

## МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КУЛЬОВОЇ СТРІЛЬБИ

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

**Анотація.** Представлено метод визначення точності реєстрації рухів зброї оптоелектронною системою СКАТТ. Встановлено три види похибок визначення координат точки прицілювання на мішені СКАТТ: несиметричність результатів вліво-вправо і вверху-вниз; абсолютні похибки по кожному з напрямів; залежність величини похибки від відстані до центра мішені. Найбільші похибки оптоелектронна реєстрація дає в напрямках вліво і вверху від центра мішені (199–283 %), відносно менші – вправо (54–188 %) і вниз (18–188 %). Для коригування похибки визначення координат точки прицілювання на мішені СКАТТ запропоновано застосовувати коефіцієнт поправки відстані від точки прицілювання до центра мішені.

**Ключові слова:** кульова стрільба, метрологічна повірка, оптоелектронна тренувальна система, СКАТТ.

**Аннотация.** Заневский И. П., Коростилева Ю. С., Михайлов В. В. Метрологическая поверка оптоэлектронной системы для пулевой стрельбы. Определена точность регистрации движений оружия оптоэлектронной системой СКАТТ. Установлено три вида погрешностей в определении координат точки прицеливания на мишени СКАТТ: несимметричность результатов влево-вправо и вверх-вниз; абсолютные погрешности по каждому из направлений; зависимость величины погрешности от расстояния до центра мишени. Наибольшие погрешности оптоэлектронная регистрация дает в направлениях влево и вверх от центра мишени (199–283 %), относительно меньше – вправо (54–188 %) и вниз (18–188 %). Для корректировки погрешности в определении координат точки прицеливания на мишени СКАТТ надо применять коэффициент поправки расстояния от точки прицеливания до центра мишени.

**Ключевые слова:** пулевая стрельба, метрологическая поверка, оптоэлектронная тренировочная система, СКАТТ.

**Abstract.** Zanevskiy I., Korostileva Yu., Mikhaylov V. Metrological checking of the optoelectronic system for the shooting. The article defines SCATT optoelectronic system accuracy of weapon movement registration. Three types of errors in defining the coordinates of the aiming point on a SCATT target were found. They were: asymmetry of the left to right and up to down results; the absolute errors in each direction; the dependence of the distance error magnitude upon the center of the target. It has been found that the optoelectronic registration has the biggest errors in left and up directions from the center of the target (199–283 %), and relatively less big in right (54–188 %) and down (18–188 %) directions. In order to make corrections while defining the aiming point coordinates on a SCATT target, the correction factor of the distance from the aiming point to the center of the target must be used.

**Key words:** shooting, metrological checking, SCATT optoelectronic training system.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку стрілецького спорту характеризується ростом спортивних результатів, вдосконаленням спортивної зброї та інвентарю. Це, своєю чергою, висуває нові вимоги до майстерності спортсменів. Саме тому спеціалісти у сфері теорії і методики стрілецького спорту здійснюють удосконалення процесу спортивної підготовки стрільців шляхом пошуку адекватних методів та засобів впливу [15–18]. Зокрема, у сучасних методиках технічного вдосконалення спортсменів, поряд із застосуванням традиційних методів та засобів технічної підготовки, широко застосовуються різноманітні технічні пристрої. Саме до таких засобів належать оптоелектронні тренажери, найбільшого поширення серед яких набули тренувальні системи Ноптель, Ріка і СКАТТ [7–9]. Останнім часом ці оптоелектронні тренажери стали обов'язковим засобом технічної підготовки як початківців, так і висококваліфікованих спортсменів у різних видах стрілецького спорту [1; 2; 5; 11].

Українські стрільці в основному користуються системою СКАТТ, яка відзначається практичною корисністю та зручністю у тренуванні та має широкий спектр застосувань. За допомогою цього тренажера можна визначати важливі показники техніки: амплітуду коливань зброї у заключній фазі пострілу, швидкість руху проекції лінії прицілювання на мішені, час виконання пострілу [10]. Ці показники допомагають тренерам проводити відбір початківців; визначати рівень розвитку спеціальних якостей (статичної витривалості та стійкості системи «стрілець-зброя»); контролювати зміни у техніці виконання стрілецьких вправ, порівнюючи показники, отримані на звичайних

тренувальних та в модельних змагальних умовах; здійснювати контроль за реакцією організму стрільця на обрану величину тренувальних навантажень та ін.

