

ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДІЙ ЛЕГКОАТЛЕТІВ, ЯКІ СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ В СПОРТИВНІЙ ХОДЬБІ, У СИСТЕМІ БАГАТОРІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

Володимир Бобровник, Сергій Сovenко

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Анотація. Одним із пріоритетних напрямів оптимізації процесу технічної підготовки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічного вдосконалення є створення чітких критеріїв для вдосконалення технічних дій атлетів із використанням сучасних технологій моделювання. Сьогодні серед найбільш прогресивних технологій моделювання, що використовуються в спорті й легкій атлетиці зокрема, є нейронні мережі. *Мета дослідження* – удосконалення технічної підготовки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, на основі комп'ютерного моделювання технічних дій атлетів у системі багаторічної підготовки з використанням штучних нейронних мереж. *Методи.* Аналіз науково-методичної літератури, відеозйомка з біомеханічним аналізом рухових дій спортсменів, моделювання й методи математичної статистики. *Результати.* Проаналізовано інформативні антропометричні та біомеханічні характеристики техніки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, на етапах першої та другої стадій багаторічної підготовки. Біомеханічний аналіз технічних дій здійснено на основі даних відеозйомки чемпіонатів України зі спортивної ходьби 2014–2021 рр. у різних вікових групах на етапах першої та другої стадій багаторічної підготовки в чоловіків на дистанціях 3, 10 і 20 км і в жінок на дистанціях 2, 10 і 20 км. Кількість досліджуваних спортсменів – 181: чоловіків – 98, із них на дистанції 3 км – 31, 10 км – 36, 20 км – 31; жінок – 83, з них на дистанції 2 км – 20, 10 км – 32, 20 км – 31. На цій основі створено модель технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки з використанням штучних нейронних мереж. Подано алгоритм моделювання, який дає змогу моделювати й прогнозувати рівень спортивного результату на всіх рівнях (узагальненому, груповому й індивідуальному) залежно від статі в системі багаторічної підготовки. Розроблено багатофункціональні біомеханічні моделі техніки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки.

Ключові слова: біомеханічні характеристики, технічна підготовка, спортивна ходьба, система багаторічного удосконалення, нейронні мережі, моделювання.

Volodymyr Bobrovnyk, Serhii Sovenko

MODELLING OF THE TECHNICAL ACTIONS OF TRACK AND FIELD ATHLETES SPECIALIZING IN RACE WALKING IN THE SYSTEM OF LONG-TERM PREPARATION

Abstract. One of the priority directions for optimizing the process of technical preparation of track and field athletes who specialize in race walking in the system of long-term improvement is the creation of well-defined criteria for improving the technical actions of athletes using modern modeling technologies. Today, neural networks are among the most advanced modeling technologies used in sports and athletics in particular. *Objective.* Improving the technical training of track and field athletes who specialize in race walking based on computer modelling of the technical actions of athletes in the long-term training system using artificial neural networks. *Methods.* Analysis of scientific and methodological literature, video recording with biomechanical computer analysis of athletes' motor actions, modelling, and methods of mathematical statistics. *The results.* Informative anthropometric and biomechanical characteristics of the technique of track and field athletes specializing in race walking at the first and second stages of long-term training were analyzed. The biomechanical analysis of technical actions was carried out based on video footage of the 2014–2021 race walking championships of Ukraine in different age groups at the first and second stages of long-term training for men at distances of 3, 10 and 20 km and for women at distances of 2, 10 and 20 km. 181 athletes were involved in the study: men – 98, of which 31 are at the distance of 3 km, 36 – 10 km, and 31 – 20 km; 83 women, 20 of them at the distance of 2 km, 32 – 10 km, and 31 – 20 km. As a result, a technology for modelling the technical actions of track and field athletes specializing in race walking in a system of long-term training via artificial neural networks was developed. The simulation algorithm, which allows modelling and forecasting

Вступ. Сучасний стан розвитку спортивної ходьби характеризується невинним підвищенням рівня результатів і конкуренції, різноманіттям тактичних варіантів ведення спортивної боротьби, що впливає передусім на техніку виконання змагальної вправи [5], тому відповідні тенденції повинні бути враховані не тільки під час підготовки спортсменів у другій стадії багаторічного удосконалення, а й у першій, де закладаються фундаментальні основи технічної майстерності спортсменів [2; 18; 20].

Одним із пріоритетних напрямів удосконалення спортивної техніки і, як наслідок, процесу технічної підготовки спеціалісти вважають метод моделювання [1; 10].

На думку професора В.М. Платонова [3], важливою функцією моделі є значний внесок у переведення результатів наукових досліджень у практику спорту. При цьому в побудові тренувального процесу одну з найважливіших ролей відіграють моделі змагальної діяльності.

Моделі поділяють на три рівні: узагальнені, групові й індивідуальні. Узагальнені моделі відображають характеристику на основі досліджень відносно великої групи спортсменів певного віку, кваліфікації, виду спорту тощо. Групові будуються на основі вивчення певної сукупності атлетів, які відрізняються специфічними ознаками, наприклад, переважним розвитком тих чи інших фізичних якостей. Індивідуальні моделі спираються на результати тривалих досліджень змагальної чи тренувальної діяльності. При цьому в першій стадії багаторічної підготовки ефективними є узагальнені та групові моделі, а в другій – індивідуальні [3].

Цілком очевидно, що використання моделювання техніки змагальної діяльності дає змогу створювати основні орієнтири в побудові тренувального процесу в системі багаторічної підготовки, що підтверджено на матеріалі різних видів легкої атле-

Бобровник В., Сovenко С. Моделювання технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки. *Sport Science Spectrum*. 2024; 1: 4–14.
DOI: 10.32782/spectrum/2024-1-2

Bobrovnyk V., Sovenko S. Modelling of the technical actions of track and field athletes specializing in race walking in the system of long-term preparation. *Sport Science Spectrum*. 2024; 1: 4–14.
DOI: 10.32782/spectrum/2024-1-2

the level of sports results at all levels (generalized, group, and individual) depending on gender at various stages of long-term improvement was presented. Multifunctional biomechanical models of the technique of track and field athletes specializing in race walking in the system of long-term training were elaborated.

Keywords: biomechanical characteristics, technical training, race walking, long-term improvement system, neural networks, modeling.

тики [1; 10]. Поряд із цим дослідження В. Hanley зі співавт. [11; 12; 19], К. Hoga-Miura зі співавт. [13; 14] та ін. техніки виконання спортивної ходьби спортсменів на різних етапах багаторічної підготовки як у чоловіків, так і в жінок не були спрямовані на вирішення цієї проблеми.

Сьогодні в різних видах спорту, у легкій атлетиці зокрема, активно розвиваються нові напрями моделювання, як передусім комп'ютерне моделювання за допомогою штучних нейронних мереж [8–10; 15].

Мета дослідження – удосконалення технічної підготовки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, на основі комп'ютерного моделювання технічних дій атлетів у системі багаторічної підготовки з використанням штучних нейронних мереж.

Методи дослідження: аналіз науково-методичної літератури, відеозйомка з біомеханічним аналізом рухових дій спортсменів, моделювання й методи математичної статистики.

Біомеханічний аналіз техніки виконання змагального вправи здійснено на основі даних, отриманих у ході проведеної нами відеозйомки чемпіонатів України зі спортивної ходьби 2014–2021 рр. у різних вікових групах серед чоловіків на дистанціях 3, 10 і 20 км і жінок на дистанціях 2, 10 і 20 км. Кількість досліджуваних: у чоловіків – 98, із них на дистанції 3 км – 31, 10 км – 36, 20 км – 31; у жінок – 83, з них на дистанції 2 км – 20, 10 км – 32, 20 км – 31.

Оскільки довжина змагальних дистанцій у спортсменів різних вікових груп відрізнялася, відеозйомку та подальший біомеханічний аналіз здійснювали на таких відрізках: дистанція 20 км – 5, 10, 14 і 18 км (лише у 2014 р. визначали на трьох ділянках дистанції: 2, 10 і 18 км); дистанція 10 км – 2, 5 і 8 км; дистанція 3 км – 1 і 2 км, дистанція 2 км – 1 км.

