

**Хмельницька Ірина**

<https://orcid.org/0000-0003-0141-3301>  
Researcher ID H-9112-2018  
Scopus Author ID 55548103500

Кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент,  
доцент кафедри кінезіології та фізкультурно-спортивної реабілітації,  
Національний університет фізичного виховання і спорту України  
(Київ, Україна) E-mail: ikhmelnytska@uni-sport.edu.ua

**Кардаков Віктор**

<https://orcid.org/0009-0008-5026-7746>  
Researcher ID OVY-7898-2025

Викладач кафедри кінезіології та фізкультурно-спортивної реабілітації  
Національний університет фізичного виховання і спорту України  
(Київ, Україна) E-mail: vkardakov@uni-sport.edu.ua

## НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У МОДЕЛЮВАННІ У СПОРТІ

У сфері спортивної науки за останні роки штучний інтелект та машинне навчання досягли значного успіху. Досвід передової практики свідчить про ефективність використання штучних нейронних мереж у моделюванні спортивної техніки. Проте дослідження з використання штучних нейронних мереж у спорті представлені фрагментарно і в основному англомовними авторами.

**Мета дослідження** – проаналізувати, систематизувати та узагальнити напрями застосування штучних нейронних мереж як засобу моделювання у спорті.

**Методологія:** системний контент-аналіз науково-методичної літератури і даних мережі Інтернет.

**Наукова новизна:** систематизовано використання нейронних мереж для моделювання у спорті за науковими напрямками: моделювання показників спортивної підготовленості атлета, спортивне прогнозування, візуалізація зображень на основі розпізнавання дій спортсмена, спортивна селекція, профілактика травм. Головні переваги нейронних мереж: 1) вони здатні апроксимувати будь-яку неперервну функцію, і таким чином досліднику не потрібно мати жодних гіпотез щодо базової моделі; 2) зв'язок між входом і виходом визначається в процесі навчання нейронної мережі.

**Висновки.** Застосування технології нейронних мереж у спортивних дисциплінах дозволяє прогнозувати спортивні результати, а також значно підвищує ефективність тренувального процесу за рахунок індивідуального підходу, точної біомеханічної оцінки техніки основної рухової дії та прийняття об'єктивно обґрунтованого раціонального рішення щодо її корекції.

На сьогодні у сфері спорту застосовуються переважно два статистичні методи моделювання – регресійний аналіз та нейронні мережі. На відміну від регресійних рівнянь, метод моделювання за допомогою нейронних мереж є непараметричним і отже, більш гнучким. Модель на основі нейронної мережі не вимагає попереднього визначення математичних виразів моделі прогнозування і має вищу точність прогнозування.

**Ключові слова:** штучний нейрон, машинне навчання, прогнозування, багатошаровий перцептрон, регресійний аналіз.

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні усі основні економіки (понад 60 країн) розробили національні стратегії розвитку штучного інтелекту (ШІ). Після аналізу досвіду інших країн і важливості ШІ для майбутнього економічного зростання України у 2020 р. Кабінетом Міністрів України було схвалено Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні, що має сприяти інтеграції інноваційних технологій в економічно важливі сектори країни [2]. Нещодавно один із найвпливовіших світових аналітичних центрів – Інститут Брукінгса представив доповідь про національні стратегії ШІ, у якій підсумовано, що прагнення кожної держави до домінування у сфері ШІ – це «космічна гонитва нашого часу», коли уряди в усьому світі вкладають значні ресурси в нарощування потенціалу в цій галузі [6]. Зважаючи на воєнний стан та війну, Україна має багато проблем у реалізації цієї Концепції. Попри це у 2024 році розпорядженням Кабінету Міністрів України схвалено Концепцію Державної цільової науково-технічної програми з використання технологій штучного інтелекту в пріоритетних

галузях економіки на період до 2026 року [2]. Отже, в умовах цифрової трансформації інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у всі сфери життєдіяльності людини набуває особливої актуальності. У сфері спортивної науки за останні роки штучний інтелект та машинне навчання досягли значного успіху. Досвід передової практики свідчить про ефективність використання штучних нейронних мереж (ШНМ) у моделюванні спортивної техніки [14]. Проте попри накопичену емпіричну базу, низка аспектів лишається недостатньо опрацьованою. Необхідно зазначити, що дослідження з використання ШНМ у спорті представлені фрагментарно і в основному англійськими авторами. У цьому контексті актуальним є узагальнення практичного досвіду впровадження ШНМ для моделювання у спорті.

