

УДК 004.8:796

О. Ю. Мельников, М. А. Кадацький

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СПОРТСМЕНА-МЕТАЛЬНИКА ЯДРА

Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ

Анотація. Розглянуто поняття штовхання ядра, будову сектора штовхання ядра, дослідження результатів штовхачів ядра України та світової арени, опис техніки ядра «зі стрибка», використання концепції комп'ютерного зору у спорті. Проаналізовано моделі та методи для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра, моделі для розрахунку штовхання ядра «з місця» та «зі стрибка», основні задачі апарату нейронних мереж та використання концепції комп'ютерного зору для створення системи відеоаналізу. Представлено основне завдання та мету роботи. Наведено формалізацію та алгоритм моделі нейронної мережі для оцінки фаз штовхання. Описано створену інформаційну модель проєктованої системи мовою візуального моделювання UML – наведено діаграми варіантів використання, класів, кооперації, послідовності, станів та компонентів. Описано можливості системи для дослідження основних показників спортсмена штовхача ядра, можливість використання відеосистеми для покращення техніки штовхання. Наведено приклад функціонування цієї системи та проведено аналіз результатів розрахунків.

Ключові слова: штовхання ядра, максимально ефективна техніка штовхання ядра, фізико-математична модель штовхання ядра, нейронні мережі прямого поширення, python, Lazarus, mediapipe, neurolab.

Abstract. The concept of shot put, the structure of the shot put sector, the study of the results of the shot putters of Ukraine and the world arena, the description of the shooting technique "from the jump", the use of the concept of computer vision in sports are considered. The models and methods for calculating the performance of a shot put athlete, models for calculating the shot put "from the spot" and "from the jump", the main tasks for the apparatus of neural networks and the use of the concept of computer vision to create a video analysis system are analyzed. The main task and purpose of the work is set. The formalization and algorithm of the neural network model for evaluating the pushing phases is presented. The created information model of the designed system is described in the language of visual modeling UML - diagrams of use cases, classes, cooperation, sequence, states and components are given. The possibilities of the system for studying the main indicators of a shot put athlete, the possibility of using a video system to improve the technique of pushing are described. An example of the operation of this system is given and an analysis of the calculation results is carried out.

Key words: shot put, the most effective shot put technique, physic-mathematical model of shot put, direct neural networks, python, Lazarus, mediapipe, neurolab.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-101-110>.

Вступ

Сучасний рівень розвитку легкої атлетики, зокрема штовхання ядра, ставить задачу по розробці нових, більш раціональних засобів і методів спортивної підготовки, які сприяють швидкому і надійному досягненню високих спортивних результатів. Але силу безмежно збільшувати не можна, і подальше зростання результатів можливе не стільки шляхом удосконалення техніки метань, для чого доцільно використовувати інформаційні технології.

Актуальність та мета

Метою роботи є знаходження кращих показників для максимально ефективного використання сили та швидкості спортсмена при виконанні спроби, використовуючи математичну модель метання (техніка штовхання без попереднього розгону снаряду) та програмного забезпечення для розрахунків низки елементів (кута, початкової сили, початкової швидкості). Також моделювання кута штовхання та кута виштовхування ядра для максимального результату технікою з попереднім розгоном (техніка «зі стрибка»). Дослідити можливість використання апарату штучних нейронних мереж при розрахунку показників спортсмена-метальника ядра за наявними даними про вік, зростання, масу тіла атлета, а також характеристикам польоту ядра визначити дальність цього польоту та можливість використання моделі «комп'ютерного зору» для відео аналізу спроб спортсмена із подальшим його коригуванням. Можливість практичного використовувати розробленого програмного забезпечення для тренування спортсменів-метальників.

Об'єкт дослідження – фізико-математична модель штовхання ядра, яка має визначити раціональність використання тієї чи іншої техніки метання для досягнення максимальної дальності польоту снаряда. Предмет дослідження – можливості програмування складних математичних функцій, що описують циклічну техніку штовхання ядра.

Задачі

1. Проаналізувати наявні моделі та методи для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра.
2. Створити систему підтримки прийняття рішень для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра, навести приклад функціонування цієї системи.

