами всіх пар реальних та віртуальних пробойн (n – кількість пострілів у серії, наприклад, в нашому дослідженні $n = 15$). Підставляючи до цієї функції вирази (1, 2), отримуємо запис у розгорнутому вигляді функції чотирьох аргументів (a_p, a_s, b_p, b_s):

$$\Phi_I = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{Si} - a_S - x_{Pi} + a_P)^2 + (y_{Si} - b_S - y_{Pi} + b_P)^2} \quad (4)$$



а)



б)

Рис. 8. Схема перенесення початку координат мішеней (а) і схема для визначення похибки імітації положення пробойн на віртуальній мішені (б).

Досліджуючи вплив величини переносу центрів координат на похибку імітації, визначимо, перш за все, величини, при яких функція набуває екстремальних значень. Необхідними умовами появи екстремуму цієї функції є обернення на нуль окремих похідних функції по параметрах – аргументах функції:

$$\frac{\partial \Phi_l}{\partial a_s} = \frac{\partial \Phi_l}{\partial a_p} = \frac{\partial \Phi_l}{\partial b_s} = \frac{\partial \Phi_l}{\partial b_p} = 0. \quad (5)$$

Підставляючи у (5) вираз (Д4), отримуємо два рівняння:

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_{Si} - a_s - x_{Pi} + a_p}{l_{SPi}} = 0; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{y_{Si} - b_s - y_{Pi} + b_p}{l_{SPi}} = 0,$$

з яких можна визначити відносні переміщення початків систем координат реальної та віртуальної мішеней ($a_p - a_s$), ($b_p - b_s$), за яких функція узагальненої похибки набуває екстремальних значень.

Для елімінації систематичних похибок нами були прийняті переміщення координат мішеней у центри пробойн серії залікових пострілів:

$$a_s = \bar{x}_s; \quad b_s = \bar{y}_s; \quad a_p = \bar{x}_p; \quad b_p = \bar{y}_p. \quad (7)$$

Чи можна вважати, що в цьому положенні узагальнена похибка імітації буде мінімальною? Необхідною умовою мінімуму є виконання умов (6). Запишемо складові у лівих частинах цих рівнянь у формі тригонометричних функцій (див. рис. 8 б):

$$\frac{x_{Si} - \bar{x}_s - x_{Pi} + \bar{x}_p}{l_{SPi}} = \cos \lambda_i; \quad \frac{y_{Si} - \bar{y}_s - y_{Pi} + \bar{y}_p}{l_{SPi}} = \sin \lambda_i$$

де λ_i – кут, який утворює відрізок прямої лінії l_{SPi} з віссю Ox . Отже, умови появи екстремуму (6) можна записати у формі:

$$\sum_{i=1}^n \cos \lambda_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n \sin \lambda_i = 0. \quad (8)$$

Виконання умов (8) залежить від взаємного розташування пар реальних та віртуальних пробойн. Можна строго довести, що ці умови виконуються не завжди, тобто не за будь-якого варіанту розсіювання пробойн. Але в рамках завдань цього дослідження цілком достатнім буде проілюструвати це твердження окремими прикладами.

Розглянемо три варіанти розсіювання пробойн (рис. 9). У першому варіанті розміщення трьох пар пробойн сума косинусів, і сума синусів не дорівнюють нулю: $0 < \lambda_1 < \pi/2$; $\lambda_2 = \lambda_3 = \pi$ (рис. 9 а). Ненульовими є суми тригонометричних функцій і в другому варіанті розміщення трьох пар пробойн: $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_1 - \pi$ (рис. 9 б). А в третьому варіанті розміщення двох пар пробойн ці суми – нульові: $\lambda_2 = \lambda_1 + \pi$ (рис. 9 в).

Отже, елімінація систематичних похибок серії пострілів кульками та відповідної імітації на електронній мішені СКАТТ не обов'язково забезпечує мінімізацію похибки імітації положення віртуальних пробойн.