**Мета дослідження** – проаналізувати, систематизувати та узагальнити напрями застосування штучних нейронних мереж як засобу моделювання у спорті.

**Методи дослідження:** системний контент-аналіз науково-методичної літератури і даних мережі Інтернет.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Ідея нейронних мереж виникла в результаті спроб змоделювати поведінку живих істот, які сприймають дії зовнішнього середовища і навчаються на власному досвіді. Ключовим є поняття нейронів – спеціальних нервових клітин, які здатні сприймати, перетворювати і розповсюджувати сигнали. Одна з перших моделей нейрона запропонована МакКаллоком і Пітсом у 1943 році [14]. Об'єднані між собою нейрони утворюють мережу, яка з математичної точки зору задає складне багатомірне перетворення, що зібране з найпростіших перетворень. Дивовижно, що за допомогою таких найпростіших перетворень можна наближати дуже складні багатомірні функції, отже, оцінювати складні залежності. По суті ми намагаємося зрозуміти, як організовано мислення, коли людський мозок, що складається з найпростіших нейронів, досягає найглибші закономірності. За допомогою штучних нейронних мереж моделюється процес отримання знання.

Математично нейрон являє собою деяку нелінійну функцію, яка залежить від значень вхідних сигналів, їхніх ваг і активатора. Вага – це коефіцієнт, через який передана між структурними одиницями інформація може змінюватися. Активатор вирішує, за яких вхідних значень нейрон має проводити сигнал. Отже, нейронна мережа – це математична модель, що працює за принципом людського мозку.

Як правило, нейрони зібрано в шари. Мережу формують нейрони, впорядковані в шари. Вхідний приймає дані, а вихідний надає результат роботи моделі. Між ними є приховані шари. Вони спеціалізуються на опрацюванні інформації, проте розробники ШІ не завжди розуміють, що відбувається в прихованих шарах. Якщо кількість прихованих шарів дорівнює одному, то мережа називається неглибокою, якщо більше – глибокою.

Ми знаємо, що знання отримуються послідовно, іншими словами вони не даються в закінченому вигляді, а досягаються за допомогою навчання. Цей принцип використано в машинному навчанні. Нейронні мережі є підмножиною машинного навчання. Нейронні мережі навчаються (або, їх тренують) шляхом обробки прикладів, кожен з яких містить відомий «вхід» та «результат». ШНМ мають здатність навчатися нелінійностей та складних зв'язків та моделювати їх. Однією з головних переваг нейронних мереж є те, що вони здатні апроксимувати будь-яку неперервну функцію, і таким чином досліднику не потрібно мати жодних гіпотез щодо базової моделі або навіть того, які змінні мають значення. Ще однією важливою особливістю нейронної мережі є те, що зв'язок між входом і виходом визначається в процесі навчання нейронної мережі.

На відміну від традиційних нелінійних методів розпізнавання, розпізнавання за допомогою нейронних мереж не обмежується нелінійною моделлю. Розпізнавання за допомогою нейронних мереж базується на парах вхідних/вихідних даних системи, яку потрібно розпізнати, а нелінійне відображення, що описує зв'язок вхідних/вихідних даних системи, отримується шляхом навчання. Маючи вхідні дані, можна отримати вихідні дані, не знаючи математичного зв'язку між входом та виходом. Ця функція самонавчання робить нейронні мережі унікальними у вирішенні складних нелінійних задач.

Аналіз сучасних досліджень щодо використання ШНМ для моделювання у спорті дозволяє виокремити провідні наукові напрями:

*Моделювання показників спортивної підготовленості атлета.* Спортивна результативність стосується здатності спортсмена виступати у спорті, основою якої є специфічні фізичні якості, які значною мірою визначають здатність спортсмена виконувати конкретні рухові дії у певному виді спорту. Загалом, зв'язок між спортивною результативністю та показниками, які на неї впливають, є складним та нелінійним.