Необхідно зазначити, що виконання як окремого пострілу, так і усієї стрілецької вправи в цілому при використанні системи СКАТТ відбувається в імітаційних умовах з використанням віртуальної мішені [7]. Таким чином, вказані показники, які фіксуються системою СКАТТ, характеризують техніку виконання імітаційного, а не реального пострілу. Саме тому актуальним завданням є пошук шляхів визначення точності реєстрації рухів зброї оптоелектронною системою СКАТТ.

Дослідження проводились у рамках завдань НДР по темі 2.2.5 «Модельовання процесів взаємодії тіла людини зі спортивним приладдям» Зведеного плану науково-дослідної роботи у сфері фізичної культури і спорту на 2006–2010 рр. (№ держреєстрації 0106U012607).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При проведенні аналізу науково-методичної літератури встановлено, що проблема відповідності закладених у оптоелектронну систему СКАТТ математичних моделей умовам виконання реального пострілу, окрім авторів цієї статті, у відкритих публікаціях не піднімалася. У попередніх публікаціях нами розглянуто проблему верифікації методики імітації латеральної складової польоту кулі на тренажері СКАТТ [3; 13], проведена кількісна оцінка неспецифічності тренування з оптоелектронною системою СКАТТ у порівнянні з виконанням реального пострілу кулькою на прикладі стрільби з пневматичного пістолета [12]. Виявлені розбіжності між реальним розцінюванням пробігів і даними, отриманими з використанням СКАТТ, вказують на необхідність визначення точності



реєстрації рухів зброї цим тренажером.

**Метою роботи** було визначення точності реєстрації рухів зброї оптоелектронною системою SKATT.

**Завдання дослідження:**

1. Розробити методику повірки оптоелектронної системи SKATT.
2. Розробити пристрій для повірки.
3. Провести апробацію розробленої методики.
4. Розробити метод коригування похибки визначення координат точки прицілювання на мішені SKATT.

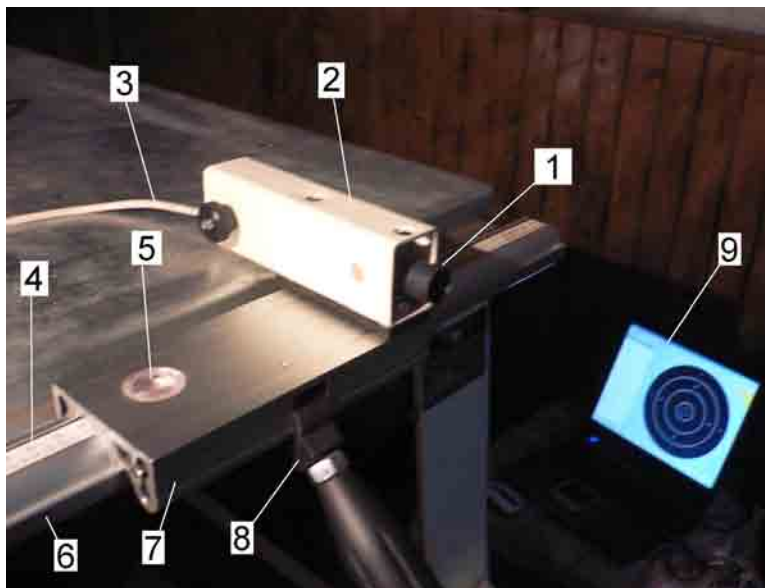
**Методи дослідження:** оптоелектронна реєстрація рухів, метод тарування, метод нелінійної інтерполяції, офісні комп'ютерні технології Excel.

**Результати дослідження.** Методика повірки тренажера SKATT ґрунтувалася на методі тарування,

тобто порівнянні дійсних переміщень сенсора відносно мішені з результатами реєстрації цих переміщень оптоелектронною системою. Для забезпечення точності переміщень було розроблено спеціальний пристрій (рис. 1).