Розв'язання задач

Штовхання ядра відноситься до циклічних швидко-силових вправ, у яких розбіг виконується двома способами: «стрибком» або «поворотом», а фінальна частина – шляхом виштовхування снаряда однією рукою від плеча. Штовхання ядра, що полягає в «штовханні» (киданні штовхає рухом руки) спе-

ціального спортивного снаряда – ядра на дальність. Дисципліна належить до метань, входить в технічні види легкоатлетичної програми та вимагає від спортсменів вибухової сили та координації. Вага ядра в чоловічих змаганнях – 7,257 кг. В офіційних змаганнях учасники виконують шість спроб в секторі для штовхання. За результатами трьох перших спроб відбираються вісім кращих, і у наступних трьох спробах вони розігрують кращого за максимального результату в шести спробах. Через це і виникає необхідність правильності виконання техніки, починаючи з самого початку, щоб досягти максимальний результат і вийти у фінальне коло змагань. Спосіб штовхання «стрибком» є більш простим за координаційною структурою, і на його опанування потрібно менше часу, ніж «поворотом». Тому при початковому навчанні рекомендується розучувати даний спосіб метання [1-2].

Увесь процес метання умовно можна розділити на фази, які взаємопов'язані та послідовно переходять одна в іншу. У попередній частині розбігу це: тримання снаряда, вихідне положення, попередні рухи (замах «угруповання»), розгін-стрибок. У фінальній частині: фінальне зусилля та утримання рівноваги після випуску снаряда. У способі штовхання ядра «стрибком» є два стилі виконання фази фінального руху, які визначаються способом і напрямком руху правої ноги під час фінального зусилля.

Для того, щоб краще розібратися з технікою «стрибка», поділимо її на 2 основних складових: штовхання ядра без розгону, але з урахуванням розгону ядра, так звана «техніка з місця», і сама техніка «стрибком» (така концепція використовується і в самому тренувальному процесі).

Як вже зазначалося, ефективною спортивною технікою називається така система елементів руху, яка забезпечує спортсмену досягнення максимального результату. Основою максимального результату є правильність виконання фінальної (завершальної) фази штовхання ядра. Тому доцільно буде дослідити цю область спортивної техніки зі статичного боку. Розглянемо, від яких величин вона залежить в першу чергу. З рівняння механіки дальність польоту ядра визначається так [1]:

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\omega_0}{g} \quad (1)$$

де v_0 – початкова швидкість вильоту снаряда в м/с, яка повідомляється снаряду спортсменом в момент випуску його з руки, ω_0 – початковий кут вильоту снаряда в градусах, g – прискорення сили тяжіння.

На ядро, яке летить у повітрі з якоюсь початковою швидкістю, діють тільки дві сили: сила тяжіння Землі та сила опору повітря, вплив якої буде оцінено нижче. Траєкторія ядра визначиться рівнянням:

$$L = \frac{v_0^2}{g} \cos \omega_0 \left(\sin \omega_0 + \sqrt{\sin^2 \omega_0 + \frac{2gh_0}{v_0^2}} \right) \quad (2)$$

де h_0 – висота, на якій снаряд залишає руку спортсмена.

Рівняння (1-2) показують, від чого залежить дальність польоту ядра: початкової швидкості, з якою ядро виштовхується; кута до горизонту, під яким ядро виштовхується; висоти над землею, на якій ядро залишає руку. Так само було отримано рівняння, що визначають положення найвищої точки траєкторії снаряда. Ці відомості можуть бути корисні також для проектування легкоатлетичних манежів.

Кожен спортсмен має визначити такий кут вильоту ядра, який для його антропометричних характеристик (вага, зріст) забезпечить максимальну дальність польоту. Але очевидно, що опис спортивної техніки винятково рівняннями механіки може не враховувати ряд факторів, які є малозначущими для абсолютних значень результатів, але можуть мати серйозний вплив на відносні показники.

У фізичній культурі та спорті нейронні мережі використовуються для аналізу і прогнозування показників фізичної підготовленості спортсменів, а також результатів спортивних змагань [3]. Для наявних даних з [4] було сформульовано задачу прогнозування: за наявними даними про вік, ріст, масу тіла атлета, а також характеристиках польоту ядра визначити дальність цього польоту. Цю задачу було вирішено методом штучних нейронних мереж в [5], однак там не було враховано низку важливих факторів.

У табл. 1 наведено перелік факторів, які впливають на результат штовхання ядра. Ми маємо 14 вхідних значень, які належать до 5 класів – груп залежностей, які поділені на фізичні величини та по класу дії.