З огляду на це, загальний обсяг досліджень за показниками спортивного результату кожного атлета на

різних відрізках дистанції становив у чоловіків і жінок понад 500. Загалом з урахуванням кількості досліджуваних біомеханічних показників техніки – 26, проаналізовано близько 10 000 вимірювань щодо характеристик техніки спортсменів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки.

Для аналізу відеозображення використовували апаратно-програмний комплекс «Lumax» [2].

Реєстрацію положень тіла спортсменів під час виконання змагальної вправи здійснювали відеокамерами «Sony DCR-SR 65» зі швидкістю 25 кадр·с⁻¹ із подальшим поділом на 50 півкадр·с⁻¹ (2014–2015 рр.) і відеокамерою «Sony HDR-PJ50E» зі швидкістю 50 кадр·с⁻¹ (2016–2021 рр.).

У ході досліджень ураховували всі метрологічні вимоги, що дало змогу правильно розмістити камеру й звести до мінімуму систематичні та випадкові помилки [4]. Для оцифрування переміщень біолонок спортсменів використовували модель тіла людини, що складалася із 20 точок, при цьому нанесення їх мало чітку послідовність [2].

Дані про вік та антропометричні характеристики спортсменів (довжину й масу тіла) отримано з офіційного сайту Федерації легкої атлетики України, а також у ході опитування на змаганнях.

За рівнем результатів, кінематичними характеристиками техніки, віком та антропометричними даними визначали показники описової статистики: середнє арифметичне (\bar{X}), стандартне відхилення (S) і коефіцієнт варіації (V). Для аналізу використано ліцензійне програмне забезпечення MS Excel.

Для визначення наявності чи відсутності взаємозв'язку між досліджуваними біомеханічними показниками техніки виконання спортивної ходьби й впливом їх на досягнення спортивного результату, залежно від відповідності даних закону нормального

розподілу, застосовували коефіцієнти кореляції Спірмена та Пірсона. Узгодженість отриманих даних закону нормального розподілу оцінювали з використанням критерію згоди Шапіро-Уїлка.

У процесі факторного аналізу застосовували метод головних компонент із варімакс обертанням, відбирали показники з факторним навантаженням 0,6 і вище.

Статистичну обробку результатів методами кореляційного й факторного аналізу, а також моделювання за допомогою штучних нейронних мереж здійснювали з використанням програмного забезпечення Statistica 14.0.0.15 від розробників StatSoft (TIBCO Software, США).

Результати досліджень і їх обговорення. У результаті проведених досліджень техніки спортивної ходьби на етапах попередньої базової підготовки (13–15 років; чоловіки: дистанція 3 км, n=31; жінки: дистанція 2 км, n=20), спеціалізованої базової підготовки (16–19 років; чоловіки: дистанція 10 км, n=36; жінки: дистанція 10 км, n=32) й у висококваліфікованих атлетів, починаючи з етапу підготовки до вищих досягнень і закінчуючи етапом збереження вищої спортивної майстерності (20 і більше років; чоловіки: дистанція 20 км, n=31; жінки: дистанція 20 км, n=31), на основі кореляційного аналізу ми виявили антропометричні й інформативні біомеханічні характеристики спортсменів у системі багаторічної підготовки, що впливають на досягнення спортивного результату як у чоловіків, так і в жінок.

Зазначимо, що основу спортивної ходьби як циклічного руху становить подвійний крок (крок із правої та лівої ноги), тому аналіз включав вивчення основних елементів технічних дій скорочодів у його структурі.

На основі проведених досліджень створено багатофункціональну модель техніки подвійного кроку в спортивній ходьбі, структуру цієї моделі подано на рисунку 1.

На наступному етапі досліджень розроблено багатофункціональні біомеханічні моделі основних елементів техніки спортивної ходьби на етапах багаторічного вдосконалення із застосуванням штучних нейронних мереж.

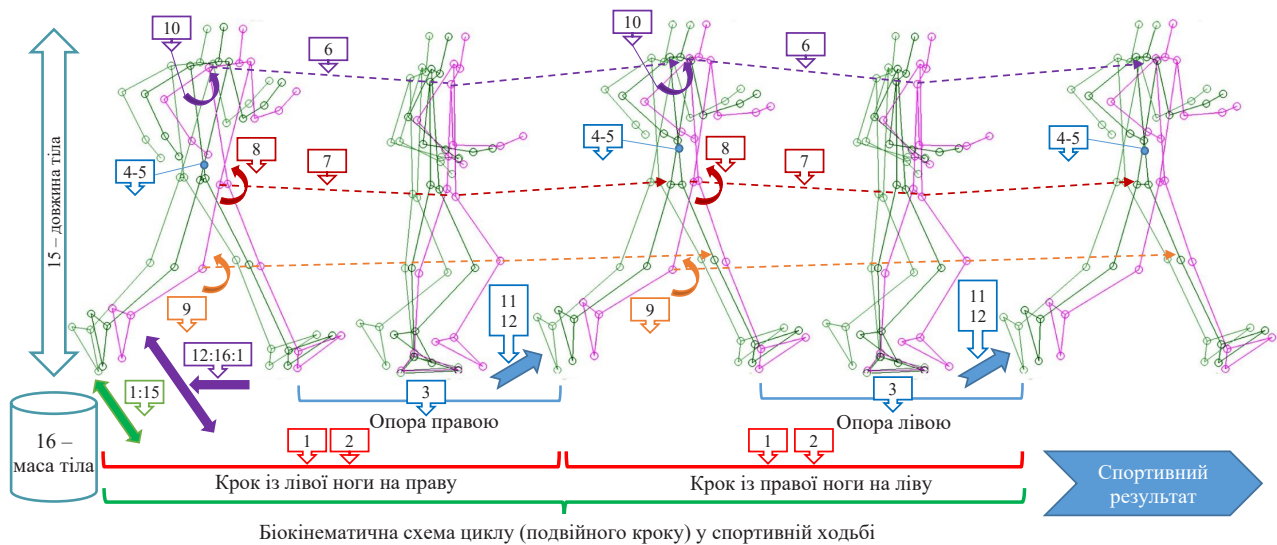


Рис. 1. Багатофункціональна модель техніки подвійного кроку в спортивній ходьбі:

1 – довжина кроку (м); 2 – частота кроків (крок·с⁻¹); 3 – час одиначної опори (с); 4 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору (м·с⁻¹); 5 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори (м·с⁻¹); 6 – амплітуда переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиначної опори (м); 7 – амплітуда переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиначної опори (м); 8 – кутова швидкість згинання кульшового суглоба махової ноги у фазі одиначної опори (рад·с⁻¹); 9 – кутова швидкість розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиначної опори (рад·с⁻¹); 10 – кутова швидкість згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиначної опори (рад·с⁻¹); 11 – результуюча сила реакції опори у фазі одиначної опори (Н); 12 – потужність відштовхування у фазі одиначної опори (Вт); 13 – Ka (коефіцієнт використання антропометричних даних) (ум. од.); 14 – Ke – співвідношення потужності до довжини кроку (ум. од.).

Сьогодні нейронні мережі застосовують під час аналізу та класифікації даних за заданими параметрами, формування аналітичних прогнозів, керуючись вхідною інформацією, порівняння та розпізнавання ідентичних даних.

Штучна нейронна мережа побудована за принципом організації біологічних нейронних мереж, оскільки вона складається з елементів, функціональні можливості яких аналогічні більшості елементарних функцій біологічного нейрона. Ці елементи організуються за способом, який може відповідати (або не відповідати) анатомії мозку. Незважаючи на таку поверхову схожість, штучні нейронні мережі демонструють велике число властивостей мозку. Наприклад, вони навчаються на основі досвіду, узагальнюють попередні прецеденти на нові випадки й витягують істотні властивості з інформації, що надходить і містить зайві дані [6; 7; 8].

Нейронні мережі – потужний метод моделювання, що дає змогу відтворювати надзвичайно складні залежності. При цьому нейронні мережі *нелінійні* за своєю природою. Зазвичай вони використовуються тоді, коли невідомий точний вид зв'язків між входами й виходами, бо якби він

був відомий, то його можна було б моделювати безпосередньо. Інша істотна особливість нейронних мереж полягає в тому, що залежність між входом і виходом знаходиться в процесі навчання мережі [8; 16].

Штучний нейрон імітує в першому наближенні властивості біологічного нейрона, однак являє собою спрощену модель. На вхід штучного нейрона надходить деяка множина сигналів, кожен із яких є виходом іншого нейрона. Кожен вхід перемножується з відповідною вагою, аналогічною синаптичній силі, і всі доданки підсумо-

вуються, визначаючи рівень активації нейрона. Іншими словами, штучний нейрон – це така функція, яка перетворює кілька вхідних параметрів в один вихідний. На рисунку 2 подано схему, що реалізує цю ідею.

Як видно на рисунку 2, множина вхідних сигналів, позначених x_1, x_2, \dots, x_n , надходить на штучний нейрон. Кожен сигнал перемножується з відповідною вагою w_1, w_2, \dots, w_n і надходить на підсумовуючий блок, позначений Σ . Кожна вага відповідає «силі» одного біологічного синаптичного зв'язку.

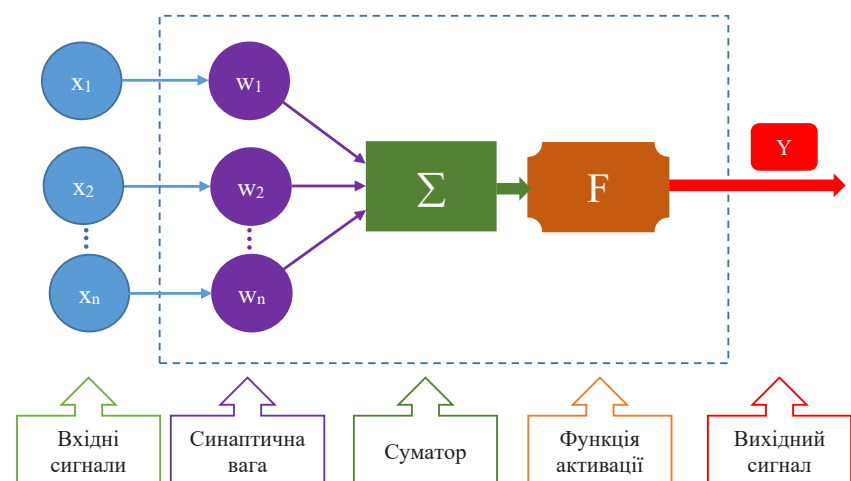


Рис. 2. Схема штучного нейрона з активаційною функцією

З кожним нейроном пов'язане визначене граничне значення. Обчислюється зважена сума входів, від неї віднімається граничне значення й у результаті виходить величина *активації* нейрона. Сигнал активації перетворюється за допомогою функції активації (F), і в результаті одержуємо вихідний сигнал нейрона. Аналогічно з електронними системами активаційну функцію можна вважати нелінійною підсилювальною характеристикою штучного нейрона – Y . Використовуються найбільш різні функції активації: логістична, сигмоїдальна, гіперболічного тангенса тощо.

Окремі нейрони з'єднуються один із одним, при цьому організуються в шари регулярним чином. Вхідний шар слугує тільки для введення значень вхідних змінних. Кожен із прихованих і вихідних нейронів з'єднаний з усіма елементами попереднього шару. Таким чином, під час використання мережі у вхідні елементи подаються значення вхідних змінних, потім послідовно відпрацьовують нейрони проміжних і на останок вихідних шарів. Кожен із них обчислює своє значення активації, беручи зважену суму виходів елементів попереднього шару й віднімаючи від неї граничне значення. Потім значення активації перетворюється за допомогою функції активації, у результаті одержуємо вихід нейрона. Після того, як уся мережа відпрацює, вихідні значення елементів вихідного шару приймаються за вихід усієї мережі загалом [7; 8].

Більшість наявних нейронних мереж залежно від архітектури може бути поділена на три великі категорії [8]:

- багатшарові з прямою передачею інформації, у яких окремі нейрони об'єднані в шари, між якими інформація передається в одному напрямку від входу до виходу;
- рекурентні (зі зворотним зв'язком), у яких сигнали з виходу можуть подаватися на вхід або внутрішні шари мережі;
- клітинні, у яких кожен нейрон пов'язаний тільки із сусідніми.

Завданням роботи з моделювання було створення багатфункціональних біомеханічних моделей основних елементів техніки спортивної ходьби

на етапах багаторічного вдосконалення. Вхідними даними слугували інформативні біомеханічні характеристики техніки спортсменів і їхні антропометричні дані (довжина та маса тіла), вихідними даними – спортивний результат. Однак для того, щоб штучна нейронна мережа моделювала чи спрогнозувала спортивний результат, її необхідно навчити. Це є основною відмінністю й перевагою нейронних мереж порівняно з традиційними алгоритмами.

У процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними даними й вихідними, а також здійснювати узагальнення. Таким чином, чим краще відповідні вхідні дані відображають тенденції зміни вихідних даних, тим краще навчання та, як наслідок, точніша модель. Проте ми отримали біомеханічні й антропометричні характеристики спортсменів, як у чоловіків, так і в жінок, на етапах попередньої базової (13–15 років), спеціалізованої базової підготовки (16–19 років) та у висококваліфікованих атлетів, починаючи з етапу підготовки до вищих досягнень і закінчуючи етапом збереження вищої спортивної майстерності (20 і більше років). Проведені нами попередні дослідження в цьому напрямі передбачали навчання нейронних мереж на кожному блоці даних, тобто на шести різних варіантах залежно від статі й етапу багаторічної підготовки. Хоча всі базові дані забезпечували досить високу ефективність навчання, найбільшу точність показали моделі, в основу навчання яких покладено дані, отримані на спортсменах високої кваліфікації в чоловіків на етапах підготовки до вищих досягнень, максимальної реалізації індивідуальних можливостей і збереження вищої спортивної майстерності. Так, середня квадратична похибка під час використання цієї моделі на всіх представлених контингентах спортсменів не перевищувала 0,4%. Правильність цього вибраного підходу під час навчання нейронних мереж чітко обґрунтовується й із педагогічного, і з біологічного боків, адже контингенту спортсменів у першій стадії багаторічної підготовки на етапах попередньої та спеціалізованої базової підготовки притаманні стрімкі й несиметричні періоди розвитку антро-

пометричних характеристик, нерівномірність педагогічного впливу на розвиток фізичних якостей і технічної підготовленості тощо, що позначається на пошуку чітких закономірностей підвищення спортивного результату.

Розглянемо процедуру вибору найбільш ефективної моделі техніки на матеріалі висококваліфікованих спортсменів, які спеціалізуються на спортивній ходьбі. Варто зазначити, що відповідну процедуру попередньо за однаковим алгоритмом здійснено на кожному блоку даних, тобто на шести варіантах залежно від статі й етапу багаторічної підготовки. При цьому отримані моделі також збережено в базі даних, оскільки вони мали високу надійність і їх також можна використовувати як доповнення в ході моделювання техніки спортсменів.

У роботі ми використовували багатшарові нейронні мережі з прямою передачею інформації двох типів: багатшарового перцептрону (MLP) і радіально-базисної функції (RBF). Конфігурація отриманих мереж для моделювання техніки спортивної ходьби включає 16 нейронів (біомеханічні й антропометричні характеристики) вхідного шару. Кількість нейронів у прихованому шарі отриманих нейронних мереж становила від 5 до 16. Вихідним нейроном був показник спортивного результату. Алгоритм функціонування нейронної мережі з прямою передачею інформації типу багатшарового перцептрону подано на рисунку 3.

Як видно з рисунка 3, кожен нейрон вхідного шару односпрямований і пов'язаний з усіма нейронами наступного шару. Ці зв'язки організовані через синаптичні ваги, які діють як підсилувачі у відповідних каналах.

У ході процесу моделювання ми отримали 12 нейронних мереж (таблиця 1).

У назві нейронної мережі перша цифра – 16 – показує кількість вхідних даних (інформативні біомеханічні характеристики техніки та антропометричні дані). Друга цифра позначає кількість елементів прихованого шару мережі, у якому відбувається аналіз взаємозв'язку вхідних даних один із одним. Як видно, кількість елементів прихованого шару мережі коливалася від 5 до 13. Третя цифра в назві мережі – вихідна змінна, яка

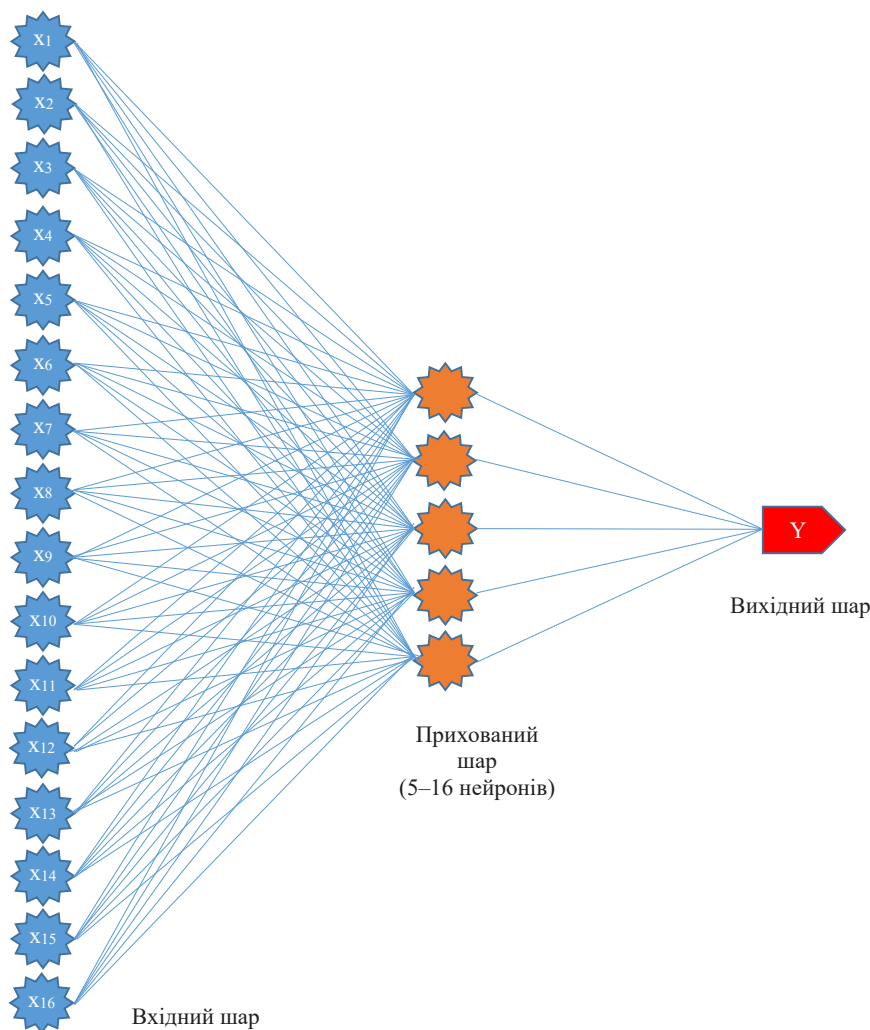


Рис. 3. Алгоритм функціонування нейронної мережі багатозарового перцептронну:

X_1 – X_{16} – біомеханічні характеристики техніки й антропометричні дані; Y – спортивний результат.

Таблиця 1

Нейронні мережі техніки спортивної ходьби

Номер мережі	Назва мережі	Характеристики мережі								
		ефективність			помилка			алгоритм навчання	функція активації	
		навчальна	контрольна	тестова	навчальна	контрольна	тестова		прихованих нейронів	вихідних нейронів
1	MLP 16-12-1	0,999700	0,999952	0,947326	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$	$6,2E^{-9}$	BFGS 20	Identity	Identity
2	MLP 16-7-1	1,000000	0,999947	0,931071	$9,6 \cdot 10^{-13}$	$5,8 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	BFGS 88	Logistic	Identity
3	MLP 16-5-1	0,999962	0,999980	0,989964	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	BFGS 45	Sine	Identity
4	MLP 16-13-1	0,999817	0,999525	0,920695	$7,8 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	BFGS 58	Tanh	Exponential
5	MLP 16-13-1	0,999993	0,999902	0,989725	$3,9 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$9,5 \cdot 10^{-10}$	BFGS 63	Sine	Identity
6	MLP 16-12-1	0,999985	0,999866	0,989143	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	BFGS 39	Sine	Identity
7	MLP 16-12-1	0,999972	0,999781	0,988308	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	BFGS 31	Sine	Identity
8	MLP 16-12-1	0,999988	0,999976	0,982417	$5,2 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	BFGS 46	Sine	Identity
9	MLP 16-12-1	0,999995	0,999134	0,997716	$2,3 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-9}$	$7,9 \cdot 10^{-10}$	BFGS 90	Sine	Identity
10	MLP 16-12-1	0,999975	0,999989	0,987183	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	BFGS 40	Sine	Identity
11	RBF 16-12-1	0,956332	0,981168	0,999954	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	RBFT	Gaussian	Identity
12	RBF 16-12-1	0,959378	0,905521	0,208775	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	RBFT	Gaussian	Identity

в дослідженнях відображає спортивний результат.

Найкращою моделлю вважається мережа, яка має найвищу ефективність на контрольній вибірці, – контрольна ефективність. Таким чином, у результаті аналізу 12 отриманих нейронних мереж найкращою мережею була обрана мережа № 10 MLP 16-12-1. Зазначимо також, що в нашому випадку нейронні мережі типу багатосарового перцептрон (MLP) показали кращу ефективність порівняно з використанням радіально-базисної функції (RBF).

Одним із важливих результатів був аналіз чутливості мережі, який виявляє, наскільки сильно впливають у цьому випадку біомеханічні харак-

теристики й антропометричні дані на спортивний результат у спортивній ходьбі. Зазначимо, що у вибраній моделі найбільші показники чутливості мали характеристики довжини та частоти кроків, крім того, потужності відштовхування й показник маси тіла, що також підтверджують правильність обраної моделі.

На основі нейронної мережі № 10 MLP 16-12-1 створено багатфункціональні біомеханічні моделі технічних дій у спортивній ходьбі в чоловіків і жінок на етапах попередньої базової (13–15 років; дистанція 3 км – хлопці та 2 км – дівчата), спеціалізованої базової підготовки (16–19 років; дистанція 10 км) та у висококваліфікованих атлетів, починаючи з етапу

підготовки до вищих досягнень і закінчуючи етапом збереження вищої спортивної майстерності (20 і більше років; дистанція 20 км).

На рисунку 4 подано багатфункціональну біомеханічну модель технічних дій у спортивній ходьбі на узагальненому рівні на прикладі дистанції 20 км у чоловіків, що під час побудови процесу технічної підготовки створюють орієнтири для досягнення рівня спортивних результатів від високого національного та світового рівня до досягнення показників, що перевершують рекорд світу.