Існує певне функціональне відображення між спеціальною результативністю спортсменів та рівнем спеціалізованої фізичної підготовленості. Теоретична модель взаємозв'язку між спеціальною результативністю спортсменів та спеціальною фізичною підготовленістю може бути використана для точного прогнозування спеціальної результативності спортсменів. Вона забезпечує наукову теоретичну основу для розробки спеціальної фізичної підготовки. Модель на основі нейронної мережі долає недоліки моделей множинної регресії і не вимагає попереднього визначення математичних виразів моделі прогнозування спеціальних результатів атлета, об'єктивніше відображаючи взаємозв'язок між рівнем спеціалізованої

фізичної підготовки атлета та спортивними результатами. Зв'язок між ними вищий, а точність прогнозування також вища. Завдяки моделі прогнозування спеціальних результатів на основі нейронної мережі тренери та спортсмени можуть точніше складати науковий план тренувань.

Моделі фізичної підготовленості, досягнення яких пов'язане з виходом спортсмена на рівень заданого спортивного результату, є тим системоутворюючим фактором, який визначає структуру та зміст процесу багаторічної підготовки спортивного резерву. За допомогою технології нейронних мереж з'являється можливість моделювати рівень фізичної підготовленості спортсмена, побудувати індивідуальну траєкторію розвитку кожного спортсмена, прогнозуючи ймовірний результат в обраному виді спорту, і розробляти індивідуальні траєкторії планування багаторічної підготовки.

За допомогою машинного навчання de Naan et al., досліджували зв'язок між спринтерськими можливостями і витривалістю у футболі [4]. Це дослідження визначає потенціал машинного навчання для ідентифікації футболістів на основі їхніх унікальних комбінацій спринтерських можливостей та можливостей для витривалості, а також бігових результатів, специфічних для спринту та витривалості, у специфічних для матчів бігових результатах. У цьому контексті детально розглядаються взаємозв'язки між спринтерськими можливостями та можливостями для витривалості, а також між фізичними можливостями та біговими результатами, специфічними для матчів. Дані про біг, специфічні для матчів, були зібрані у 31 футболіста елітної категорії протягом двох послідовних сезонів. Крім того, ці учасники пройшли тестування на навантаження, що складалося зі спринтерського тесту на 20 м та тесту на біговій доріжці з поступовим збільшенням для вимірювання максимального споживання кисню ( $VO_{2max}$ ). Підгрупи були визначені за допомогою кластеризації k-середніх та виявлення підгруп, на основі спринтерських можливостей та можливостей для витривалості гравців, бігових результатів, специфічних для спринту та витривалості, а також ігрової позиції. За допомогою машинного навчання було визначено три окремі підгрупи: гравці з високими спринтерською здатністю та дистанцією бігу, гравці з високою витривалістю та дистанцією бігу з помірною та високою інтенсивністю та гравці без високих фізичних можливостей або відповідної дистанції бігу, характерної для певного матчу. Серед усіх гравців не було виявлено суттєвого зв'язку між швидкістю 20-метрового спринту та нормалізованим показником  $VO_{2max}$ , хоча швидкість 20-метрового спринту позитивно корелювала із середньою дистанцією спринту на матчі, а нормалізований  $VO_{2max}$  – із середньою дистанцією бігу при помірній та високій інтенсивності. У юних елітних футболістів спринтерська здатність та витривалість демонструють позитивний, помірний зв'язок з відповідними результатами бігу, характерними для певного матчу, але ці можливості не є взаємовиключними або протилежними. Кластеризація дозволяє ідентифікувати гравців, яким можуть бути корисні альтернативні стратегічні ролі під час матчів, які перебувають у групі ризику перевантаження або могли б отримати користь від індивідуального тренування. Цей метод може допомогти тренерам у розробці індивідуальних тренувальних програм та оптимізації загальної стратегії матчу.