Таблиця 1 – Перелік факторів

№	Група	Фактор	Одиниці вимірювання
1	Зросту та висоти випуску	h_0 – висота випуску ядра	м
2		D_r – довжина рук (розмах)	м
3		ZT – зріст спортсмена	м
4	Підривні	LJ – результат в стрибках у довжину з місця	м
5		TJ – результат у потрійному стрибку	м
6	Силові	LT – результат у жимі лежачи	кг
7		LS – результат у присіданні зі штангою на плечах	кг
8		VG – результат у взятті на груди	кг
9		TK – товчок штанги	кг
10		WS – вага спортсмена	кг
11	Швидкісні	V_ϕ – фінальна швидкість випуску снаряда	м/с
12		V_z – горизонтальна швидкість розгону снаряду	м/с
13	Кутові	ω_0 – кут штовхання (від надпліччя)	градус
14		θ_0 – кут виштовхування (кут лодоні)	градус

Після проведення розрахунків можна отримати відповіді на питання:

- наскільки ефективно використовуються показники спортсмена для досягнення найкращого результату;
- як можна покращити техніку штовхання ядра;
- які показники для конкретного спортсмена вважати більш або менш важливими;
- наскільки техніка штовхання випереджує силові показники, або силові показники випереджають техніку.

Ці задачі вирішено в [6]. Але ще треба визначити, яка техніка метання більше підходить спортсмену згідно з його фізичними параметрами. Маємо дані про спортсменів, які можна вважати вхідними факторами (у кількості десяти одиниць): висота випуску ядра за різними техніками; зріст спортсмена; стать спортсмена; вік спортсмена; довжина рук; довжина ніг; тип волокон м'язів; широта плечей; тест Абалакова на рухову якість – швидкість; довжина розгону.

Кожен спортсмен може використовувати різну техніку метання (одну з 4 різновидів): стрибок; круговий мах (низькі ноги); круговий мах (високі ноги, низькі плечі); круговий мах (високі ноги, високі плечі). При використанні кожної техніки він отримує різні результати. Таким чином, ми додаємо новий фактор – «техніка, що використовується для метання» – як результативний. Знаходимо кращі результати для кожного спортсмена по кожному з факторів і проводимо класифікацію. Потім вводимо дані нового спортсмена, і модель радить, яку техніку краще використовувати саме цьому спортсмену для отримання найкращих результатів. Шляхом проведення низки чисельних експериментів було підібрано архітектуру нейронної мережі з одним прихованим шаром, який містить три нейрони. Результати розрахунків в сервісі Deductor наведено на рис. 2, порівняння результатів на рис. 3.

Висота випуску	Зріст	Стать	Вік	Довжина рук	Довжина ніг	Тип волокон м'язів	Широта плечей	Тест Абалакова	Довжина розгону	Тип техніки
220	190	2	16	90	70	2	50	27	120	1
184	160	1	18	78	67	2	65	21	134	2
150	150	2	23	87	67	1	56	15	100	2
178	165	1	23	67	56	1	57	23	123	1
196	170	2	21	65	65	2	67	25	130	3
221	166	2	21	58	48	2	47	34	130	1
223	205	1	19	92	70	2	76	22	148	2
152	217	2	25	74	82	2	24	26	142	4
208	186	2	32	92	56	2	51	25	127	4
208	150	2	23	55	85	1	24	35	125	4
197	225	1	26	69	54	2	75	35	139	3
221	225	1	25	108	64	2	40	20	123	2
150	188	1	28	66	80	2	53	27	114	2
192	185	2	25	82	60	1	69	27	143	1
209	187	2	23	54	58	1	21	19	121	1
198	178	1	35	72	78	1	41	23	135	3
171	227	2	15	100	94	2	64	24	134	4
167	160	1	32	100	87	1	65	26	128	4
170	165	2	30	63	63	1	59	15	119	2

