



МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЬОТУ МІШЕНІ В СТЕНДОВІЙ СТРІЛЬБІ

Богдан ВІНОГРАДСЬКИЙ

*Львівський державний університет фізичної культури
імені Івана Боберського, м. Львів, Україна*

Вступ. Стендова стрільба – спеціалізований вид рухової активності, у якому одним із визначальних елементів ефективності цілеспрямованих дій людини є точне передбачення траєкторії польоту мішені. Для удосконалення навчально-тренувального процесу важливо використовувати засоби моделювання, які дають змогу прогнозувати положення мішені в різні моменти часу з урахуванням впливу аеродинамічного опору й зовнішніх чинників, таких як вітер [4].

Загалом можна виокремити кілька підходів до побудови математичних моделей польоту мішені [1–3].

Класичне механічне моделювання (модель твердого тіла), де в основі лежить диференціальне рівняння другого закону Ньютона:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}_{\text{гравітації}} + \vec{F}_{\text{опору повітря}} + \vec{F}_{\text{підйомної сили}}$$

Аеродинамічне моделювання, за якого враховують форму тарілки (диска), її орієнтацію в повітрі, обертання (гіроскопічний ефект). Може базуватися на чисельному моделюванні (CFD – Computational Fluid Dynamics).

Емпіричне моделювання, за якого будують моделі на основі даних про реальні траєкторії (з використанням відеоаналізу або оптичних трекерів).

Системно-аналітичне моделювання, під час якого поєднують фізичні, технічні й біомеханічні параметри в комплексній моделі.

Мета роботи – запропонувати уточнену математичну модель польоту мішені у стрільбі на круглому стенді, що задовольняє потреби практики точності й подати чисельні значення координат траєкторії цієї мішені (тарілки).

Результати дослідження. Для побудови математичної моделі польоту мішені використано рівняння руху тіла в середовищі з опором повітря з урахуванням початкової швидкості, кута вильоту, сили тяжіння та сили опору. Додатково враховано початкову висоту вильоту мішені з високої (3,05 м) чи низької вежі й вітер.

Для тарілки, що вилітає з початковою швидкістю під кутом, з урахуванням опору повітря (лінійна модель), траєкторія можна описувати так:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -g\hat{j} - k\vec{v}, \text{ де } g - \text{прискорення вільного падіння,}$$

k - коефіцієнт опору повітря,
 \vec{v} - вектор швидкості.

Розв'язуючи це рівняння, отримуємо координати польоту у вигляді:

$$x(t) = \frac{v_0 \cos \theta}{k} (1 - e^{-kt})$$
$$y(t) = \frac{1}{k} (v_0 \sin \theta + \frac{g}{k}) (1 - e^{-kt}) - \frac{g}{k} t$$

Оскільки нам відомі усі потрібні для розрахунку величини параметрів, а саме для вильоту тарілки з високої вежі зі швидкістю 25 м/с під кутом 25° та за вітру 1,5 м/с, то можна розрахувати абсолютні координати траєкторії мішені у фронтальній площині та подати їх у табличні формі (табл. 1).

Таблиця 1

**Абсолютні координати знаходження мішені
під час її вильоту з високої вежі**

Час (с)	X (м)	Y (м)	Час (с)	X (м)	Y (м)	Час (с)	X (м)	Y (м)
0,0	0,0	3,05	0,95	22,41	8,5	1,9	43,79	5,04
0,05	1,21	3,57	1,0	23,56	8,53	1,95	44,88	4,62
0,1	2,41	4,05	1,05	24,71	8,54	2,0	45,98	4,18
0,15	3,61	4,52	1,1	25,86	8,53	2,05	47,07	3,71
0,2	4,81	4,96	1,15	27,0	8,49	2,1	48,16	3,22
0,25	6,0	5,37	1,2	28,14	8,43	2,15	49,24	2,71
0,3	7,19	5,76	1,25	29,27	8,35	2,2	50,33	2,17
0,35	8,38	6,12	1,3	30,41	8,24	2,25	51,41	1,61
0,4	9,57	6,45	1,35	31,54	8,1	2,3	52,49	1,02
0,45	10,75	6,77	1,4	32,66	7,94	2,35	53,56	0,42
0,5	11,93	7,05	1,45	33,79	7,76			
0,55	13,11	7,31	1,5	34,91	7,55			
0,6	14,28	7,55	1,55	36,03	7,32			
0,65	15,45	7,76	1,6	37,15	7,07			
0,7	16,62	7,94	1,65	38,26	6,79			
0,75	17,78	8,1	1,7	39,37	6,49			
0,8	18,94	8,24	1,75	40,48	6,16			
0,85	20,1	8,35	1,8	41,58	5,81			
0,9	21,26	8,43	1,85	42,69	5,44			

Висновок. Запропоновано математичну модель для розрахунку двоосьових координат мішені в певний момент її польоту, яка враховує відомі параметри або параметри, які легко визначити під час тренувань і змагань (швидкість вітру). Одержані результати свідчать про можливість ефективного застосування математичних моделей і програмних засобів для симуляції траєкторії польоту мішеней у стрільбі стендовій. Такий підхід дає змогу прогнозувати поведінку мішеней у різних умовах, що може бути використано безпосередньо у тренувальному й змагальному процесах та для розроблення навчальних тренажерів.

Список використаних джерел:

1. Günther, M., & Schilling, A. (2016). Visual target tracking in clay pigeon shooting sports: Estimation of trajectory and flight distance. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 295–302.
2. Xie, Y., & Wang, Y. (2015). Modeling and simulation of virtual clay pigeon shooter training system. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, 16(3), 1–6.
3. Zhang, H., & Liu, Y. (2014). Shooting training method optimization research based on fluid mechanics and fuzzy theory. *BioTechnology: An Indian Journal*, 10(5), 1080–1085.
4. Виноградський Б. А. (2012). Спортивна стрільба з лука: основи й удосконалення спеціальної підготовки, Львів, ЛДУФК, 306с.