*Спортивне прогнозування.* Потенціал великих даних та нейронних мереж для покращення прогнозування спортивних результатів є величезним. Щоб проаналізувати та передбачити техніко-тактичні дії у регбі-лізі, Wang J. et al. дослідили підхід моделювання причинно-наслідкової поведінки за допомогою графових нейронних мереж (англ. Graph Neural Networks, GNN). Встановлені причинно-наслідкові зв'язки між діями гравців використали для прогнозування майбутніх дій. Модель була навчена та оцінена на наборі даних з 211 коротких відеокліпів, що зафіксували понад 71 000 дій гравців [16]. Дослідження показало, що інтеграція причинно-наслідкового моделювання з GNN може забезпечити найкраще пояснення спортивної аналітики та прогнозування дій у стратегічному контексті регбі-ліги.

Нейронні мережі можуть бути використані для успішного прогнозування результатів футбольних матчів. У дослідженні Luiz et al. рекурентна нейронна мережа (англ. Recurrent Neural Networks, RNN), як клас штучних нейронних мереж, досліджувалася для прогнозування результатів футбольних матчів. Методологія дослідження базується на даних Англійської Прем'єр-ліги за період 1993-2017 років. Проаналізована база даних включає: голи господарів поля в кінці матчу, голи гостей в кінці матчу, голи господарів поля в кінці матчу, голи гостей в кінці матчу, удари господарів поля в створ воріт та удари гостей у створ воріт [9]. Автори дослідили кілька різних способів формування послідовностей вхідних даних, а також різні архітектури рекурентних нейронних мереж (RNN), які можуть призвести до ефективного прогнозування.

*Візуалізація зображень на основі розпізнавання дій спортсмена.* Розпізнавання дій людини на відео є однією з ключових проблем в інтерпретації візуальних даних. В машинному навчанні для аналізу візуальних зображень застосовуються згорткові нейронні мережі (англ. Convolutional Neural Network, CNN) [17]. Застосування розпізнавання дій з використанням просторово-часової згорткової нейронної мережі (ЗНМ) може виявити та розпізнати 20 ударів у настільному тенісі [11]. Модель була навчена на специфічному наборі даних, записаному в природних умовах на факультеті спорту Університету Бордо. Метод досягає точності 91,4%.

Класифікація спортивних зображень за допомогою нейронних мереж та машинного зору – це галузь, що застосовується для створення найкращих моментів, аналізу продуктивності та виявленні порушень у грі. Mizher et al. представили інноваційну структуру для класифікації спортивних зображень за допомогою

згорткових нейронних мереж на основі глибокого навчання [12]. Бокс, гімнастика, плавання, теніс та важка атлетика – це п'ять різних видів спорту. З точки зору місця проведення та одягу, ці різні форми спортивних змагань дуже схожі. Зокрема, запропонована модель глибокого навчання складається з 20 шарів, серед яких є чотири шари ЗНМ. Результати показують, що запропонована модель досягла значного результату з точки зору точності, хоча вибрані види спорту мають схожі характеристики один з одним. Наприклад, точність класифікації боксу становила 90,63%, гімнастики – 86,88%, плавання – 94,06%, тенісу – 88,13%, а важкої атлетики – 89,06% на етапі тестування.

*Спортивна селекція.* Виявлення талантів у командних видах спорту є складним процесом, на який впливають біологічні, технічні, психологічні та соціально-культурні фактори. Qingrong et al. у своєму аналізі досліджень до області вхідних даних включали антропометричні, фізичні, технічні, перцептивно-когнітивні, психологічні та соціально-культурні показники [13]. З 27 досліджень найбільше досліджувався футбол (n = 13), інші дослідження охоплювали регбі, баскетбол, крикет, волейбол та австралійський футбол. Розміри вибірки коливалися від 21 до 13 876 спортсменів, переважно чоловіків. Загалом, машинне навчання (ML) демонструє потенціал для доповнення, а не заміни традиційних підходів до індивідуального інтелектуального розвитку, діючи як інструмент для підтримки рішень та генерування гіпотез, який може допомогти практикам у ранньому скринінгу, індивідуалізованому моделюванні прогресу та прогнозуванні талантів.