Рисунок 1 – Вхідні дані

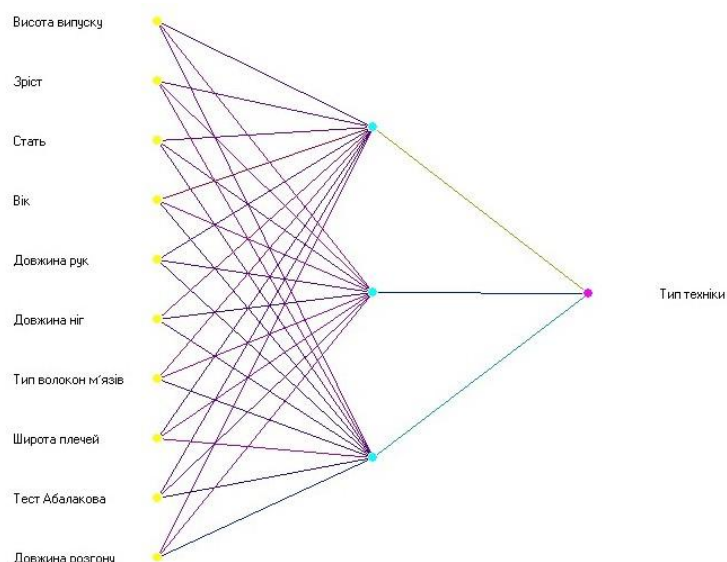


Рисунок 2 – Схема нейронної мережі

Тип техніки	10x2x1	10x3x1
1	1,0265	1,0258
2	1,9963	2
2	1,9993	1,9998
1	1,0007	1,0069
3	2,9988	2,9997
1	1,0194	1,3062
2	1,9987	2
4	3,9783	3,998
4	3,9910	3,9818
4	3,9803	3,9825
3	2,4982	2,9999
2	1,9975	1,9995
2	2,5026	2,001
1	1,0259	1,0122
1	1,0152	1,0027
3	2,9991	3,0007
4	3,9872	3,99
4	3,9929	3,9882
2	1,9995	2,0002

Рисунок 3 – Порівняння результатів двох розрахунків та реальних даних

Застосування цієї моделі допоможе зменшити час знаходження техніки майже у два рази, що своєю чергою допоможе раціонально застосувати час для підготовки спортсмена у його віковій категорії.

Комп'ютерне бачення (CV) – це підполе штучного інтелекту та машинного навчання, який розробляє методи підготовки комп'ютерів для інтерпретації та розуміння вмісту всередині зображень. Комп'ютерне бачення має на меті повторення частин складності в системі зору та візуального сприйняття шляхом застосування глибоких навчальних моделей, щоб точно виявити та класифікувати об'єкти з динамічного та різного фізичного світу [7].

Очевидно, що було б доцільно застосувати концепцію комп'ютерного зору для аналізу відео спортсмена-штовхальника ядра.

Перша задача: можливість побачити 3D модель позиції штовхання на кожній фазі спроби, щоб детальніше зрозуміти попередні дії спортсмена. Дослідження показали, що горизонтальне положення вивільнення відносно сегменту є вирішальним фактором успіху кидка. Оптимальне горизонтальне положення вивільнення повинно бути від 0,2 до 0,5 м перед носком, причому ця відстань значною мірою визначається антропометрією та технікою спортсмена.

Проблемою є також анатомічні особливості спортсменів. Раніше вважалося, що в ідеалі траєкторія як центру мас спортсмена, так і штовхання повинна проходити по лінійній траєкторії, при цьому найнижча точка знаходиться на початку кидка, а найвища точка – в момент вивільнення. Однак останні дослідження показали, що це може бути не так. З цього й постає друге питання: можливість дослідження траєкторії снаряду протягом усього шляху від початку розгону до вильоту. З цими питаннями можливо впоратися, використовуючи концепцію комп'ютерного зору (рис. 4).

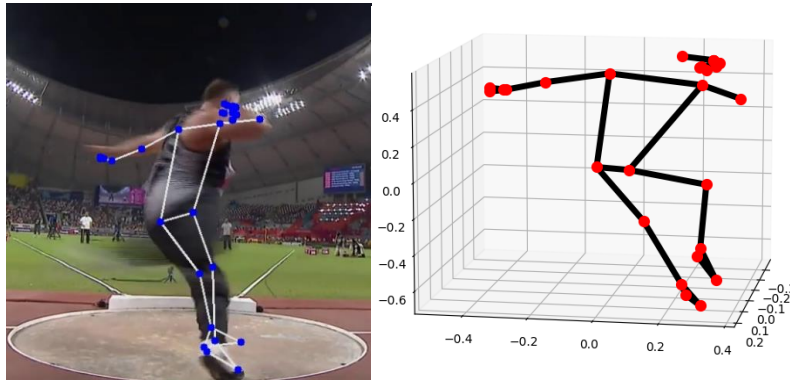


Рисунок 4 – Штовхання ядра з повороту (фаза входу) у різних проекціях

В запропонованому підході, що забезпечує відстеження пози людини з використанням машинного навчання (ML) і визначає 33-2D орієнтири тіла з одного кадру. На відміну від сучасних моделей поз, заснованих на стандартній топології COCO, BlazePose точно локалізує більше ключових точок, що робить його унікальним для фітнес-додатків. Поточним стандартом для пози людського тіла є топологія COCO, яка складається з 17 орієнтирів через тулуб, руки, ноги та обличчя. Однак ключові точки COCO локалізуються лише на гомілковостопних та зап'ястних точках, їм не вистачає інформації про масштаб і орієнтацію для рук і ніг, що важливо для практичних застосувань, таких як фітнес і танці. BlazePose представляє нову топологію з 33 ключових точок людського тіла, яка є супернабором топологій COCO, BlazeFace і BlazePalm. Це дозволяє нам визначати семантику тіла лише на основі передбачення пози, що узгоджується з моделями обличчя та рук (рис. 5).