Якщо оцінювати похибку імітації положення пробойн за різницею їхніх відстаней від центра мішені, узагальнена функція матиме вигляд:

$$\Phi_r = \sum_{i=1}^n |r_{Si} - r_{Pi}|.$$

Підставляючи в цей вираз формули для відстаней центрів пробойн до центра мішені, отримаємо запис у розгорнутому вигляді функції чотирьох аргументів (a_p, a_s, b_p, b_s):

$$\Phi_r = \sum_{i=1}^n \left| \sqrt{(x_{Si} - a_s)^2 + (y_{Si} - b_s)^2} - \left| -\sqrt{(x_{Pi} - a_p)^2 + (y_{Pi} - b_p)^2} \right| \right|$$

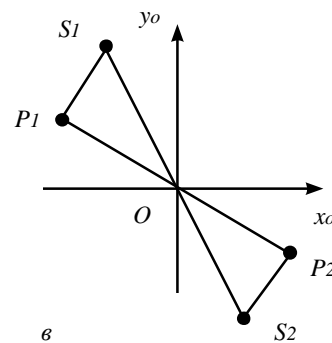
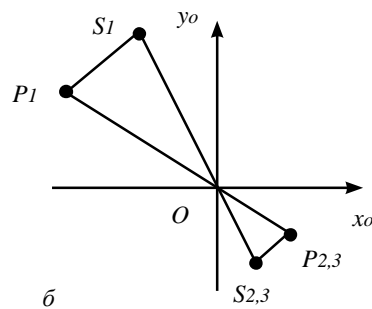
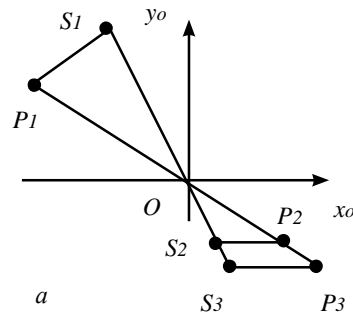


Рис. 9. Схеми для пояснення можливості існування екстремуму похибки імітації положення пробойн: а і б – екстремум відсутній; в – екстремум існує.

Далі, підставляючи вираз з правої частини цієї функції в (4) замість Φ_l , отримуємо чотири рівняння:

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_{Si} - a_s}{r_{Si}} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \frac{y_{Si} - b_s}{r_{Si}} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \frac{x_{Pi} - a_p}{r_{Pi}} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \frac{y_{Pi} - b_p}{r_{Pi}} = 0 \quad (9)$$

з яких можна визначити горизонтальні (a_p, a_s) та вертикальні (b_p, b_s) переміщення систем координат

реальної та віртуальної мішеней, при яких функція узагальненої похибки набуває екстремальних значень.

Подібно до першого методу оцінки похибки імітації при переміщенні початку системи координат віртуальної та реальної мішеней у центри серій відповідних пробіонів, складові в сумах (9) можна представити у формі тригонометричних функцій (див. рис. 8 б):

$$\frac{x_{Si} - \bar{x}_S}{r_{Si}} = \cos \rho_{Si}; \quad \frac{y_{Si} - \bar{y}_S}{r_{Si}} = \sin \rho_{Si};$$

$$\frac{x_{Pi} - \bar{x}_P}{r_{Pi}} = \cos \rho_{Pi}; \quad \frac{y_{Pi} - \bar{y}_P}{r_{Pi}} = \sin \rho_{Pi}, \quad (10)$$

з використанням яких умови екстремуму (9) набудуть вигляду:

$$\sum_{i=1}^n \cos \rho_{Si} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \sin \rho_{Si} = 0;$$

$$\sum_{i=1}^n \cos \rho_{Pi} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \sin \rho_{Pi} = 0. \quad (11)$$

Шляхом аналізу рівнянь (11), аналогічного до аналізу рівнянь (8) і варіантів розміщення пробіонів, опрацьованих за першим методом (див. рис 8) можна прийти до висновку, що елімінація систематичних похибок серії пострілів кульками та відповідної імітації пострілів на електронній мішені СКАТТ не обов'язково забезпечує мінімізацію похибки імітації положення віртуальних пробіонів.