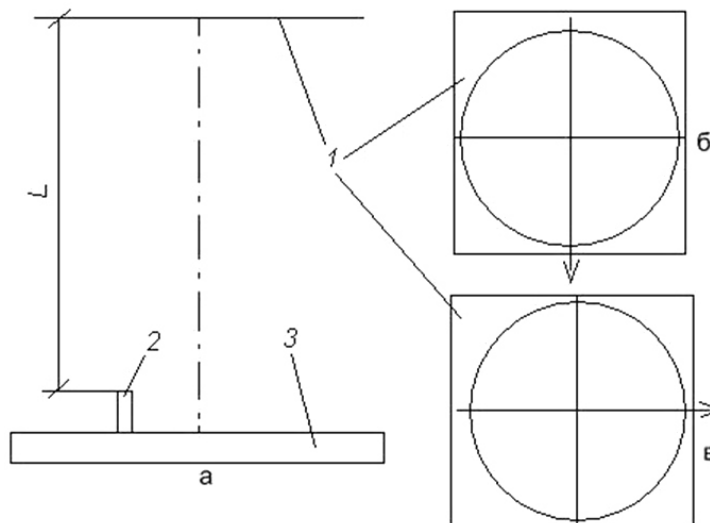
Сенсор SKATT кріпився спеціальним приладдям на полозку пристрою з можливістю переміщення. Головна вісь сенсора розміщувалася горизонтально й перпендикулярно поздовжнім напрямним полозків (рис. 2). Висота від сенсора до підлоги дорівнювала 140 см, відстань між віконцем сенсора й площиною мішені складала  $L=914$  см, що відповідає умовам використання системи SKATT та правилам змагань [6; 7]. Положення полозків визначалося з точністю до 0,05 см.

Мішень системи SKATT встановлювалася вертикально й перпендикулярно до головної осі сенсора



**Рис. 1.** Пристрій для повірки системи SKATT:

1 – сенсор SKATT; 2 – приладдя для встановлення сенсора; 3 – кабель з'єднання сенсора з комп'ютером; 4 – координатна лінійка; 5 – візор для зчитування шкали лінійки; 6 – напрямні; 7 – полозки; 8 – приладдя для встановлення положення полозків; 9 – комп'ютер



**Рис. 2.** Схема пристрою для повірки оптоелектронної системи:

а – загальний вид установки зверху; б – мішень SKATT (1) в положенні для повірки реєстрації переміщень сенсора SKATT (2) по горизонталі; в – по вертикалі (3 – напрямні полозків)

на стандартній висоті від підлоги (140 см) [7]. Отже, центр мішені знаходився на такий самій висоті від підлоги, що й сенсор. Положення сенсора задавалося положенням полозків відносно напрямних пристрою. Для поверхні реєстрації переміщення сенсора по вертикалі мішень було повернуто на кут 90° проти годинникової стрілки відносно перпендикулярної до її площини осі, що проходить через центр мішені (див. рис. 2).

Для кожної з осей мішені (горизонтальної та вертикальної) було зроблено по двадцять вимірювань (табл. 1). Сенсор встановлювався в положеннях, коли система реєструвала центр та габарити мішені від десятки до одиниці з одного й другого боків від центра. Паралельно фіксувалися положення полозків (координата центра мішені дорівнювала 10 см).