Зазначимо, що представлені узагальнені біомеханічні моделі техніки спортивної ходьби відображають переважно загальні орієнтири для

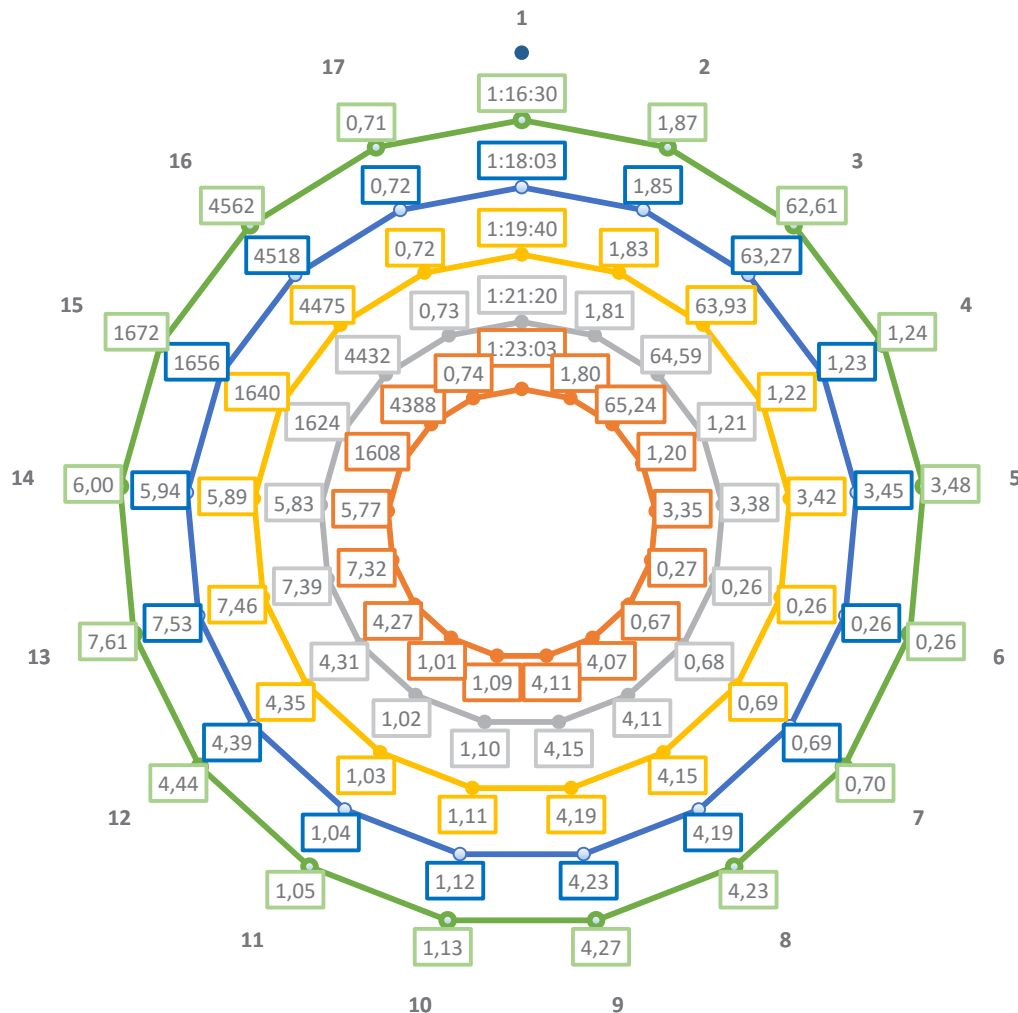


Рис. 4. Багатфункціональні біомеханічні моделі технічних дій у спортивній ходьбі на дистанції 20 км (чоловіки):

1 – результат; 2 – довжина тіла, м; 3 – маса тіла, кг; 4 – довжина кроку, м; 5 – частота кроків, крок·с⁻¹; 6 – час одиної опори, с; 7 – Ka; 8 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору, м·с⁻¹; 9 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори, м·с⁻¹; 10 – амплітуда переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиної опори, м; 11 – амплітуда переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиної опори, м; 12 – кутова швидкість згинання кульшового суглоба махової ноги у фазі одиної опори, рад·с⁻¹; 13 – кутова швидкість розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиної опори, рад·с⁻¹; 14 – кутова швидкість згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиної опори, рад·с⁻¹; 15 – результуюча сила реакції опори у фазі одиної опори, Н; 16 – потужність відштовхування у фазі одиної опори, Вт; 17 – Ke.

вдосконалення технічної підготовки спортсменів.

Груповий рівень функціонування дав змогу ділити спортсменів на певні підгрупи, що вирізняються певними специфічними ознаками в техніці виконання рухових дій. Так, наприклад, частина спортсменів досягає високих спортивних результатів за рахунок довжини кроку, інша – їх частоти, що позначається й на інших біомеханічних характеристиках техніки, які обумовлюють ці два основні параметри. Важливим є врахування антропометричних факторів, насамперед характеристик довжини й маси тіла.

Розглянемо спочатку відповідну факторну структуру технічних дій скороходів на прикладі чоловіків на

етапі підготовки до вищих досягнень і в другій стадії багаторічної підготовки, що виявлено в результаті досліджень (таблиця 2).

Як видно з таблиці 2, у спортсменів високого національного та світового рівня на етапах підготовки до вищих досягнень, максимальної реалізації індивідуальних можливостей і збереження вищої спортивної майстерності більш значущим фактором досягнення високих спортивних результатів є довжина кроку – 33,35%, фактор частоти кроків становить 24,47%, антропометричний фактор – 12,67%.

Видно, що досягнення високих показників фактора довжини кроку зумовлене амплітудою переміщен-

ня плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори (коефіцієнт кореляції з фактором довжини кроку $r=0,85$), амплітудою переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори ($r=0,88$), показників кутової швидкості згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори ($r=0,65$), результуючої сили реакції опори у фазі одиночної опори ($r=0,73$) і потужності відштовхування ($r=0,88$).

На досягнення високих показників частоти кроків впливає зменшення часу одиночної опори (коефіцієнт кореляції з фактором частоти кроку $r=-0,93$) і довжини тіла ($r=-0,68$), збільшення показника швидкості

Таблиця 2

Факторна структура технічних дій скороходів на етапі підготовки до вищих досягнень і в другій стадії багаторічної підготовки (n=31)

Показник	Факторна структура		
	фактор 1	фактор 2	фактор 3
Довжина тіла, м	0,23	-0,68	-0,51
Маса тіла, кг	0,57	-0,28	-0,67
Довжина кроку, м	0,84	0,01	-0,06
Частота кроків, крок·с ⁻¹	0,14	0,85	0,11
Час одиночної опори, с	0,00	-0,93	0,00
Ка	0,49	0,54	0,35
Швидкість переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору, м·с ⁻¹	-0,03	0,10	-0,71
Швидкість переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори, м·с ⁻¹	0,62	0,66	0,08
Амплітуда переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, м	0,85	0,12	0,10
Амплітуда переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, м	0,88	0,19	0,20
Кутова швидкість згинання кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с ⁻¹	0,32	0,74	-0,20
Кутова швидкість розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с ⁻¹	0,45	0,46	0,20
Кутова швидкість згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, рад·с ⁻¹	0,65	0,01	0,13
Результуюча сила реакції опори у фазі одиночної опори, Н	0,73	0,40	-0,14
Потужність відштовхування у фазі одиночної опори, Вт	0,88	0,24	-0,21
Ke	0,30	0,16	0,67
Сума факторних навантажень	5,34	3,91	2,03
Внесок фактора в загальну дисперсію, %	33,35	24,47	12,67
Інтерпретація фактору	Фактор довжини кроку	Фактор частоти кроку	Антропометричний фактор

Примітка: жирним шрифтом виділено факторні навантаження, що за абсолютною величиною перевищують 0,6.

переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори ($r=0,66$). Варто зазначити, що збільшення показника швидкості переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори практично рівномірно впливало на покращення довжини й частоти кроків, відповідно – $r=0,62$ та $r=0,66$. Також рівномірний вплив на обидва фактори показників Ка (коефіцієнта використання антропометричних даних – співвідношення довжини кроку до довжини тіла) і кутової швидкості розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиночної опори відповідно – $r=0,49$ та $r=0,54$; $r=0,45$ та $r=0,46$, хоча їх значення близькі до 0,6.

Значення антропометричного фактора зумовлено зменшенням по-

казників маси тіла (коефіцієнт кореляції з антропометричним фактором $r=-0,67$) та швидкості переміщення ЗЦМТ (загальний центр мас тіла) у момент постановки ноги на опору ($r=-0,71$) і збільшенням Ке (співвідношення потужності до довжини кроку) – $r=0,67$.

На рисунку 5 подано реалізацію цього підходу в моделюванні на прикладі висококваліфікованих атлетів, починаючи з етапу підготовки до вищих досягнень і закінчуючи етапом збереження вищої спортивної майстерності, які спеціалізуються на дистанції 20 км.

Як видно з рисунка 5, впливаючи на відповідні характеристики, що зумовлюють відповідний фактор,

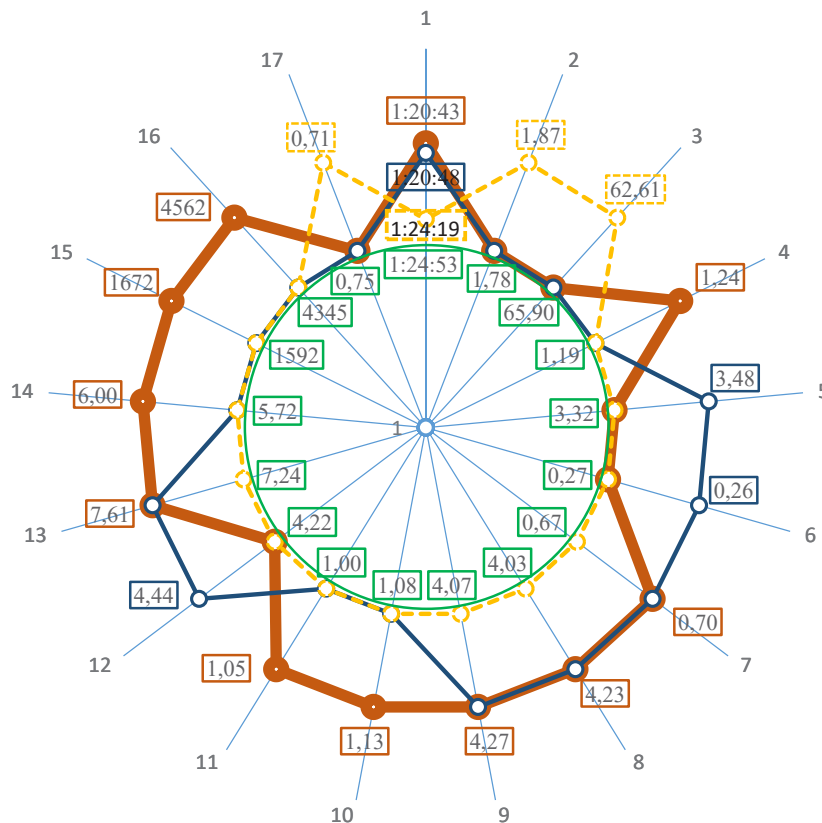


Рис. 5. Багатофункціональні факторні біомеханічні моделі технічних дій у спортивній ходьбі (на прикладі дистанції 20 км у чоловіків):

— вихідний рівень; — фактор довжини кроку; — фактор частоти кроків; — антропометричний фактор;

1. – результат 2. – довжина тіла, м; 3. – маса тіла, кг; 4. – довжина кроку, м; 5. – частота кроків, крок·с⁻¹; 6. – час одиночної опори, с; 7. – Ка; 8. – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору, м·с⁻¹; 9. – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори, м·с⁻¹; 10. – амплітуда переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, м; 11. – амплітуда переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, м; 12. – кутова швидкість згинання кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 13. – кутова швидкість розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 14. – кутова швидкість згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 15. – результуюча сила реакції опори у фазі одиночної опори, Н; 16. – потужність відштовхування у фазі одиночної опори, Вт; 17. – Ке.

алгоритм дає змогу змоделювати та спрогнозувати рівень збільшення спортивного результату. Наприклад, збільшення характеристик на 5%, що зумовлюють фактор довжини кроку, а саме: довжини кроку (з 1,19 до 1,24 м), коефіцієнта використання антропометричних даних (з 0,67 до 0,70), швидкості переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору (з 4,03 до 4,23 м·с⁻¹) і в момент відриву ноги від опори (з 4,07 до 4,27 м·с⁻¹), амплітуди переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) (з 1,08 до 1,13 м) і кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори (з 1,00 до 1,05 м), кутової швидкості розгинання колінного суглоба махової ноги (з 7,24 до 7,61 рад·с⁻¹) і згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори (з 5,72 до 6,00 рад·с⁻¹), результуючої сили реакції опори (з 1592 до 1672 Н) і потужності відштовхування (з 4345 до 4562 Вт), дозволяють значно покращити (на 5%) рівень спортивного результату з 1:24:53 до 1:20:43.

Важливо зазначити, що отримані результати власних досліджень дали змогу створити достатню базу даних, що допомагає реалізувати відповідний підхід на всіх етапах багаторічної підготовки в чоловіків і жінок, які спеціалізуються в спортивній ходьбі.

Оскільки проблему технічної підготовки розглянуто в системі багаторічного вдосконалення, де тренувальний процес і моделювання в другій її стадії мають спиратися на індивідуальні задатки й унікальні особливості технічного та інших боків підготовленості функціонування моделей, це передбачало *індивідуальний* рівень. Так, наприклад, змінюючи лише один біомеханічний показник техніки кожного конкретного спортсмена або кілька, наприклад, тих, що зумовлюють відповідний фактор, як представлено вище, можна спрогнозувати рівень спортивного результату відповідного спортсмена (рис. 6).

Як видно з рисунка 6, визначивши антропометричні дані та дослідивши біомеханічні характеристики техніки конкретного спортсмена (у цьому разі рекордсмена України на дистанції 20 км Руслана Дмитренка) можна спрогнозувати рівень результату,

впливаючи, наприклад, на фактор довжини кроку. Зрозуміло, щоб покращити вихідний рівень цього спортсмена, що зумовлює спортивний результат 1:21:31, показаний на чемпіонаті країни на дистанції 20 км, до рівня 1:17:42, вищого за рекорд України, який становить 1:18:37, необхідно покращити показники довжини кроку (з 1,21 до 1,27 м), коефіцієнта використання антропометричних даних (з 0,67 до 0,70), швидкості переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору (з 4,01 до 4,21 м·с⁻¹) і в момент відриву ноги від опори (з 4,27 до 4,48 м·с⁻¹), амплітуди переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) (з 1,12 до 1,18 м) і кульшового суглоба махової ноги

у фазі одиночної опори (з 1,04 до 1,09 м), кутової швидкості розгинання колінного суглоба махової ноги (з 6,67 до 7,00 рад·с⁻¹) і згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори (з 5,63 до 5,91 рад·с⁻¹), результуючої сили реакції опори (з 1749 до 1836 Н) і потужності відштовхування (з 4792 до 5032 Вт).

З іншого боку, важливими аспектами реалізації індивідуального підходу в розробленому алгоритмі є не тільки моделювання та прогнозування, а й оцінювання ефективності й економічності техніки виконання змагальної вправи. Так, наприклад, моделюючи дані біомеханічних характеристик техніки кожного конкрет-

ного спортсмена, отриманих у ході змагань, можемо порівняти рівень досягнутого спортивного результату зі змодельованим. Такий підхід дає змогу визначити відповідність рівня насамперед фізичної рівню технічної підготовленості атлета.

Тенденції розвитку спорту й легкої атлетики зокрема вказують на збільшення довжини тіла спортсменів, які досягають найвищих спортивних результатів [3]. Тому важливим аспектом розроблених багатofункціональних біомеханічних моделей є врахування антропометричних показників спортсменів, а саме довжини й маси тіла, адже вони враховували можливість досягнення певного рівня результатів спортсменів, які значно відрізняються за зростом від середнього, або спрогнозувати зміну результатів за рахунок зменшення показника маси тіла. Можливість застосування такого підходу є особливо важливою в першій стадії багаторічної підготовки, де зміна довжини й маси тіла має яскраво виражений характер у пубертатний період.

Дискусія. Проведені дослідження ґрунтувалися на фундаментальних основах теорії спорту [3], де технічна підготовка в спортивній ходьбі повинна розглядатися як цілісна система в аспекті багаторічної підготовки і спиратися на сучасні дані й орієнтири техніки виконання змагальної вправи.

Використання моделювання технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки дає змогу створювати відповідні орієнтири в побудові тренувального процесу й технічної підготовки зокрема [1; 10; 21].

У спортивній ходьбі дослідження в цьому напрямі [11–14; 17] мали лише фрагментарний характер і стосувалися переважно вирішення окремих специфічних завдань у межах удосконалення проблеми технічної підготовки певного контингенту спортсменів залежно від віку чи етапу багаторічної підготовки, статі, індивідуальних особливостей чи ефективності техніки виконання спортивної ходьби загалом тощо.

Сьогодні серед найбільш прогресивних технологій моделювання, що використовуються в спорті,

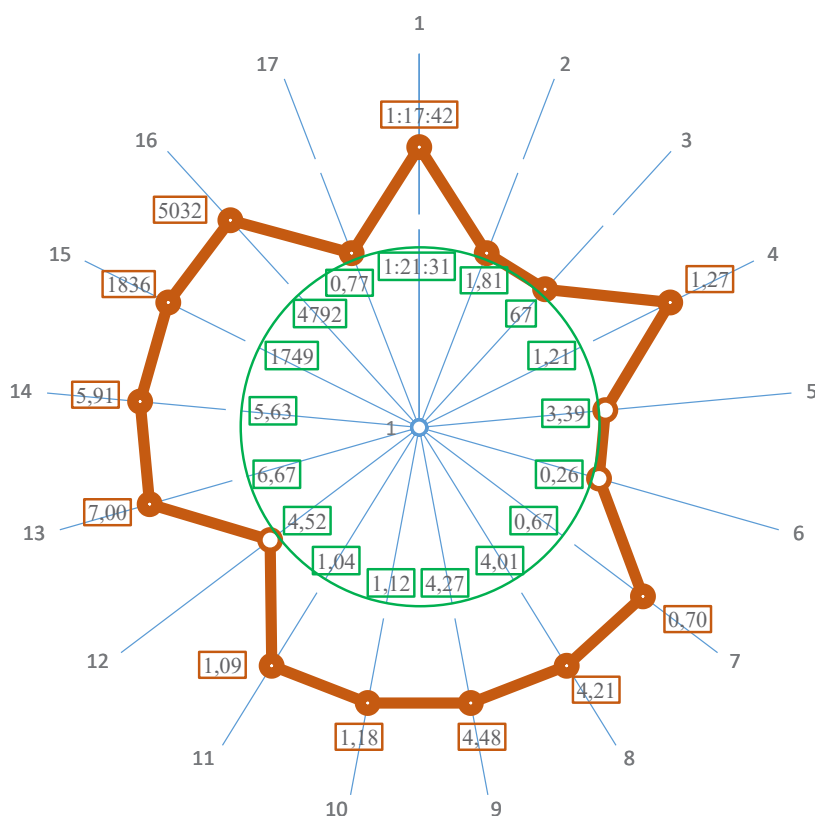


Рис. 6. Багатofункціональні індивідуальні біомеханічні моделі технічних дій у спортивній ходьбі рекордсмена України дистанції 20 км Руслана Дмитренка:

— — вихідний рівень; — — фактор довжини кроку;

1 – результат 2 – довжина тіла, м; 3 – маса тіла, кг; 4 – довжина кроку, м; 5 – частота кроків, крок·с⁻¹; 6 – час одиночної опори, с; 7 – Ка; 8 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент постановки ноги на опору, м·с⁻¹; 9 – швидкість переміщення ЗЦМТ у момент відриву ноги від опори, м·с⁻¹; 10 – амплітуда переміщення плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, м; 11 – амплітуда переміщення кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, м; 12 – кутова швидкість згинання кульшового суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 13 – кутова швидкість розгинання колінного суглоба махової ноги у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 14 – кутова швидкість згинання плечового суглоба (однойменної кінцівки) у фазі одиночної опори, рад·с⁻¹; 15 – результуюча сила реакції опори у фазі одиночної опори, Н; 16 – потужність відштовхування у фазі одиночної опори, Вт; 17 – Ке.

є нейронні мережі [21]. Важливим аспектом здійснення моделювання з використанням нейронної мережі є її навчання, що здатна виявляти складні залежності між вхідними й вихідними даними, а також здійснювати узагальнення. Тому чим краще відповідні вхідні дані відображають тенденції зміни вихідних даних, тим краще навчання та, як наслідок, точніша модель [8].

J. Wang [21], описуючи проблеми в традиційних методах прогнозування спортивних результатів (таких як суб'єктне оцінювання, основана на досвіді тренерів, кількісний метод регресійного аналізу з лінійною залежністю, комбінації цих якісних і кількісних методів оцінювання), стверджує, що ключовим моментом для майбутнього розвитку моделювання та прогнозування спортивних результатів є вибір методу прогнозування із застосуванням нейронних мереж, які характеризуються невеликою помилкою, низькими технічними вимогами, не потребують значних фізичних затрат у роботі, є придатним для сфери спорту.

Проведені нами дослідження дали змогу створити на основі нейронних мереж модель технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки, яка враховує інформативні антропометричні й біомеханічні характеристики техніки атлетів, що впливають на досягнення високих спортивних результатів.

Подана модель технічних дій спортсменів, що забезпечує досягнення високих спортивних результатів, основана на алгоритмі нейронної мережі, не тільки володіє потужними можливостями обробки даних, їх моделювання і прогнозування, а й також має невелику помилку, що відповідає сучасним вимогам сфери спорту.

Подальші дослідження дали змогу створити на основі моделі нейронної мережі алгоритм моделювання, який працює на всіх рівнях (узагальненому, груповому й індивідуальному) на різних етапах багаторічного вдосконалення й у системі багаторічної підготовки загалом, а також дає змогу створення багатофункціональних біомеханічних моделей технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі. Так, за допо-

могою поданого алгоритму можна змоделювати динаміку основних показників техніки виконання технічних дій кожного конкретного спортсмена в процесі його багаторічної підготовки, що забезпечує досягнення відповідних спортивних результатів. Накладення цих результатів на тренувальний процес дасть можливість ефективно спланувати характерні засоби, методика їх використання, методичні підходи тощо в аспекті технічного вдосконалення й підготовки загалом.

Висновки. Удосконалення технічної підготовки легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки має здійснюватися на основі чітких критеріїв, що дають можливості моделювання технічних дій атлетів на основі нейронних мереж.

Послідовність розроблення моделі технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки включає три етапи. На першому етапі визначали біомеханічні характеристики технічних дій скороходів на етапах багаторічної підготовки в першій і другій її стадії. Загалом проаналізовано 26 біомеханічних показників техніки й антропометричні дані в 181 спортсмена (98 чоловіків і 83 жінки), які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки. На другому етапі виявлено 14 інформативних біомеханічних показників технічних дій, що впливають на досягнення спортивного результату. На третьому – з використанням штучних нейронних мереж створено модель технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, що забезпечує досягнення високих спортивних результатів.

Проведені нами дослідження дали змогу створити на основі моделі нейронної мережі алгоритм моделювання, який допомагає створювати узагальнені, групові й індивідуальні багатофункціональні моделі технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються в спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки залежно від статі, етапу багаторічної підготовки сильних і слабких сторін підготовленості тощо.