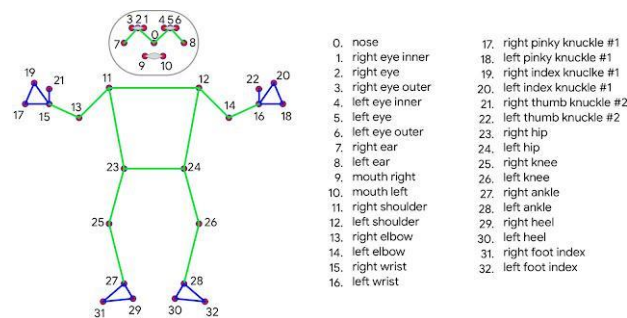


Рисунок 5 – Топологічні пози

Таким чином можна допустити використання комп'ютерного зору у підготовці штовхачів ядра. Припустимо, що окрім звичайного візуального аналізу, тренеру складно дати оцінку якості тієї чи іншої фази поштовху (їх буває від 4 до 5). З можливостями технології BlazePose та нейронної мережі, описаної в [8], можна організувати повний «замкнений цикл» підготовки спортсмена, більш раціонально використовуючи засоби (відпадає потреба у дорогому обладнанні та датчиків).

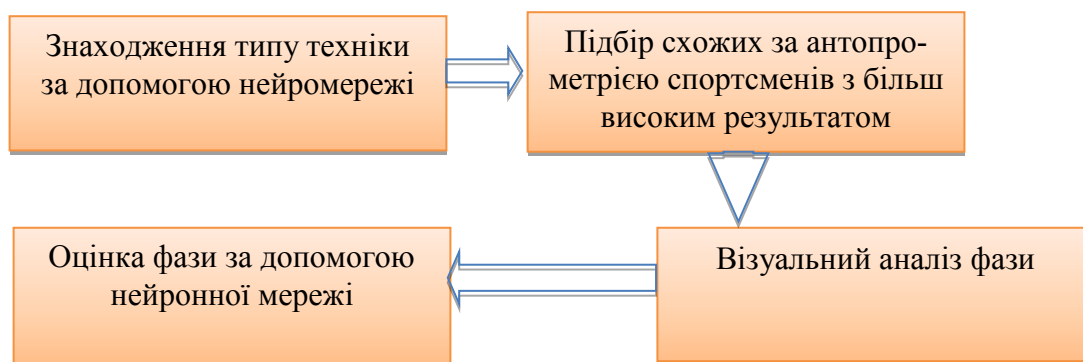


Рисунок 6 – «Замкнутий цикл» підготовки

Спочатку пропонувалося використовувати знання всіх координат на проміжки знаходження пози людини та поділу на 5 основних фаз (розгін, вхід, захоплення, постановка лівої та випуск ядра для кругового маху). Однак при розрахунку було з'ясовано, що для реалізації даної системи для кожного етапу знаходження довелося б реалізувати мережу виду $99 \times 33 \times 1$ (для однієї фази), а якщо для всіх п'яти – то $395 \times 33 \times 5 \times 1$, що значно збільшило б час навчання. Цю проблему можна вирішити знаходженням відхилення від норми. Якщо взяти за норму показники топового спортсмена (зі схожою антропометрією) у цій фазі та порівняти зі спортсменом, якого ми аналізуємо, достатньо буде знаходження лише відстані між координатами топологічних точок. Чим вище відхилення, відстань від точки до точки, тим гірше випробуваний спортсмен виконує спробу. Тоді мережа матиме вигляд 33×1 . Вхідні дані – це відстань від точок, а вихідне значення – відсоток якості виконання фази. Нейронна мережа була протестована згідно з наявними даними, результати (рис. 7 і 8) свідчать, що тестування пройшло в межах припустимої помилки 10%, і це дозволяє зробити висновок про доцільність використання цієї нейронної мережі.