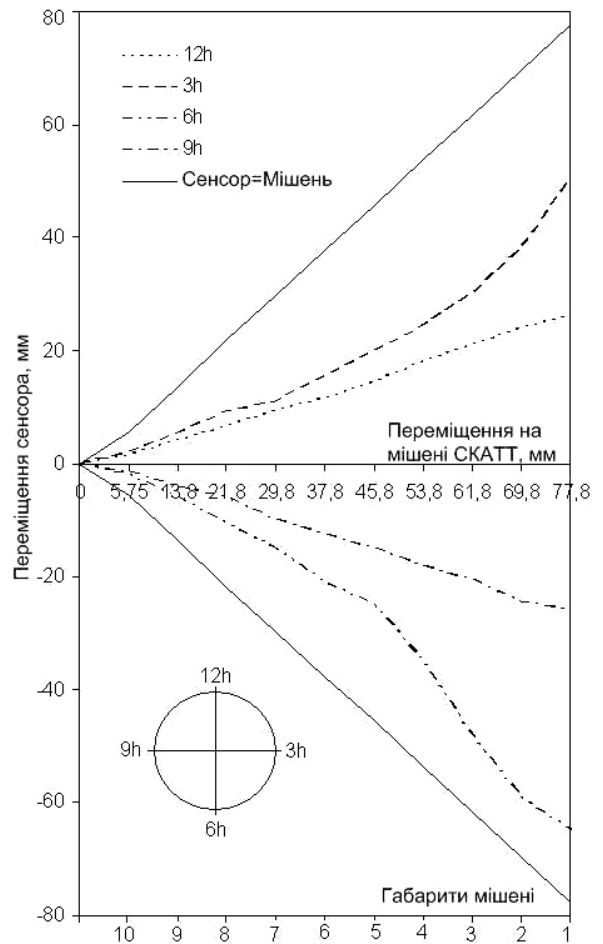
Таблиця 1

**Результати паралельних вимірювань положення сенсора й оптоелектронної реєстрації**

Габарити мішені	Координати сенсора, см			
	по горизонталі		по вертикалі	
	вліво	вправо	вверх	вниз
Центр	10,00	10,00	10,00	10,00
10	9,85	10,20	9,85	10,20
9	9,60	10,55	9,60	10,60
8	9,40	10,90	9,35	11,05
7	9,00	11,10	9,05	11,50
6	8,75	11,55	8,85	12,10
5	8,50	12,00	8,55	12,50
4	8,20	12,45	8,20	13,50
3	7,95	13,00	7,90	14,80
2	7,55	13,80	7,60	15,90
1	7,40	15,05	7,40	16,50

На рис. 3 представлено залежності дійсної відстані осі сенсора від центра мішені (за шкалою супорта) від результатів реєстрації оптоелектронною системою в чотирьох напрямках: вліво, вправо, вниз, вгору. Згідно із загальноприйнятим у стрілецьких видах спорту способом визначення пробоїни на мішені на рис. 3 застосовано полярну систему координат із початковим променем, спрямованим вертикально вгору від центра мішені й додатним напрямком кутової координати проти годинникової стрілки. Повний кут розділено на 12 частин з нумерацією годинникової стрілки й позначенням латинською буквою h.

При аналізі характеру графіків (див. рис. 3) відразу стають помітними три суттєві похибки реєстрації. Перша – це несиметричність результатів вліво-вправо і вверх-вниз, друга – це абсолютні похибки по кожному з напрямів, а третя – залежність величини похибки від відстані точки траєкторії прицілювання до центра мішені.



**Рис. 3. Залежність дійсної відстані осі сенсора від центра мішені (за шкалою супорта) від результатів реєстрації оптоелектронною системою**

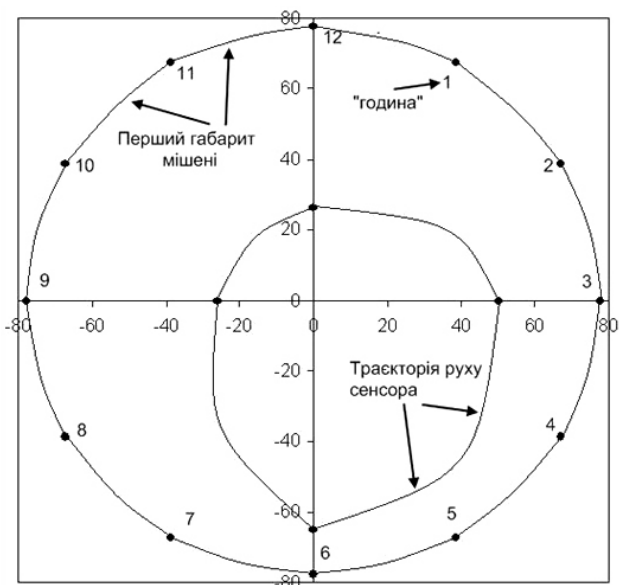
Найбільші похибки оптоелектронна реєстрація дає у напрямках вліво і вверх від центра мішені (199–283 %), відносно менші – вправо (54–188 %) і вниз (18–188 %) (табл. 2).

Таблиця 2

**Відносні похибки оптоелектронної реєстрації положення сенсора, %**

Габарити мішені	Напрямок від центра мішені			
	вліво	вправо	вверх	вниз
10	283	188	283	188
9	244	150	244	129
8	235	142	263	107
7	213	170	198	98
6	228	144	202	80
5	216	129	205	83
4	199	119	199	54
3	194	106	201	29
2	191	84	185	18
1	199	54	199	20

Для того, щоб на мішені системи СКАТТ отримати траєкторію у формі кола діаметром 155,5 мм (1-й габарит мішені № 9), сенсор СКАТТ у проекції на площину мішені повинен залишити траєкторію неправильної форми, площа якої у три з половиною рази менша від площі кола (рис. 4).



**Рис. 4. Траєкторія руху сенсора та її відображення на оптоелектронній мішені СКАТТ у формі першого габариту мішені № 9**

У середньому електронна система реєструє переміщення сенсора у збільшеному в 1,9 разу масштабі, зокрема, вверх від центра – у 2,2 разу, вниз – на 80 %, вліво – у 2,2 разу і вправо – у 1,3 разу. Асиметрія реєстрації по горизонталі правостороння при величині відповідного коефіцієнта 0,64. Вертикальна асиметрія спрямована вниз – 0,86.

Як було зазначено, у стрілецьких видах спорту коло мішені прийнято поділяти на 12 секторів (годин).

Для чотирьох відомих координат – по дві на вертикалі (T=12; T=6) й горизонталі (T=3; T=9) – величина коефіцієнтів поправки відстані від точки траєкторії прицілювання до центра мішені визначається за результатами тарування (див. табл. 1). Для розрахунку коефіцієнтів поправки для інших проміжних напрямів використовуємо інтерполяційну функцію у формі квадратичної параболи, оскільки це найпростіша нелінійна функція на основі алгебричного многочлена [14]:

$$f = aT^2 + bT + c, \quad (1)$$

де  $a, b, c$  – коефіцієнти функції параболи;  $T$  – аргумент функції як кут, визначений в умовних одиницях годинникової стрілки. Для перших чотирьох «годин» (T=1; 2; 4; 5) коефіцієнти у цій формулі обчислено по точках T=12; 3; 6, для решти (T=7; 8; 10; 11) – T=6; 9; 12 (табл. 3).

Розраховані коефіцієнти поправки відстані від точки траєкторії прицілювання до центра мішені представлено у табл. 4.

**Обговорення результатів дослідження.** При виборі оптоелектронної системи для застосування у тренувальному процесі стрільці з багатьох країн СНД і Європи надають перевагу тренажеру СКАТТ. Метою використання даного інструментального засобу є отримання термінової об'єктивної інформації про технічні параметри процесу виконання пострілу на основі визначення координат точки прицілювання на мішені СКАТТ [7]. Саме на основі аналізу фактичних координат точки прицілювання та її відстані від центра мішені тренери і спортсмени намагаються вносити відповідні корекції у техніку процесу виконання пострілу [10]. Тому, важливим чинником, який впливає на адекватність висновків про ефективність техніки процесу виконання пострілу спортсменом та вибору у разі необхідності способів її корекції, є відповідність результатів реєстрації точки прицілювання на мішені СКАТТ її реальному положенню у просторі [3; 12; 13]. У дослідженні була встановлена наявність похибок у визначенні координат точок прицілювання оптоелектронною системою СКАТТ. Також виявлено, що система

Таблиця 3

**Коефіцієнти рівнянь інтерполяції (1) для обчислення координат точки прицілювання**

T	1; 2; 4; 5			7; 8; 10; 11		
	a	b	c	a	b	c
1	-0,0071	0,1265	0,3344	0,0279	-0,5852	3,3441
2	0,0056	0,0502	0,3441	0,0271	-0,5711	3,2975
3	0,0081	0,0243	0,3401	0,0252	-0,5263	3,0283
4	0,0041	0,0279	0,3349	0,0176	-0,3690	2,2326
5	-0,0006	0,0419	0,3169	0,0115	-0,2459	1,6066
6	0,0022	0,0287	0,3046	0,0110	-0,2406	1,6026
7	0,0047	0,0028	0,3193	0,0084	-0,1821	1,2941
8	-0,0026	0,0460	0,2989	0,0128	-0,2605	1,5862
9	-0,0040	0,0485	0,2909	0,0081	-0,1697	1,1636
10	-0,0048	0,0435	0,2609	0,0048	-0,1014	0,7826