Отримані результати створюють підґрунтя для розроблення

практичної методології технічної підготовки в системі багаторічного вдосконалення в спортивній ходьбі, що є перспективою подальших досліджень.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобровник В.И. Совершенствование технического мастерства спортсменов высокой квалификации в легкоатлетических соревнованиях прыжках : монография. Киев : Науковий світ, 2005. 322 с.
2. Бобровник В., Совенко С. Удосконалення технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються у спортивній ходьбі, у системі багаторічної підготовки. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2023. № 2. С. 3–15. DOI: 10.32652/tmfvs.2023.2.3-15.
3. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения : учебник для тренеров : в 2 кн. Киев : Олимпийская лит., 2015. Кн. 1. 680 с ; Кн. 2. 752 с.
4. Біомеханіка спорту : підручник / О.Ю. Рибак, Л.І. Рибак, Б.А. Виноградський та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. 268 с.
5. Совенко С. Техничко-тактические особенности преодоления дистанции в спортивной ходьбе. *Наука в олимпийском спорте*. 2020. № 1. С. 81–90.
6. Субботін С.О. Нейронні мережі: теорія і практика : навчальний посібник. Житомир : Вид. О.О. Євенок, 2020. 184 с.
7. Уоссермен Ф. Нейро-компьютерная техника: Теория и практика / пер. с англ. Ю.А. Зуев, В.А. Точенов. Киев, 1992. 184 с.
8. Хуртик Д.В. Удосконалення технічних дій висококваліфікованих лижників з порушенням слуху на основі комп'ютерного моделювання : дисертація. Київ : НУФВСУ, 2018. 192 с.
9. Хуртик Д., Хмельницкая И., Смирнова З. Моделирование технических действий лыжников-гонщиков высокой квалификации. *Наука в олимпийском спорте*. 2019. № 2. С. 55–62. DOI: 10.32652/olympic2019.2_6.
10. Шестаков М.П. Управление технической подготовкой в легкой атлетике на основе компьютерного моделирования. *Наука в олимпийском спорте*. 2005. № 2. С. 187–196.
11. Hanley B., Bissas A., Drake A. Kinematic characteristics of elite men's 50 km race walking. *European Journal of Sport Science*. 2013. № 13 (3). P. 272–279. DOI: 10.1080/17461391.2011.630104.
12. Hanley B., Bissas A., Drake A. Technical characteristics of elite junior men and women race walkers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2014. № 54 (6). P. 700–707.
13. Hoga-Miura K., Hirokawa R., Sugita M. A three-dimensional kinematic analysis of walking speed on world elite women's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*. 2020. № 179 (1–2). P. 29–38. DOI: 10.23736/S0393-3660.18.04009-3.
14. Kinetic analysis of the function of the upper body for elite race walkers during official men 20 km walking race / K. Hoga-Miura et al. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2016. № 56 (10). P. 1147–1155.
15. Neural network modelling of diagonal stride technique of highly qualified skiers with hearing impairments / Y. Imas et al. *Journal*

of *Physical Education and Sport*. 2018. № 18. Supplement issue 2. Art 181. P. 1217–1222. DOI: 10.7752/jpes.2018.s2181.

16. Maurer Harald. Cognitive science: integrative synchronization mechanisms in cognitive neuroarchitectures of the modern connectionism. CRC Press, 2021. 400 p. DOI: 10.1201/9781351043526.

17. Race Walking Ground Reaction Forces at Increasing Speeds: A Comparison with Walking and Running / G. Pavei et al. *Symmetry-Basel*. 2019. № 11 (7). 11 p. DOI: 10.3390/sym11070873.

18. Sovenko S. Technique characteristics of 13–15-year-old female athletes specializing in race walking at the stage of preliminary basic preparation. *Journal of Physical Education and Sport*. 2022. № 22 (1). P. 85–90. DOI: 10.7752/jpes.2022.01010.

19. Tucker C.B., Hanley B. Increases in speed do not change gait symmetry or variability in world-class race walkers. *Journal of Sports Sciences*. 2020. № 38 (24). P. 2758–2764. DOI: 10.1080/02640414.2020.1798730.

20. Vinogradova O.A., Sovenko S.P. Improving technical fitness of race walkers on the basis of special exercises to focus on key parameters of movements. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*. 2020. № 24 (2). P. 100–105. DOI: 10.1556/126649837.2020.0208.

21. Wang J. Analysis of Sports Performance Prediction Model Based on GA-BP Neural Network Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2021; Special Issue. Neural Network-Based Machine Learning in Data Mining for Big Data Systems. 12 p. DOI: 10.1155/2021/4091821.

REFERENCES

1. Bobrovnik V.I. Technical skill improvement of highly skilled athletes in track and field jumps: monograph. Kiev: Nauk. Svit; 2005. 322 p.

2. Bobrovnyk V., Sovenko S. Improvement of technical actions in track and field athletes who specialize in race walking in the system of long-term development. *Theory and Methods of Physical education and sports*. 2023;(2):3–15. DOI: 10.32652/tmfvs.2023.2.3-15.

3. Platonov V.N. System of athletes' preparation in the Olympic sport. General theory and its practical applications: textbook [for coaches]: in 2 books. Kiev: Olimpiyskaya literatura.; 2015. Book 1. 680 p; Book 2. 752 p.

4. Rybak O., Rybak L., Vinohradskyy B., and others. Biomechanics of sports: a textbook. Lviv: LDUFK named after Ivan Bobersky; 2021. 268 p.

5. Sovenko S. Technico-tactical peculiarities of distance covering in race walking. *Nauka v olimpiyskom sporte*. 2020;(1):81–90.

6. Subbotin S. Neural networks: theory and practice: tutorial. Zhytomyr: Pub. O. Evenok; 2020. 184 p.

7. Wasserman F. Neuro-computer technology: Theory and practice / trans. from English U. Zuev, V. Tochenov. 1992. 184 p.

8. Khurtyk D.V. Improvement of technical actions of highly qualified skiers with hearing impairments based on computer modeling [dissertation]. Kyiv: NUUPES; 2018. 192 p.

9. Khurtyk D., Khmel'nitska I., Smirnova Z. Modeling technical actions of elite cross-country skiers. *Science in Olympic Sport*. 2019;(2):55–62. DOI: 10.32652/olympic2019.2_6.

10. Shestakov M. Management of technical training in athletics based on computer modeling. *Science in Olympic sports*. 2005;(2):187–196.

11. Hanley B., Bissas A., Drake A. Kinematic characteristics of elite men's 50 km race walking. *European Journal of Sport Science*. 2013;13(3):272–279. DOI: 10.1080/17461391.2011.630104.

12. Hanley B., Bissas A., Drake A. Technical characteristics of elite junior men and women race walkers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2014;54(6):700–707.

13. Hoga-Miura K., Hirokawa R., Sugita M. A three-dimensional kinematic analysis of walking speed on world elite women's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*. 2020;179(1-2):29–38. DOI: 10.23736/S0393-3660.18.04009-3

14. Hoga-Miura K., Michiyoshi A.E., Fujii N., Yokozawa T. Kinetic analysis of the function of the upper body for elite race walkers during official men 20 km walking race. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2016;56(10):1147–1155.

15. Imas Y., Khmel'nitska I., Khurtyk D., Kobeynikov G., Spivak M., Kovtun V. Neural network modelling of diagonal stride technique of highly qualified skiers with hearing impairments. *Journal of Physical Education and Sport*. 2018;18 Supplement issue 2, Art 181:1217–1222. DOI: 10.7752/jpes.2018.s2181.

16. Maurer Harald. Cognitive science: integrative synchronization mechanisms in cognitive neuroarchitectures of the modern connectionism. CRC Press; 2021. 400 p. DOI: 10.1201/9781351043526.

17. Pavei G., Cazzola D., La Torre A., Minetti A.E. Race Walking Ground Reaction Forces at Increasing Speeds: A Comparison with Walking and Running. *Symmetry-Basel*. 2019;11(7):11 p. DOI: 10.3390/sym11070873.

18. Sovenko S. Technique characteristics of 13–15-year-old female athletes specializing in race walking at the stage of preliminary basic preparation. *Journal of Physical Education and Sport*. 2022;22(1):85–90. DOI: 10.7752/jpes.2022.01010.

19. Tucker C.B., Hanley B. Increases in speed do not change gait symmetry or variability in world-class race walkers. *Journal of Sports Sciences*. 2020;38(24):2758–2764. DOI: 10.1080/02640414.2020.1798730.

20. Vinogradova O.A., Sovenko S.P. Improving technical fitness of race walkers on the basis of special exercises to focus on key parameters of movements. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*. 2020;24(2):100–105. DOI: 10.1556/126649837.2020.0208.

21. Wang J. Analysis of Sports Performance Prediction Model Based on GA-BP Neural Network Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2021; Special Issue. Neural Network-Based Machine Learning in Data Mining for Big Data Systems. 12 p. DOI: 10.1155/2021/4091821.

Надійшла 10.01.2024

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Бобровник Володимир Ілліч <https://orcid.org/0000-0003-1254-4905>, bobrovnik2@ukr.net

Совенко Сергій Петрович <https://orcid.org/0000-0001-9996-4712>, sovenkos@ukr.net

Національний університет фізичного виховання і спорту України, вул. Фізкультури, 1, м. Київ, 03150, Україна

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bobrovnyk Volodymyr <https://orcid.org/0000-0003-1254-4905>, bobrovnik2@ukr.net

Sovenko Serhii <https://orcid.org/0000-0001-9996-4712>, sovenkos@ukr.net

National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Fizkul'tury str., 1, Kyiv, 03150, Ukraine