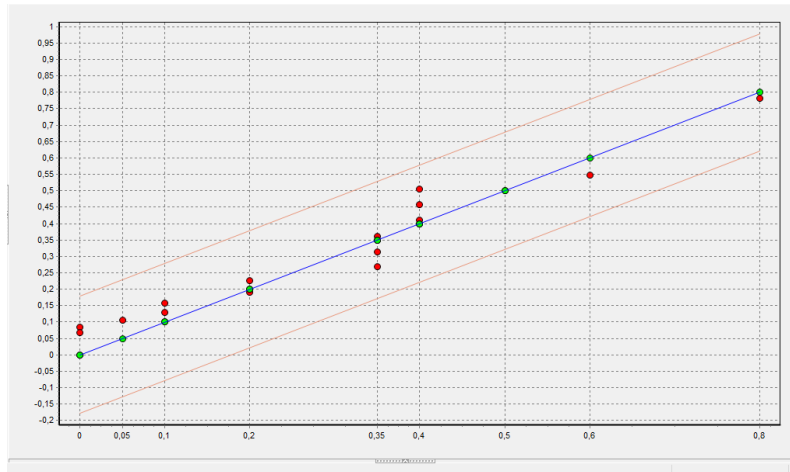


Рисунок 7 – Діаграма розсіювання

0,6	0,6_OUT	0,6_ERR
0,6	0,547870929515857	0,0042459998365745
0,4	0,504190450317321	0,0169619530270721
0,4	0,457670915767679	0,00519677269606668
0,4	0,409501721093641	0,000141066724595839
0,35	0,361055201184667	0,000190964801927303
0,35	0,313735364353196	0,00205488093530533
0,35	0,268819185482439	0,0102973822589604
0,2	0,227327246708763	0,00116684126981504
0,2	0,189949398274848	0,00015783530474629
0,1	0,157032101788481	0,00508228224126818
0,1	0,12861655492186	0,00127954252436846
0,05	0,104507150120811	0,00464223345983216
0	0,0843493076278454	0,0111168839020264
0	0,0677011248235424	0,00716162859745762
0,5	0,500103209218694	1,66439731615315E-8
0,8	0,78172133018105	0,000522046516172183

Рисунок 8 – Результати тестування

Далі було спроектовано та виконано програмну реалізацію системи підтримки прийняття рішення для дослідження техніки штовхання ядра [9-10] (рис. 9).

Розроблена система поділяється на 5 основних частин. Перша частина – це меню для орієнтації по програмі. Друга та третя частини – це основні вікна програми, для моделювання показників техніки штовхання ядра «з місця» та «зі стрибка». Четверта частина – це розрахунок нейронної мережі для знаходження відсотка корекції техніки, залежності силових та антропометричних даних спортсмена від показників техніки штовхання.

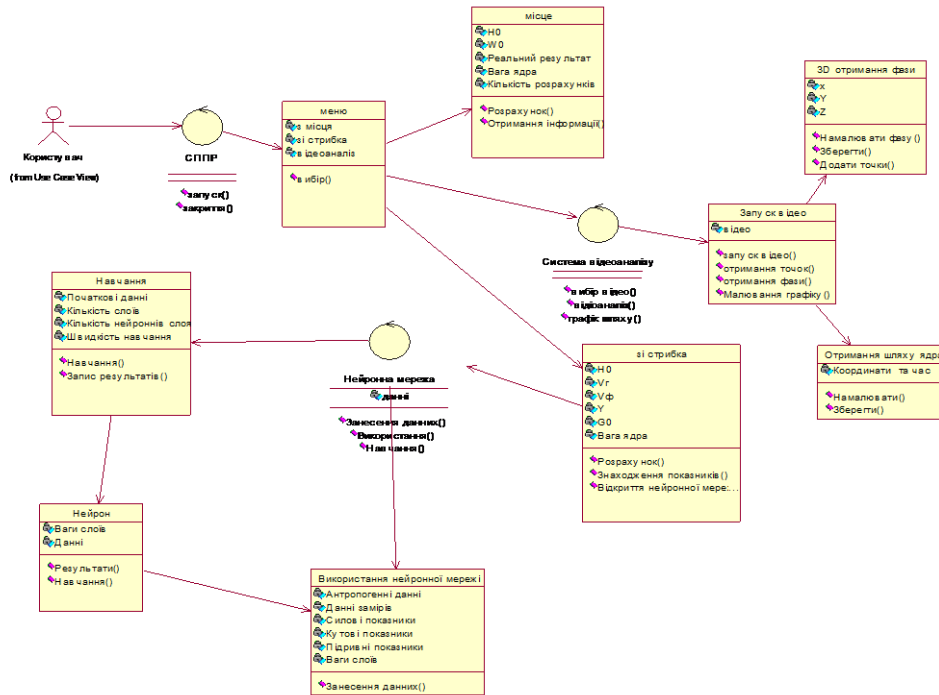


Рисунок 9 – Діаграма класів системи

Опис роботи перших частин вже наведено у [9]. Для тестування знаходження відсотка корекції техніки розберемо приклади двох спортсменів з різними даними (рис. 10):