Загалом похибка імітації положення пробіонів за відстанню центра пробіонів до центра мішені дорівнює $|r_{So} - r_{Po}|$, а за довжиною відрізка між центрами віртуальної та реальної пробіонів знаходиться в межах: $|r_{So} - r_{Po}| \leq l_{SoPo} \leq r_{So} + r_{Po}$ (див. рис. 3). Отож перший критерій є окремим випадком другого й може приводити до хибних висновків стосовно валідності методу імітації. Тому для проведення повного порівняльного аналізу положення реальних та віртуальних пробіонів нами було сформульовано статистичні гіпотези стосовно розсіювання координат центрів пробіонів, а також стосовно відстаней між центрами реальних та віртуальних пробіонів, які з поданої точки зору є більш інформативні, ніж гіпотеза стосовно відстані центрів пробіонів від середньої точки серії 15-ти пострілів.

Відстані між центрами реальних та віртуальних пробіонів, порашовані в системі координат з початком в середній точці серії 15-ти пострілів, представлено у додатку (табл. Д2).

Оскільки вибіркові сукупності є малими за обсягом (15 пострілів), для коректного застосування параметричних методів математичної статистики при аналізі результатів стрільби необхідно впевнитися у нормальному характері розподілу в генеральних сукупностях, з яких походять досліджувані вибірки. З уваги на це нами проведено відповідну перевірку методом Шапіра-Уїлка, який рекомендується застосовувати за обсягів сукупностей не менших від десяти. За нульовою статистичною гіпотезою припускалося існування нормального закону розподілу. Значення критерію Шапіра-Уїлка виявилися в межах від 0,912 до 0,972 за рівнів істотності від 0,143 до 0,886 (табл. 4). Це дало можливість прийняти нульову гіпотезу про нормальний закон розподілу параметрів у всіх оди-

надцяти сукупностях.

Результати перевірки нульової статистичної гіпотези стосовно дисперсій горизонтальної та вертикальної координат реальних (Dx_{Po} , Dy_{Po}) та віртуальних (Dx_{So} , Dy_{So}) пробіонів представлено рівнями істотності $p(F)$ в табл. 5.

Обговорення результатів дослідження. З аналізу результатів перевірки статистичних гіпотез стосовно верифікації моделі поправки на латеральну складову руху кульки в стрільському тренажері СКАТТ випливає, що розсіювання центрів віртуальних пробіонів в діапазоні практично важливих значень відповідного коефіцієнта істотно не відрізняється від розсіювання центрів реальних пробіонів ($p > 0,1$). Має місце чітко виражене зростання розсіювання віртуальних пробіонів при збільшенні величини коефіцієнта моделі для поправки на латеральну складову руху кульки як для горизонтальної (SDx_{So} : від 6,7 до 10,8 мм; p : від 0,884 до 0,106), так и для вертикальної координати (SDy_{So} : від 5,9 до 7,7 мм; p : від 0,918 до 0,287). Таким чином, можна зробити висновок, що стосовно розсіювання центрів віртуальних пробіонів по координатах найкращим є нульове значення коефіцієнта моделі поправки на латеральну складову руху кульки.

Не менш чіткою є закономірність зростання відстані центрів віртуальних пробіонів до середньої точки серії 15-ти пострілів: $M_{r_{So}}$: зростає від 7,5 до 11,3 мм, а p зменшується від 0,383 до 0,005. Привертає до себе увагу той факт, що найкраще наближення до спортивного результату, визначеного з реальних пробіонів, імітаційна модель дає при значенні коефіцієнта $k = 15$, коли спостерігається найменша різниця між віртуальним ($M_{r_{So}} = 8,0$ мм) та реальним ($M_{r_{Po}} = 7,9$ мм) значеннями цієї відстані ($p = 0,877$). Це добре погоджується зі значенням коефіцієнта ($k = 15$), яке задається за замовчанням продуцентом тренажера СКАТТ. При значенні коефіцієнта $k = 45$ і більше з'являється статистично істотна різниця між відстанями до центрів віртуальних і реальних пробіонів ($p < 0,05$). Найкраще наближення до реальних пробіонів за параметрами варіації імітаційна модель дає при нульовому значенні коефіцієнта: $SDr_{So} = 4,4$ мм; $SDr_{Po} = 3,7$ мм; $p = 0,549$. При значенні коефіцієнта $k = 60$ і більше має місце статистично істотна різниця між варіаціями у відстанях до центрів віртуальних і реальних пробіонів ($p < 0,05$).