De Almeida-Neto et al. використали штучні багат шарові нейронні мережі для поєднання морфологічних та нейром'язових патернів початківців у спорті з патернами юних спортсменів. У дослідженні взяли участь 75 юнаків (13,3 ± 1,65 років), 87% з яких були спортсменами з різних видів спорту (волейбол, веслування, футбол, теніс, бразильське джиу-джитсу, плавання) та 13% – початківцями у спорті [3]. Їхню морфологію було перевірено за допомогою антропометрії та двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії. Нейром'язову активність реєстрували за допомогою нейромоторних тестів (хват руки, вертикальний стрибок, зустрічний рух та кидок медичного м'яча). Моделі багат шарового перцептрона (англ. MultiLayer Perceptron, MLP) були запрограмовані для перевірки відсотка подібності між морфологічними та нервово-м'язовими патернами початківців у спорті з такими ж, як у юних спортсменів різних видів спорту. Результати показали подібність морфологічних патернів початківців у спорті на 90% з тенісом, 87% з футболом, 80% з плаванням та 79% з бразильським джиу-джитсу, а також подібність нейром'язових патернів на 87% з футболом, 81% з плаванням та 75% з бразильським джиу-джитсу. При поєднанні морфологічних та нейром'язових патернів початківці у спорті показали подібність на 88% з футболом, 79% з плаванням, 77% з бразильським джиу-джитсу та 70% з тенісом. Для веслування суттєвої подібності не було виявлено. На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що використання MLP є стратегією, яка допомагає спрямувати початківців у спорті до занять певним видом спорту.

*Профілактика травм.* Безпека та підвищення результативності спортсменів значною мірою залежать від своєчасного запобігання спортивним травмам. Штучні нейронні мережі стали цінними інструментами у запобіганні спортивним травмам завдяки своїй ефективності та інтерпретованості [5]. Maghsoomi et al., вивчали, наскільки добре ШНМ можуть передбачати ризик спортивних травм на основі таких факторів, як результативність, попередні травми, персональні дані та біомеханіка. Було проаналізовано 28 досліджень, у яких типи ШНМ та різні фактори ризику використовувалися для прогнозування ймовірності травм у спортсменів з баскетболу (n = 9), футболу (n = 7), гандболу (n = 5), волейболу (n = 2), австралійського футболу (n = 2), регбі (n = 1), бейсболу (n = 1), пляжного волейболу (n = 1) та бігу (n = 1). Точність моделей MLP коливалася від мінімум 51,21% до максимум 98% [10]. Результати цього дослідження підкреслюють потенціал ШНМ як практичних інструментів для профілактики спортивних травм.

На сьогодні у сфері спорту застосовуються переважно два статистичні методи моделювання – регресійний аналіз та нейронні мережі. На відміну від регресійних рівнянь, метод моделювання за допомогою нейронних мереж є непараметричним і отже, більш гнучким. На противагу методу регресійного аналізу, досліджень у вітчизняній спортивній науці, які використовують моделювання за допомогою нейронних мереж, надзвичайно мало.

Об'єктом дослідження І. Хмельницької і Д. Хуртика стала розробка кінематичної структурної моделі класичних кроків для висококваліфікованих лижників з вадами слуху на основі нейронних мереж [7]. Учасниками дослідження були: 9 елітних лижників з вадами слуху – члени національної дефлімпійської збірної України з лижних гонок. Вік спортсменів – від 22 до 26 років, їхня кваліфікація – 1 майстер спорту міжнародного класу, 5 майстрів спорту України та 3 кандидати у майстри спорту. Відеозйомку рухових дій лижників проводили в сагітальній площині відеокамерою Sony з частотою 30 кадрів за секунду. Відеокамера була встановлена перпендикулярно лижні на відстані 3 м на рівні загального центру мас тіла спортсмена. Біомеханічний аналіз відеограм проводився за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення «BioVideo», розробленого на кафедрі кінезіології Національного університету фізичного виховання і спорту України [8].

Нейронні мережі багат шарового перцептрона було розроблено як моделі швидкості загального центру маси лижника в циклі поперемінного двокрокового ходу і як радіально-базисної функції – в циклі одночасного безкрокового ходу. Для обґрунтування та визначення найбільш інформативних показників техніки діагонального кроку висококваліфікованих лижників було проведено кореляційний аналіз кінематичних показників (час і довжина фаз, швидкість центру мас біоланок, кутові характеристики). Для навчання нейронної мережі було сформовано навчальну вибірку – кінематичні показники техніки 9 висококваліфікованих лижників. Нейронна мережа навчилася встановлювати зв'язок між входами та ціллю на навчальному наборі даних (вхідні дані та відповідні їм виходи, тобто спортивний результат – швидкість загального центру мас висококваліфікованого лижника у циклі). Для підтвердження якості навчання, тобто адекватності моделі, необхідно використовувати верифікаційний набір даних, який не використовувався в навчанні нейронної мережі. Для цього були відібрані кінематичні показники техніки пересування на лижах, які були отримані за результатами біомеханічного відеоаналізу 36 відеограм виступів 9 висококваліфікованих лижників на Чемпіонаті України з лижних гонок серед глухих спортсменів, який відбувся на початку змагального періоду в рамках підготовки до зимових Дефлімпійських ігор. Ці дані були розділені на верифікаційну та тестову вибірки в рівних частинах (по 18 відеограм). Верифікаційна вибірка була використана для валідації моделі.

В результаті побудови нейронної мережі ми отримали сім нейронних мереж, які мали архітектуру багат шарового перцептрона (MLP) (Табл. 1). Оптимальною моделлю є нейронна мережа номер 5 MLP 31-23-1, яка видає мінімальну тестову помилку. Потім ми перевірили продуктивність цієї найкращої мережі 5 MLP 31-23-1 порівняно з незалежною тестовою вибіркою.

Таблиця 1

**Нейронні мережі техніки поперемінного двокрокового ходу  
висококваліфікованих лижників-гонщиків з порушеннями слуху**

№	Архітектура мережі	Тренувальна ефективність	Тестова ефективність	Надійність ефективності	Тренувальна помилка	Тестова помилка	Вірогідність помилки
1	MLP 31-11-1	0,9210	0,3457	0,9859	0,0015	0,0068	0,0035
2	MLP 31-13-1	0,9245	0,4016	0,9910	0,0025	0,0051	0,0045
3	MLP 31-20-1	0,9170	0,4425	0,9905	0,0036	0,0049	0,0047
4	MLP 31-7-1	0,9300	0,4100	0,9905	0,0023	0,0051	0,0040
<b>5</b>	<b>MLP 31-23-1</b>	<b>0,9076</b>	<b>0,5068</b>	<b>0,9909</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0048</b>	<b>0,0024</b>
6	MLP 31-8-1	0,9276	0,4122	0,9858	0,0019	0,0055	0,0035
7	MLP 31-22-1	0,9250	0,4088	0,9873	0,0019	0,0057	0,0033

На основі отриманих модельних характеристик нейронної мережі 5 MLP 31-23-1 ми розробили комплекси фізичних вправ для корекції помилок у технічних діях діагонального кроку висококваліфікованих лижників з депривацією слуху. Позитивне зростання спортивних результатів свідчить про ефективність використання нейромережевого моделювання у вдосконаленні технічних дій слабчочуючих висококваліфікованих лижників.

Ми порівняли нашу нейронну мережеву модель з моделлю швидкості діагонального кроку висококваліфікованих лижниць, розроблену Зубриловим [1]. Ця модель у вигляді рівняння регресії включає 9 змінних. Модель пояснює 86% дисперсії швидкості в циклі та має похибку 1,8%. Порівняно з цією моделлю, наша модель включає 6 змінних, отже, вона простіша з точки зору практичної реалізації. Збільшуючи кількість прихованих шарів та кількість нейронів у них, можна забезпечити будь-яку точність нейронної мережі. Похибка моделі не перевищує 1%.

С. Совенко на основі нейронних мереж розробив багатфункціональні біомеханічні моделі елементів технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються у спортивній ходьбі [15]. Моделі враховують інформативні антропометричні та біомеханічні характеристики техніки атлетів, які впливають на досягнення високих спортивних результатів. 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.

**Висновки і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Застосування технології нейронних мереж у спортивних дисциплінах дозволяє прогнозувати спортивні результати, а також значно підвищує ефективність тренувального процесу за рахунок індивідуального підходу, точної біомеханічної оцінки техніки рухової дії та прийняття об'єктивно обгрунтованого раціонального рішення щодо її корекції. Системний аналіз літературних джерел дозволив виділити наступні напрями використання нейронних мереж: моделювання показників спортивної підготовленості атлета, спортивне прогнозування, візуалізація зображень на основі розпізнавання дій спортсмена, спортивна селекція, профілактика травм.

На сьогодні у сфері спорту застосовуються переважно два статистичні методи моделювання – регресійний аналіз та нейронні мережі. На відміну від регресійних рівнянь, метод моделювання за допомогою нейронних мереж є непараметричним і отже, більш гнучким. Модель на основі нейронної мережі не вимагає попереднього визначення математичних виразів моделі прогнозування і має вищу точність прогнозування.

## References

1. Zubrilov P. A. Корекція техніки лижних ходів спортсменів високої кваліфікації на основі використання індивідуальних біомеханічних моделей [автореферат]. Київ; 1994. 26 с.  
 Zubrilov, R. A. (1994). Korektsiia tekhniki lyzhnykh khodiv sportsmeniv vysokoi kvalifikatsii na osnovi vykorystannia individualnykh biomekhanichnykh modelei [Correcting ski moves technique of elite athletes on the basis of using individual biomechanical models [autoreferat]. Kyiv. 26 p.
2. Національна стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні 2021–2030 / Міністерство освіти і науки України, Національна академія наук України. URL: <https://www.naiiu.kiev.ua/images/news/img/2021/06/strategiya-110621.pdf>.  
 Natsionalna stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini 2021–2030 / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Natsionalna akademiia nauk Ukrainy [National strategy on artificial intelligence development in Ukraine 2021-2030 / Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Sciences]. URL: <https://www.naiiu.kiev.ua/images/news/img/2021/06/strategiya-110621.pdf>.
3. de Almeida-Neto, P.F., Neto, R.B., de Matos, D.G. *et al.* (2023). Using artificial neural networks to help in the process of sports selection and orientation through morphological and biodynamic parameters: a pilot study. *Sport Sci Health* 19, 929–937. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-00986-1>
4. de Haan M, van der Zwaard S, Sanders J, Beek PJ, Jaspers RT. (2025). Beyond Playing Positions: Categorizing Soccer Players Based on Match-Specific Running Performance Using Machine Learning. *J Sports Sci Med*. Sep 1;24(3):565-577. <https://doi.org/10.52082/jssm.2025.565>.
5. Fang, D., Chen, C. (2025). Sports injury risk prediction based on temporal graph encoding and graph neural networks: A cross-sport transfer learning framework. *Sci Rep* 15, 37656. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-21613-2>
6. How different countries view artificial intelligence / *Brookings*. URL: <https://www.brookings.edu/research/how-different-countries-view-artificial-intelligence/> (date of access: 23.12.2025).
7. Imas Y., Khmel'nitska I., Khurtyk D., Korobeynikov G., Spivak M., Kovtun V. (2018). Neural network modeling of diagonal stride technique of highly qualified skiers with hearing impairments. *Journal of Physical Education and Sport* ® (JPES), 18 Supplement, issue 2, Art 181, pp. 1217–1222. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.s2181>
8. Kashuba VA, Khmel'nitskaya IV. (2005). Software for the Biomechanical Analysis of High Skilled Athlete's Motor Actions. 4 th Intern. Scient. Conference on Kinesiology «Science and Profession – Challenge for the Future». Opatija, Croatia. Sept. 7–11, P. 855–857.
9. Luiz, L. E., Fialho, G., & Teixeira, J. P. (2024). Is Football Unpredictable? Predicting Matches Using Neural Networks. *Forecasting*, 6(4), 1152-1168. <https://doi.org/10.3390/forecast6040057>
10. Maghsoomi, M., Johari, K. & Abedini, E. (2025). Artificial neural networks for prevention of sports injuries: a systematic review. *Sport Sci Health* 21, 2479–2503. <https://doi.org/10.1007/s11332-025-01504-9>
11. Martin, PE., Benois-Pineau, J., Péteri, R. *et al.* (2020). Fine grained sport action recognition with Twin spatio-temporal convolutional neural networks. *Multimed Tools Appl* 19, 20429–20447. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08917-3>
12. Mizher, H. S., Taher, M. A., Falih, B. S., Gierz, L. A., Warguła, Ł. & Wieczorek, B. (2025). Detecting and classifying media images of athletes using convolutional neural networks – case study: Individual sports images. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(6), 152–166. <https://doi.org/10.12913/22998624/199798>
13. Qingrong Tang, Xiufang Wei, Bo Tan. (2026). The Role of Machine Learning in Talent Identification for Team Sports: A Systematic Review. *Journal of Sports Science and Medicine* (25), 58 – 83. <https://doi.org/10.52082/jssm.2026.58>
14. Rojas-Valverde, D. (2025). Big Data and Artificial Intelligence in Sports Analytics. In: Memmert, D. (eds) *Digitalisierung und Innovation im Sport und in der Sportwissenschaft*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-70475-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-70475-2_8)

15. Sovenko S., Vynohradov V., Edeliiev O., Popov S. (2025). Characteristics of the technical action model for athletes specializing in race walking within the long-term development system. *Journal of Physical Education and Sport*. Vol. 25, No. 1. P. 21–29. URL: <https://doi.org/10.7752/jpes.2025.01003>.
16. Wang J, Wang R, Gendron G, Heidari S, Valdez DAS, Cruz GAZ, Hallett S. (2024). Causal Behaviour Modelling for Player Action Prediction in Rugby League Using Graph Neural Networks. *39th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*, Christchurch, New Zealand, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/IVCNZ64857.2024.10794449>
17. Zhao, H. (2024). A parallel CNN architecture for sport activity recognition based on minimal movement data. *Sci Rep* 14, 31697. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81733-z>

**Khmelnitska Irene**

<https://orcid.org/0000-0003-0141-3301>

Researcher ID H-9112-2018

Scopus Author ID 55548103500

PhD in Physical Education and Sport, Associate Professor,  
Docent of the Department of Kinesiology and  
Physical Culture & Sport Rehabilitation,  
National University of Ukraine on Physical Education and Sport  
(Kyiv, Ukraine) E-mail: ikhmelnitska@uni-sport.edu.ua

**Kardakov Victor**

<https://orcid.org/0009-0008-5026-7746>

Researcher ID OVY-7898-2025

Teacher of the Department of Kinesiology and  
Physical Culture & Sport Rehabilitation,  
National University of Ukraine on Physical Education and Sport  
(Kyiv, Ukraine) E-mail: vkardakov@uni-sport.edu.ua

## NEURAL NETWORKS IN SPORTS MODELING

*In the field of sports science, artificial intelligence and machine learning have achieved significant success in recent years. The experience of best practice indicates the effectiveness of using artificial neural networks (ANN) in modeling sports technique. However, researches on the use of ANN in sports are presented fragmentarily and mainly by English-speaking authors.*

**The research objective** is to analyze, systematize and generalize the areas of application of artificial neural networks as a modeling tool in sports.

**Methodology:** systematic content analysis of scientific and methodological literature and Internet data.

**Scientific novelty:** the use of neural networks for modeling in sports is systematized according to scientific areas: modeling of athlete's sports fitness indicators, sports result forecasting, media images on athlete action recognition, sports selection, injury prevention. The main advantages of neural networks: 1) they are able to approximate any continuous function, and thus the researcher does not need to have any hypotheses regarding the basic model; 2) the connection between the input and output is determined in the process of training the neural network.

**Conclusions.** The use of neural network technology in sports disciplines allows to predict sports results, and also significantly increases the effectiveness of the training process due to an individual approach, accurate biomechanical assessment of the technique of the main motor action and making an objectively justified rational decision on its correction.

Today, two statistical modeling methods are mainly used in the field of sports – regression analysis and neural networks. Unlike regression equations, the modeling method using neural networks is non-parametric and therefore more flexible. The model based on a neural network does not require prior definition of mathematical expressions of the prediction model and has higher prediction accuracy.

**Keywords:** artificial neuron, machine learning, forecasting, multilayer perceptron, regression analysis.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2025

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор Денисова Л.В.