Показники	H0	Dg	ZT	LJ	TJ	LT	LS	VG	TK	WS	Vr	Vф	Wo	Go
Спортсмен А	1,8	1,9	1,9	2,9	8,7	130	200	120	120	120	2,76	8,99	39,4	33,4
Спортсмен Б	2,2	1,9	1,8	2,9	8	120	160	120	120	95	1,4	9,5	45	39,6

Рисунок 10 – Початкові дані спортсменів А та Б для експерименту

Рисунок 11 – Результати розрахунків для спортсменів А та Б

Результати розрахунків (рис. 11) свідчать, що спортсмен А є сильнішим, ніж спортсмен Б, у наступних показниках: жим лежачи – 130 кг, присяд зі штангою – 200 кг, потрійний стрибок – 8,7 м, зріст - 1,9 м, однак відсоток корекції вище у спортсмена Б, бо він раціональніше виконує спробу. Зі зростом 1,9 м спортсмен А штовхає ядро на висоті 1,8, коли спортсмен Б зі зростом 1,8 м на висоті 2,2 м, під більш значущим кутом (45 градусів).

Наступним етапом є система аналізу відео поштовху. Система дозволяє бачити скелет, який побудовано за допомогою системи MediaPurі та 33 топологічних точок, наведених раніше. Приклад аналізу дослідження фази входу візуально можемо побачити на рис. 12.



Рисунок 12 – Порівняння «фази входу»

З рис. 12 видно, що об'єкт праворуч (особистий рекорд 15 м 81 см) та об'єкт ліворуч (особистий рекорд 23 м 37 см) по-різному роблять фазу, спортсмен ліворуч надто високо підіймає лікоть, після чого має високу ймовірність загубити попередній розгін ядра, тим самим скоротити шлях розгону, що вплине на результат.

Наступний крок – це запуск оцінки фази. Нейрона мережа вже навчена, оцінка дорівнює приблизно 25% від еталона, що доволі мало. Згідно з думками експертів, це викликано підйомом лівого ліктя та перекручуванням лівої стопи під час фази.

Висновки

Було розглянуто методи знаходження кращих показників для максимально ефективного використання сили та швидкості спортсмена при виконанні спроби, використовуючи математичну модель метання (техніка штовхання без попереднього розгону снаряду) та програмного забезпечення для розрахунків низки елементів (кута, початкової сили, початкової швидкості). Також моделювання кута штовхання та кута виштовхування ядра для максимального результату технікою з попереднім розгоном (техніка «зі стрибка»).

Проведено дослідження можливості використання апарату штучних нейронних мереж при розрахунку показників спортсмена-метальника ядра за наявними даними про вік, зріст, вагу атлета, а також характеристикам польоту ядра визначити дальність цього польоту та можливість використання моделі «комп'ютерного зору» для аналізу відео спроб спортсмена із подальшим його коригуванням. Є можливість практичного використовувати розробленого програмного забезпечення для тренування спортсменів-метальників.

На етапі інформаційного проектування інформаційної системи були побудовані UML-діаграми, що зображають основні можливості системи, взаємодію її основних класів, її поведінку й архітектуру: діаграма варіантів використання, діаграма класів, діаграма кооперації, діаграма послідовності, діаграма діяльності, діаграма компонентів. Лістинг програми наведено у додатках.

Використовуючи фізико-математичну модель штовхання ядра, яка має визначити раціональність використання тієї чи іншої техніки метання для досягнення максимальної дальності польоту снаряду, були досягнені можливості програмування складних математичних функцій, що описують циклічну техніку штовхання ядра, а саме розроблено систему прийняття рішень на основі мов програмування Free Pascal та Python, для дослідження найкращих показників спортсмена-штовхальника ядра.

Список літератури

- [1] В. Н. Тутевич, *Теория спортивных метаний*. Москва, 1956, 310 с.
- [2] В. Н. Тутевич, *Толкание ядра*. Москва: ФиС, 1955, 260 с.
- [3] С. Т. Касюк, Е. М. Вахтомова, «Использование нейронных сетей для анализа и прогнозирования данных в физической культуре и спорте», *Научно-теоретический журнал «Ученые записки»*, № 12 (106), с.72 – 77, 2013.
- [4] Wilko Schaa, «Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics», *New Studies in Athletics*, №3-4, с. 9–21, 2010. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/265661202>. Дата звернення: Груд. 15, 2021.
- [5] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Использование нейросетевых технологий для приближенного нахождения показателей спортсмена-метателя ядра», *Автоматизация та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи*

розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції, Черкаси, 2019, с. 87–89.