Принципово протилежні результати стосовно достовірності імітаційної моделі для обчислення поправки на латеральну складову руху кульки дає порівняльний аналіз за параметром довжини відрізка прямої лінії, проведеної між центрами реальних та віртуальних пробіонів. За умови застосування коректного методу обчислення поправки на латеральний складову довжини цих відрізків мають бути нульовими, оскільки центр віртуальної пробіонів повинен співпасти з центром реальної пробіонів. В експерименті ж зафіксовано статистично істотну відмінність середньої довжини цього відрізка від нуля, починаючи від нульового значення коефіцієнта k ($M_{SoPo} = 14,6$ мм; $p < 0,00002$), причому зі збільшенням величини цього коефіцієнта середня довжина відрізка зростає (див. табл. 5). Такі суттєві рівні істотності вказують на принципову не-

Таблиця Д1

Координати центрів віртуальних пробіон (S), визначені в системі координат з початком у середній точці серії 15-ти пострілів

№ пострілу	Координати, мм									
	$S(0)=A$		$S(15)$		$S(30)$		$S(45)$		$S(60)$	
	x_{s_0}	y_{s_0}	x_{s_0}	y_{s_0}	x_{s_0}	y_{s_0}	x_{s_0}	y_{s_0}	x_{s_0}	y_{s_0}
1	-3,4	0,5	-5,8	0,6	-8,1	0,8	-10,4	0,9	-12,8	1,1
2	12,1	11,6	13,3	12,3	14,4	13,1	15,5	13,8	16,6	14,5
3	10,6	-4,4	9,9	-4,6	9,2	-4,7	8,5	-4,8	7,8	-5,0
4	2,6	3,0	0,3	2,7	-2,0	2,5	-4,4	2,3	-6,7	2,0
5	-1,5	-3,6	0,3	-3,8	2,2	-4,0	4,1	-4,3	5,9	-4,5
6	6,8	-7,1	8,5	-8,7	10,3	-10,3	12,0	-11,9	13,7	-13,5
7	-6,8	-5,8	-6,9	-5,0	-6,9	-4,2	-6,9	-3,5	-6,9	-2,7
8	4,1	0,7	5,3	0,9	6,4	1,2	7,6	1,4	8,8	1,7
9	-8,8	1,3	-10,4	0,0	-12,0	-1,2	-13,6	-2,4	-15,2	-3,7
10	-4,1	-2,1	-2,2	-1,5	-0,3	-0,9	1,6	-0,3	3,5	0,3
11	-0,6	1,6	-0,4	0,8	-0,1	0,0	0,1	-0,8	0,3	-1,7
12	0,7	-4,0	0,5	-4,1	0,4	-4,3	0,3	-4,5	0,2	-4,6
13	3,8	13,9	5,7	14,9	7,6	15,9	9,5	16,9	11,4	17,9
14	-7,6	-3,2	-9,8	-1,7	-12,1	-0,1	-14,3	1,4	-16,5	2,9
15	-7,9	-2,6	-8,5	-3,1	-9,0	-3,6	-9,6	-4,1	-10,1	-4,6
SD	6,7	5,9	7,4	6,3	8,4	6,7	9,6	7,2	10,8	7,7

Таблиця Д2

Відстані між центрами реальних та віртуальних пробіон, визначені в системі координат з початком у середній точці серії 15-ти пострілів

№ пострілу	Відстань, мм				
	$S(0)=A$	$S(15)$	$S(30)$	$S(45)$	$S(60)$
1	8,7	11,0	13,4	15,7	18,0
2	32,4	33,7	35,0	36,3	37,6
3	21,2	20,6	20,1	19,6	19,1
4	6,2	8,3	10,5	12,7	15,0
5	7,9	8,2	8,9	9,9	11,1
6	21,2	23,6	25,9	28,3	30,7
7	15,6	15,2	14,9	14,6	14,3
8	10,5	11,7	12,9	14,1	15,3
9	18,2	19,7	21,2	22,9	24,6
10	2,1	0,3	2,0	3,9	5,9
11	5,5	4,7	4,0	3,4	2,9
12	8,8	9,0	9,2	9,3	9,5
13	28,6	30,3	32,0	33,8	35,6
14	15,5	17,0	18,7	20,7	22,8
15	16,7	17,4	18,1	18,8	19,5
M	14,60	15,37	16,45	17,59	18,79
SD	8,71	9,24	9,47	9,76	10,13

відповідність імітаційної моделі реальній ситуації стосовно латеральної складової руху кульки.

Як же пояснити очевидне протиріччя в результатах верифікації моделі поправки на латеральну складову руху кульки з використанням відстаней центрів віртуальних та реальних пробіон і довжини відрізка між ними? Як було показано вище, відстань від центра мішені до центра пробіоні, за якою визначається спортивний результат, не вказує однозначно на місце пробіоні. Наприклад, пробіоні 1 і 3 розміщені на

однаковій відстані ($r_1 = r_3$) від центра мішені (див. рис. 7), але відстань між їхніми центрами дорівнює $r_1 + r_3$. Якщо ж користуватися тільки критерієм відстані від пробіоні до центра мішені, можна отримати невірний висновок стосовно коректності методу імітації латеральної складової руху кульки. Наприклад, якщо центр реальної пробіоні знаходиться в т. 1, а віртуальної – в т. 3, висновок буде на користь використаної моделі, хоч насправді очевидною є її некоректність. Застосування критерію нульової довжини відрізка, який

Таблиця 4

Відстані центрів пробойн від середньої точки серії 15-ти пострілів (r_{so}) / відстань між центрами реальних (P) та віртуальних (S) пробойн (l_{soPo})

Пробойни	M^* , мм	SD , мм	$SW-W$	p
P	7,9 /	3,7 /	0,948 /	0,499 /
$S(0)=A$	7,5 / 14,6	4,4 / 8,7	0,912 / 0,949	0,143 / 0,503
$S(15)$	8,0 / 15,4	5,0 / 9,2	0,952 / 0,971	0,562 / 0,869
$S(30)$	8,8 / 16,4	5,7 / 9,2	0,972 / 0,965	0,886 / 0,785
$S(45)$	9,9 / 17,6	6,1 / 9,8	0,962 / 0,957	0,730 / 0,640
$S(60)$	11,3 / 18,8	6,5 / 10,1	0,946 / 0,962	0,462 / 0,733

* M – середнє арифметичне; SD – середнє квадратичне відхилення; $SW-W$ – критерій Шапіра-Уїлка; p – рівень істотності.

Таблиця 5

Рівні істотності за результатами перевірки нульових статистичних гіпотез стосовно порівняльного аналізу характеру розміщення центрів реальних та віртуальних пробойн

k	$p(F)^*$		$p(t)^+$	
	$Dx_{so}=Dx_{po}$	$Dy_{so}=Dy_{po}$	$M_{rso}=M_{rpo}$	$M_{soPo}=0$
0	0,884	0,918	0,383	0,000014
15	0,803	0,764	0,877	0,000015
30	0,478	0,591	0,268	0,000010
45	0,239	0,426	0,034	0,000006
60	0,106	0,287	0,005	0,000005

* $p(F)$ – рівень істотності за розподілом Фішера-Снедекора;

+ $p(t)$ – рівень істотності за розподілом Стюдента.

сполучає центри реальної та віртуальної пробойн дає в цьому прикладі однозначний висновок: коректною можна вважати ту модель, згідно з якою центр віртуальної пробойни потрапляє в центр реальної пробойни, тобто в т. 1.

У чому ж криється причина принципової невідповідності імітаційної моделі СКАТТ стосовно латеральної складової руху кульки? Поясненням можуть бути такі міркування. Для визначення поперечної швидкості дула необхідно мати дві скалярні компоненти її вектора, наприклад, проекції на горизонтальну і вертикальну осі поперечної площини. Величина кожної з компонент, своєю чергою, визначається парою незалежних скалярних величин, що характеризують кінематику ствола у відповідній площині. Наприклад, для визначення горизонтальної компоненти швидкості необхідно мати або горизонтальні складові швидкостей двох точок ствола у проекції на поперечну площину, або одну таку складову й кутову швидкість ствола у горизонтальній площині. Ці два випадки можна звести до одного, який передбачає координату миттєвого центра обертання ствола й відповідну кутову швидкість ствола. Те саме стосується вертикальної складової поперечної швидкості дула. Таким чином, для визначення поперечної складової швидкості руху дула необхідно отримати чотири скалярні величини швидкостей ствола у проекції на поперечну площину.

Рекомендації стосовно визначення оптимального значення коефіцієнта латеральної складової руху кульки. Як було показано вище проблема визначення оптимального значення коефіцієнта латеральної складової руху кульки повинна розглядатися

з двох позицій. По-перше, критерієм оптимальності можна вважати спортивний результат, і тоді за параметр оптимізації слід взяти відстань від центра пробойни до середньої точки залікової серії пострілів. Для висококваліфікованого спортсмена, який брав участь в експериментальних дослідженнях найкраще наближення до реального результату вдалося отримати при значенні коефіцієнта латеральної складової руху кульки, близькому до 15 одиниць. До речі, саме така величина була задана за замовчанням у використаному в дослідженні тренажері СКАТТ.

Другим критерієм для визначення оптимальної величини коефіцієнта латеральної складової руху кульки є близькість положення віртуальних пробойн до реальних. Вище показано його переваги над першим критерієм, оскільки перший критерій є окремим випадком другого й може приводити до хибних висновків стосовно валідності методу імітації. За цим критерієм найкраще наближення до реальних пробойн у проведеному експерименті зафіксоване при нульовому значенні коефіцієнта, тобто без врахування поправки на латеральну складову руху кульки.

Загальним шляхом для визначення оптимального значення коефіцієнта латеральної складової руху кульки є перерахунок координат пробойн (окремо реальних і віртуальних) відносно системи координат перенесеної плоско паралельно своїм початком до центра ваги пробойн всієї залікової серії пострілів. Наступним кроком є проведення t -тесту Стюдента за статистичною гіпотезою про нульову відстань між центрами віртуальних та реальних пробойн.

Висновки

1. Експериментально доведено принципову можливість використання електронного тренажера СКАТТ при виконанні тренувальних пострілів з кульками в стандартну мішень відповідно до правил стрільби з пневматичного пістолета.

2. Розмах величини гравітаційного компоненту руху кульки, який є наслідком варіації величини дульної швидкості, при виконанні вправи ПП-2 знаходиться в межах 0,001 мм і суттєвим чином не впливає на загальну величину латеральної складової (до 20 мм), викликаної рухом ствола зброї.

3. Виявлено, що в основу моделі імітації латеральної складової руху кульки в програмі СКАТТ покладено лінійну функцію стосовно балістичного коефіцієнта. Центр віртуальної пробоїни знаходиться на дотичній до траєкторії прицілювання в точці, яка відповідає моменту спуску курка.

4. Розподіл відстаней центрів пробоїн від середньої точки залікової серії пострілів та розподіл відстаней між центрами реальних та віртуальних пробоїн підкоряються нормальному закону розподілу ($p = 0,143 \div 0,886$). Елімінація систематичних похибок серії пострілів кульками та відповідної імітації пострілів на електронній мішені СКАТТ не обов'язково забезпечує мінімізацію похибки імітації положення віртуальних пробоїн.

5. Розсіяння центрів віртуальних пробоїн в діапазоні практично важливих значень відповідного коефіцієнта істотно не відрізняється від розсіяння центрів реальних пробоїн ($p > 0,1$). Має місце чітко виражене зростання розсіяння віртуальних пробоїн при збільшенні величини балістичного коефіцієнта для поправки на латеральну складову руху кульки як для горизонтальної ($0,106 < p < 0,884$), так і для вертикальної координати ($0,287 < p < 0,918$). Отже, стосовно розсіяння центрів віртуальних пробоїн по координатах найкращим є нульове значення коефіцієнта поправки на латеральну складову руху кульки.

6. Найкраще наближення до спортивного результату імітаційна модель дає при значенні балістичного коефіцієнта 15 одиниць, коли спостерігається найменша різниця між віртуальним ($M_{rSo} = 8,0$ мм) та реальним ($M_{rPo} = 7,9$ мм) значеннями відстані пробоїн від центра ($p = 0,877$). Це добре погоджується зі значенням коефіцієнта, яке задається за замовчанням продуцентом тренажера СКАТТ. Найкраще наближення до реальних пробоїн за параметрами варіації імітаційна модель дає при нульовому значенні коефіцієнта ($p = 0,549$). При значенні коефіцієнта $k = 60$ і більше має місце статистично істотна різниця між варіаціями у відстанях до центрів віртуальних і реальних пробоїн ($p < 0,05$).

7. Виявлено статистично істотне відхилення положення віртуальних пробоїн від реальних, починаючи від нульового значення балістичного коефіцієнта ($M_{rPo} = 14,6$ мм; $p < 0,00002$), причому зі збільшенням величини цього коефіцієнта відхилення зростає, що вказує на принципову невідповідність імітаційної моделі реальній ситуації стосовно латеральної складової руху кульки.

Перспективами подальших досліджень визначаються основним висновком про принципову невідповідність імітаційної моделі СКАТТ стосовно латеральної складової руху кульки. По-перше, необхідно розробити математичну модель латеральної складової дульної швидкості кульки з врахуванням просторового руху ствола зброї. По-друге, на основі такої моделі можна буде спроектувати принципову схему інструментальної реалізації системи імітації латеральної складової руху кульки.

Подяка. Автори висловлюють щирю подяку представникові компанії ZAO NPP SCATT п. Олександрю Куделіну за фахові консультації стосовно функцій тренувальної системи СКАТТ.

Список літератури

1. Ball K. A. Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter- and intra- individual analysis / K. A. Ball, R. J. Best, T. V. Wright // Journal of sports sciences. – 2003. – Vol. 21 (7). – P. 559-566.
2. Combro cb-625 МК4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.profhk.com/product/chrono/cb-625mk4.htm
3. Edelmann-Nusser J. On-target trajectories and the final pull in archery / J. Edelmann-Nusser, M. Heller, M. Hofmann, N. Ganter // European Journal of Sport Science. – 2006. – Vol. 6 (4). – P. 213-222.
4. Mononen K. Optoelectronic measures in the analysis of running target shooting. / K. Mononen, J. T. Viitasalo, P. Era, N. Kontinen // Scandinavian Journal of Medicine and Science of Sports. – 2003. – 13(3). – P. 200-207.
5. Official Statutes Rules and Regulations. International Shooting Sport Federation. München, Germany, 2009 – 436 p.
6. Professional training systems SCATT. Moscow: ZAO NPP SCATT, 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.scatt.com>.
7. RIKА Home Trainer. Micheldorf, Austria: RIKА Sport GmbH, 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rika1.com>.
8. Technical shooting analysis. Oulu, Finland: Noptel Oy, 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.noptel.fi/eng/sport/>.
9. Внешняя баллистика пневматического оружия. Пневматическое оружие в России, № 3, 2003. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1198481>.
10. Заневський І.П. Неспецифічність тренування з оптоелектронною мішенню в стрільбі з пневматичного пістолета / І.П. Заневський, Ю.С. Коростильова, В.В. Михайлов // Спортивна наука України, 2009, № 3. – С. 25-45. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sportscience.org.ua/index.php/Arhiv.html>

Надійшла до редакції 09.08.2009 р.
Заневський Ігор Пилипович
Коростильова Юлія Сергіївна
Михайлов Володимир Віталійович
vmykhaylov2005@rambler.ru