Коефіцієнти поправки відстані від точки траєкторії прицілювання до центра мішені

T\R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,454	0,400	0,372	0,367	0,358	0,336	0,327	0,342	0,335	0,300
2	0,559	0,467	0,421	0,407	0,398	0,371	0,344	0,381	0,372	0,329
3	0,650	0,545	0,486	0,456	0,437	0,411	0,370	0,414	0,400	0,348
4	0,726	0,634	0,567	0,513	0,475	0,455	0,405	0,442	0,420	0,357
5	0,788	0,734	0,664	0,578	0,511	0,503	0,450	0,465	0,432	0,357
6	0,836	0,846	0,777	0,651	0,546	0,556	0,504	0,483	0,436	0,348
7	0,613	0,627	0,578	0,511	0,451	0,459	0,431	0,388	0,372	0,309
8	0,446	0,462	0,430	0,405	0,378	0,384	0,375	0,319	0,323	0,280
9	0,334	0,351	0,332	0,335	0,328	0,331	0,336	0,276	0,291	0,261
10	0,279	0,295	0,284	0,300	0,301	0,300	0,314	0,258	0,275	0,251
11	0,279	0,292	0,287	0,300	0,298	0,291	0,308	0,266	0,275	0,251
12	0,334	0,344	0,340	0,335	0,317	0,305	0,319	0,299	0,291	0,261

СКАТТ реєструє переміщення сенсора у збільшеному в 1,9 разу масштабі. Саме тому нами було розроблено коефіцієнт поправки похибок визначення координат точок прицілювання на мішені СКАТТ. Методика застосування цього коефіцієнта полягає у наступному: під час аналізу траєкторії руху зброї в процесі виконання окремого пострілу визначаємо відстань від точки прицілювання до центра мішені СКАТТ, габарит і «годину» її розташування на цій мішені. У таблиці 4 знаходимо значення коефіцієнта поправки відповідного габариту і «години» точки прицілювання. Після цього множимо відповідне значення коефіцієнта на відстань від точки прицілювання до центра мішені СКАТТ. У результаті ми отримуємо значення реальної відстані від точки прицілювання до центра мішені. Тільки на основі цього значення можна робити об'єктивні висновки про особливості траєкторії руху зброї у процесі виконання пострілу, а отже, й адекватно оцінювати ефективність техніки його виконання.

#### Висновки:

1. Існують три види похибок визначення координат точки прицілювання на мішені СКАТТ: несиметричність результатів вліво-вправо і вверху-вниз, абсолютні похибки по кожному з напрямів, залежність величини похибки від відстані до центра мішені.

2. У середньому система СКАТТ реєструє переміщення сенсора у збільшеному в 1,9 разу масштабі, зокрема, вверху від центра – у 2,2 разу, вниз – на 80 %, вліво – у 2,2 разу і вправо – в 1,3 разу. Асиметрія реєстрації по горизонталі правостороння ( $k=0,64$ ), по вертикалі – спрямована вниз ( $k=0,86$ ).

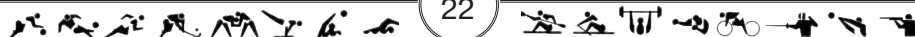
3. При використанні тренажера СКАТТ у тренувальному процесі слід вносити корективи в отримані за його допомогою координати точки прицілювання. Для цього по габариту і «годині» цієї точки треба обрати відповідне значення коефіцієнта поправки і помножити його на відстань від точки прицілювання до центра мішені СКАТТ.

**Перспективи подальших досліджень** визначаються основним висновком про наявність суттєвих похибок оптоелектронної реєстрації координат точок прицілювання на мішені СКАТТ при плоско-паралельних вертикальних і горизонтальних переміщеннях сенсора. Наступні дослідження мають бути спрямовані на визначення точності реєстрації оптоелектронною системою СКАТТ кутових переміщень зброї у процесі прицілювання. Для цього планується обґрунтування та розробка методики тарування оптоелектронної системи СКАТТ при кутових переміщеннях сенсора.

**Автори висловлюють щире подяку представникові компанії ЗАО SCATT п. Олександрю Куделіну за фахові консультації стосовно функцій тренувальної системи, а також співробітникам Навчально-спортивної бази літніх видів спорту (м. Львів) п. Андрію Юркевичу і п. Андрію Рачкевичу за допомогу в проведенні експерименту.**

#### Література:

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. 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.
3. Korostylova Y. Accuracy of shooting results imitation with an optoelectronic training system / Y. Korostylova, I. Zanevskyy // *Book of Abstracts of the 14<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science*. – Oslo, Norway, 2009. – P. 603.
4. Meyer S. L. *Data Analysis for Scientists and Engineers* / S. L. Meyer. – Toronto: John Wiley & Sons, 2008. – 514 p.
5. Mononen K. Optoelectronic measures in the analysis of running target shooting / K. Mononen, J. T. Viitasalo, P. Era, N. Konttinen // *Scandinavian Journal of Medicine and Science of Sports*. – 2003. – 13(3). – P. 200–207.



6. *Official Statutes Rules and Regulations. International Shooting Sport Federation. – Munich, Germany, edition 2013 (First Print, 11/2012). – effective 1 January 2013. – 466 p.*
7. *Professional training systems SCATT [Electronic resource]. – Moscow : ZAO SCATT, 2013. – Access mode : <http://www.scatt.com>.*
8. *RIKA Home Trainer [Electronic resource]. – Micheldorf, Austria : RIKA Sport GmbH, 2008. – Access mode : <http://www.rika1.com>.*
9. *Sport Shooter Training System from Noptel [Electronic resource]. – Oulu, Finland : Noptel Oy, 2013. – Access mode : <http://www.noptel.fi/eng/sport/>.*
10. *Zanevskyy I. Aiming point trajectory as an assessment parameter of shooting performance / I. Zanevskyy, Yu. Korostylova, V. Mykhaylov // Human Movement – 2012. – Vol. 13 – № 03. – P. 211–217.*
11. *Zanevskyy I. Shot Moment in Optoelectronic Training in the Air-Pistol Shooting / I. Zanevskyy, Yu. Korostylova, V. Mykhaylov // International Journal of Sports Science and Engineering. – 2010. – Vol. 4 – No. 2. – P. 67–78.*
12. *Zanevskyy I. Specificity of shooting training with the optoelectronic target / I. Zanevskyy, Y. Korostylova, V. Mykhaylov // Acta of Bioengineering and Biomechanics. – Wroclaw : Mechanical Engineering Department of Wroclaw University of Technology, 2009. – Vol. 11. – № 4. – P. 63–70.*
13. *Заневський І. П. Імітація латеральної складової польоту кулі на оптоелектронному стрілецькому тренажері / І. П. Заневський, Ю. С. Коростильова, В. В. Михайлов // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2009. – № 11. – С. 40–50.*
14. *Зациорский В. М. Основы спортивной метрологии. – М. : Физкультура и спорт, 1979. – 82 с.*
15. *Коростылева Ю. С. Удосконалення технічної підготовки стрільців з пневматичного пістолета : [методичний посібник] / Ю. С. Коростильова, І. П. Заневський. – Л. : ЛДУФК, 2011. – 109 с.*
16. *Павлюк Є. О. Специфіка техніко-тактичної підготовки спортсменів зі стрільби кульової у пістолетних вправах [Електронний ресурс] / Є. О. Павлюк, О. С. Петрів // Спортивна наука України. – 2009. – № 7 (27). – С. 6–19. – Режим доступу : <http://www.sportscience.org.ua/index.php/Arhiv.html>.*
17. *Пятков-Мельник В. Т. Стрілецько-спортивна наука України (2001–2005) [Електронний ресурс] / В. Т. Пятков-Мельник // Спортивна наука України. – 2006. – № 6 (7) – 371 с. – Режим доступу : <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/SNU/2006-6/index.html>.*
18. *Патент 61871 Україна, МПК А 63В 23/12. Спосіб тренування без куль у стрільбі з пневматичної зброї / Ю.С. Коростильова, І.П. Заневський, Ю.А. Бріскін, В.В. Михайлов – № U201104061 ; заявл. 04.04.2011 ; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.*