- [6] М. А. Кадацький, О. Ю. Мельников, «Розрахунок показників спортсмена-метальника ядра за допомогою штучної нейронної мережі з 14 вхідними факторами», *Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (4-5 червня 2020р., м. Херсон) / за заг. ред. Г.О. Райко*, Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2020, с. 280–283.
- [7] What is computer vision? [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [8] М. А. Кадацький, О. Ю. Мельников, «Постановка задачі визначення кращої техніки метання для спортсмена-метальника ядра з використанням концепції комп'ютерного зору», *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко*, Херсон: ФОП Вишемирський В., 2021, с. 225–228.
- [9] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Разработка информационной системы для приблизительного нахождения показателей спортсмена-метателя при помощи математического моделирования толкания ядра и применения нейросетевых технологий», *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Збірник наукових праць*, Краматорськ: ДДМА, №2 (46), с.145–149, 2019.
- [10] О. Ю. Мельников, М. А. Кадацький, «Створення модулю нейромережевого моделювання в системі підтримки прийняття рішень для розрахунку показників спортсмена-метальника ядра», *Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції / М-во освіти і науки України; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв*, Київ: Видавничий центр КНУКіМ, 2021, с. 183–186.

Стаття надійшла: 17.01.2022

References

- [1] V. N. Tutevich, *Teoriya sportivnykh metanij*. Moskva, 1956, 310 s. [in Russian].
- [2] V. N. Tutevich, *Tolkaniye jadra*. Moskva: FiS, 1955, 260 s. [in Russian].
- [3] S. T. Kasjuk, E. M. Vahtomova, «Ispol'zovanie nejronnykh setej dlja analiza i prognozirovaniya dannykh v fizicheskoy kul'ture i sporte», *Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Uchenye zapiski»*, № 12 (106), s.72–77, 2013 [in Russian].
- [4] Wilko Schaa, «Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics», *New Studies in Athletics*, №3-4, s. 9–21. 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/265661202>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [5] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Ispol'zovanie nejrosetevykh tehnologij dlja priblizitel'nogo nahozhdeniya pokazatelej sportsmena-metatelja jadra», *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnologii u vyrobnytstvi ta osviti: stan, dosiahnennia, perspektyvy rozvytku: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii*, Cherkasy, 2019, s. 87–89. [in Russian].
- [6] М. А. Kadatskyi, O. Yu. Melnykov, «Rozrakhunok pokaznykiv sportsmena-metalnyka yadra za dopomohoiu shtuchnoi neironnoi merezhi z 14 vkhidnymy faktoramy», *Vykorystannia informatsiinykh ta komunikatsiinykh tekhnologii v suchasnomu tsyfrovomu suspil'stvi: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. (4-5 chervnia 2020r., m. Kherson) / za zah. red. H.O. Raiko*, Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrskiy V.S., 2020, s. 280–283 [in Ukrainian].
- [7] What is computer vision? [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [8] М. А. Kadatskyi, O. Yu. Melnykov, «Postanovka zadachi vyznachennia krashchoi tekhniki metannia dlia sportsmena-metalnyka yadra z vykorystanniam kontseptsii kompiuternoho zoru», *Materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh za tematykoiu «Suchasni kompiuterni systemy ta merezhi v upravlinni»: zbirka naukovykh prats / Pid redaktsiieiu H.O. Raiko*, Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrskiy V.S., 2021, s. 225–228 [in Ukrainian].
- [9] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Razrabotka informacionnoj sistemy dlja priblizitel'nogo nahozhdeniya pokazatelej sportsmena-metatelja pri pomoshhi matematicheskogo modelirovaniya tolkanija jadra i primenenija nejrosetevykh tehnologij», *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii: Zbirnyk naukovykh prats*, Kramatorsk: DDMA, №2 (46), s. 145–149, 2019 [in Russian].
- [10] O. Yu. Melnykov, M. A. Kadatskyi, «Stvorennia moduliu neiromerezhevoho modeliuвання v systemi pidtrymky pryiniattia rishen dlia rozrakhunku pokaznykiv sportsmena-metalnyka yadra», *Informatsiini tekhnologii v kulturi, mystetstvi, osviti, nautsi, ekonomitsi ta biznesi: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii / M-vo osvity i nauky Ukrainy; Kyiv. nats. un-t kultury i mystetstv*, Kyiv: Vydavnychiy tsentr KNUKіM, 2021, s. 183–186 [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Мельников Олександр Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень.

Кадацький Микита Андрійович – магістрант спеціальності «Системний аналіз».

O. Yu. Melnykov, M. A. Kadatskyi

**STUDY OF METHODS FOR CALCULATING THE
PERFORMANCE OF A SHOT PUTTER ATHLETE**

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk