

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КВРКІ 240257.24.02.48 ПЗ

Виконав здобувач II курсу, група КІ2м-24-2

Керівник

доктор філософії, доцент  
Науковий ступінь, учене звання

Нормоконтролер

д. техн. наук, професор  
Науковий ступінь, учене звання

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри КІС  
«\_\_» травня 2026 р.

дата

Підпис

Валерія ШВАЙКО

Ініціали, прізвище

Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

Підпис

Сергій ЛИСЕНКО

Ініціали, прізвище

Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

Хмельницький 2026

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ДРУГИЙ (МАГІСТЕРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІПС



Ольга ПАВЛОВА

“ 12 ” 01 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Швайко Валерії Костянтинівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

Керівник проекту (роботи) Павлова Ольга Олександрівна, д.ф., завідувач кафедри КІПС

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 12.01.2026 р. № 6

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.05.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Аналіз відомих методів та інформаційних технологій підбору виду спорту

Математичне та статистичне моделювання морфофункціональних показників людини

Метод для персоналізованого підбору виду спорту

Програмна реалізація та експериментальні дослідження кіберфізичної системи

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

---

---

---

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 12 » 01 2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики КВРМ з керівником	12.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	12.01.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	20.01.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.02.2026	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.03.2026	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.03.2026	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.206	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2026	виконано
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2026	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2026	

Здобувач

  
Підпис

Валерія ШВАЙКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

Автор роботи: Швайко Валерія Костянтинівна.

Керівник роботи: Павлова Ольга Олександрівна.

Пояснювальна записка: 80 с., 25 рис., 10 табл., 2 дод., 81 джерело.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ, СПОРТИВНА ОРІЄНТАЦІЯ, ПЕРСОНАЛІЗОВАНИЙ ПІДБІР СПОРТУ, АЛГОРИТМ ВИПАДКОВОГО ЛІСУ, ПРОГНОЗУВАННЯ СХИЛЬНОСТІ.

Об'єктом дослідження є процес персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

Предметом дослідження є методи машинного навчання та статистичного аналізу для класифікації схильності до видів спорту в кіберфізичних системах.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення продуктивності та об'єктивності персоналізованого підбору виду спорту шляхом розроблення кіберфізичної системи на основі методів машинного навчання та статистичного моделювання морфофункціональних показників.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи статистичного аналізу даних, кореляційного аналізу Пірсона та Спірмена, t-критерій Стьюдента, методи машинного навчання та класифікації даних, ансамблевий метод випадкового лісу, а також методи математичного та комп'ютерного моделювання кіберфізичних систем

Наукова новизна отриманих результатів:

– набув подальшого розвитку метод підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників, який використовує ансамблеві моделі машинного навчання випадкового лісу у поєднанні зі статистичним кореляційним

аналізом, що дозволило алгоритмічно виявити приховані закономірності та надавати більш прозорі рекомендації

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні кіберфізичної системи, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та аналіз морфофункціональних показників людини з подальшим формуванням персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту. Запропонована система може бути використана у закладах освіти, спортивних школах, фітнес-центрах та системах підтримки прийняття рішень у сфері спортивної аналітики.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до спортивного відбору та орієнтації дітей на основі морфофункціональних характеристик. Розглянуто існуючі інформаційні системи, методи оцінювання фізичних показників та підходи до використання технологій машинного навчання у сфері персоналізованого підбору виду спорту. Визначено основні недоліки традиційних методів спортивної орієнтації та обґрунтовано доцільність використання кіберфізичних систем і алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації процесу прийняття рішень.

У другому розділі досліджено морфофункціональні показники людини та сформовано математичні й логічні основи визначення спортивної схильності. Виконано аналіз найбільш інформативних характеристик, що впливають на ефективність занять різними видами спорту, а також сформовано систему вагових коефіцієнтів для оцінювання значущості окремих параметрів. Описано принципи підготовки та нормалізації даних для подальшого використання в алгоритмах машинного навчання.

У третьому розділі розроблено структуру кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту та реалізовано підхід до інтелектуального аналізу морфофункціональних показників. Використано алгоритм випадкового лісу для визначення ймовірнісної схильності користувачів до різних спортивних дисциплін. Проведено моделювання та дослідження роботи моделей машинного навчання, що дозволило виявити взаємозв'язки між спортивними дисциплінами,

оцінити структуру даних та підтвердити ефективність використання багатofакторного аналізу для задач спортивної орієнтації.

У четвертому розділі спроектовано архітектуру та виконано програмну реалізацію кіберфізичної системи. Реалізовано інтеграцію сенсорних модулів, серверної підсистеми, бази даних та мобільного застосунку для збору, обробки й візуалізації морфофункціональних показників користувача. Проведено експериментальні дослідження роботи системи, статистичний аналіз даних та оцінювання результатів функціонування алгоритмів штучного інтелекту. Отримані результати підтвердили ефективність розробленого програмного комплексу для формування персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту.

## ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	5
ВСТУП.....	6
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ</b>	
<b>ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань.....	10
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень.....	14
1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження .....	21
1.4 Висновки до розділу 1 та постановка задачі дослідження.....	24
<b>2 МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ</b>	
<b>МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Формалізація вхідного вектора морфофункціональних показників людини ...	27
2.2 Статистичний аналіз кіберфізичної системи підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.....	34
2.2.1 Математична модель статистичної значущості показників.....	34
2.2.2 Моделювання взаємозв'язків на основі кореляційного аналізу .....	36
2.3 Інтелектуальна модель на основі ШП .....	38
2.3.1 Класифікатор випадкового лісу.....	38
2.3.2 Оцінка важливості ознак.....	40
2.4 Висновки до розділу 2.....	42
<b>3 МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ .....</b>	<b>44</b>
3.1 Формалізована структура методу для персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини .....	44
3.2 Алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних	
52	
3.3 Ансамблевий метод випадкового лісу для класифікації видів спорту.....	55
3.4 Метод визначення важливості ознак для прийняття рішень .....	57
3.5 Комп'ютерне моделювання та експериментальна перевірка розробленого методу .....	60

3.6 Висновки до розділу 3.....	64
4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	66
4.1 Архітектура та стек технологій програмного забезпечення кіберфізичної системи .....	66
4.2 Результати досліджень роботи моделей .....	71
4.3 Результат роботи кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини .....	76
4.4 Висновки до розділу 4.....	83
ВИСНОВКИ .....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	87
ДОДАТОК А .....	97
ДОДАТОК Б.....	108

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

IoT – Internet of Things (інтернет речей)

API – Application Programming Interface (інтерфейс прикладного програмування)

XLS – формат для експорту даних до книги Microsoft Excel

CSV – Comma-Separated Values (текстовий формат для зберігання табличних даних)

## ВСТУП

У сучасних умовах цифровізації суспільства та активного розвитку інформаційних технологій особливої актуальності набуває проблема персоналізованого підходу до фізичної активності та спортивної орієнтації людини. Вибір виду спорту є складним багатофакторним процесом, який залежить від сукупності морфологічних, функціональних та фізіологічних характеристик організму. Неправильно обраний вид фізичної активності може призводити до зниження ефективності тренувального процесу, перевантаження та втрати мотивації до занять спортом. У зв'язку з цим виникає необхідність створення інтелектуальних систем, здатних аналізувати індивідуальні особливості людини та формувати обґрунтовані рекомендації щодо вибору виду спорту.

Одним із найбільш перспективних напрямів вирішення даної проблеми є використання кіберфізичних систем, які поєднують сенсорні пристрої, програмне забезпечення, методи аналізу даних та алгоритми штучного інтелекту в єдиному інформаційно-аналітичному середовищі. Такі системи забезпечують автоматизований збір морфофункціональних показників людини, їх попередню обробку, статистичний аналіз та інтелектуальну інтерпретацію результатів у режимі реального часу. Використання сенсорних технологій та методів машинного навчання створює можливість переходу від традиційного суб'єктивного підходу до спортивної орієнтації до об'єктивного аналізу даних, що базується на закономірностях, виявлених у процесі інтелектуальної обробки інформації.

Разом із тим практичне впровадження подібних систем супроводжується рядом проблем. Значна частина існуючих носимих пристроїв та мобільних фітнес-застосунків орієнтована переважно на моніторинг окремих показників фізичної активності, таких як кількість кроків, частота серцевих скорочень або витрати енергії. Більшість сучасних рішень не забезпечує комплексного аналізу морфофункціональних характеристик людини та не враховує взаємозв'язки між різними фізіологічними показниками. Існуючі системи часто характеризуються

фрагментарністю даних, недостатнім рівнем персоналізації та обмеженим використанням сучасних методів штучного інтелекту.

Склалися певні суперечності між необхідністю створення високоточних інтелектуальних систем спортивної орієнтації та обмеженими можливостями існуючих рішень щодо комплексного аналізу морфофункціональних показників людини. Зменшення ступеня цих суперечностей можливе шляхом розроблення кіберфізичної системи, здатної інтегрувати дані з різних сенсорних джерел, виконувати їх попередню обробку, статистичний аналіз та інтелектуальну класифікацію із використанням сучасних методів машинного навчання.

Актуальність роботи полягає у розробленні інтелектуальної кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини, яка забезпечує комплексний аналіз фізіологічних параметрів, підвищує об'єктивність прийняття рішень та дозволяє формувати персоналізовані рекомендації щодо вибору спортивної діяльності. Використання статистичних методів аналізу та ансамблевих алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти приховані закономірності між морфофункціональними характеристиками людини та її схильністю до певних видів спорту.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення продуктивності та об'єктивності персоналізованого підбору виду спорту шляхом розроблення кіберфізичної системи на основі методів машинного навчання та статистичного моделювання морфофункціональних показників людини.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних завдань:

- проаналізувати сучасний стан кіберфізичних систем, носимих технологій та існуючих рішень у сфері спортивної аналітики;
- дослідити морфофункціональні показники людини та їх значення у процесі спортивної орієнтації;
- розробити алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних;
- дослідити можливості використання статистичних методів аналізу та методів машинного навчання для класифікації схильності до видів спорту;

- розробити структуру та архітектуру кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту;
- реалізувати інтелектуальну модель на основі ансамблевого методу випадкового лісу для аналізу морфофункціональних показників;
- провести експериментальні дослідження ефективності запропонованої системи та оцінити якість сформованих рекомендацій.

Об'єкт дослідження - процес персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

Предмет дослідження - методи машинного навчання та статистичного аналізу для класифікації схильності до видів спорту в кіберфізичних системах.

Наукова новизна отриманих результатів

- Набув подальшого розвитку метод підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників, який, на відміну від існуючих, використовує ансамблеві моделі машинного навчання випадкового лісу у поєднанні зі статистичним кореляційним аналізом, що дозволяє алгоритмічно виявляти приховані закономірності та надавати більш прозорі рекомендації.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні кіберфізичної системи, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та аналіз морфофункціональних показників людини з подальшим формуванням персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту. Запропонована система може бути використана у закладах освіти, спортивних школах, фітнес-центрах та системах підтримки прийняття рішень у сфері спортивної аналітики.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи статистичного аналізу даних, кореляційного аналізу Пірсона та Спірмена, t-критерій Стьюдента, методи машинного навчання та класифікації даних, ансамблевий метод випадкового лісу, а також методи математичного та комп'ютерного моделювання кіберфізичних систем

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано одну наукову статтю [36] у Збірнику наукових праць «AI for Environmental and Social Sustainability Workshop» та «AI and Interdisciplinary Innovations for Sustainable Development» (YAISD-WS

2025) за матеріалами науково-практичної конференції «The Second International Workshop of Young Scientists on Artificial Intelligence for Sustainable Development». (Тернопіль-Скоромохи – 2025. – С. 155-164).

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ

## 1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

У сучасному суспільстві фізична активність є важливим фактором підтримання здоров'я населення, профілактики хронічних захворювань та підвищення якості життя. Розвиток інформаційних технологій, сенсорних систем та методів аналізу даних відкриває нові можливості для дослідження фізичного стану людини та оптимізації тренувального процесу. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання створення інтелектуальних систем, які дозволяють аналізувати фізіологічні параметри людини та формувати рекомендації щодо фізичної активності.

Одним із ключових напрямів розвитку таких систем є використання кіберфізичних систем, які поєднують фізичні об'єкти, сенсорні пристрої, обчислювальні ресурси та програмне забезпечення у єдину інтегровану систему. Кіберфізичні системи забезпечують взаємодію між фізичним та цифровим середовищем, що дозволяє здійснювати збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Таким чином використання кіберфізичних систем для аналізу фізичної активності дозволяє створювати ефективні платформи для оцінки стану здоров'я людини та аналізу її рухової активності [1].

Архітектура таких систем зазвичай має ієрархічну структуру, у якій кожен рівень виконує окрему функціональну роль у процесі збору, передачі, обробки та аналізу даних, а також формування керуючих впливів.

Базовим елементом кіберфізичної системи є фізичний рівень, який відповідає за безпосередню взаємодію з об'єктами реального світу. На цьому рівні функціонують сенсорні пристрої, що здійснюють вимірювання параметрів середовища або стану об'єкта. У контексті систем, орієнтованих на людину, такими параметрами можуть виступати морфологічні та фізіологічні показники, зокрема частота серцевих скорочень, рівень фізичної активності, біомеханічні характеристики руху тощо. Отримані дані є первинною інформаційною основою

для подальшого аналізу, а їх точність і достовірність безпосередньо впливають на ефективність функціонування всієї системи.

Наступним етапом функціонування є рівень передачі даних, який забезпечує комунікацію між фізичними компонентами та обчислювальними модулями системи. Передача даних може здійснюватися за допомогою бездротових технологій, таких як Bluetooth, Wi-Fi або мобільні мережі, а також спеціалізованих протоколів Інтернету речей. Цей рівень відіграє критично важливу роль, оскільки забезпечує своєчасну та надійну доставку даних до систем обробки, що є необхідною умовою для реалізації режиму реального часу.

Після надходження даних до обчислювального середовища відбувається їх обробка. Рівень обробки даних передбачає виконання операцій фільтрації, очищення та нормалізації інформації. У реальних умовах сенсорні дані можуть містити шум або пропуски, тому попередня обробка є необхідною для забезпечення коректності подальшого аналізу. Крім того, на цьому рівні здійснюється інтеграція даних, отриманих з різних джерел, що дозволяє сформувати цілісне уявлення про стан об'єкта дослідження.

Ключовим компонентом кіберфізичної системи є аналітичний рівень, на якому реалізується аналіз отриманих та попередньо оброблених даних. Саме на цьому етапі застосовуються методи математичного моделювання, статистичного аналізу та машинного навчання для виявлення закономірностей у даних і формування узагальнених характеристик об'єкта. У задачах, пов'язаних із персоналізованим підбором виду спорту, аналітичний рівень дозволяє оцінювати морфофункціональні особливості людини, класифікувати її фізичний стан та визначати схильність до певних видів фізичної активності. Використання сучасних алгоритмів штучного інтелекту забезпечує підвищення точності та обґрунтованості таких оцінок.

Результати аналітичної обробки передаються на рівень прийняття рішень, який відповідає за формування рекомендацій або керуючих впливів. У цьому контексті кіберфізична система може виступати як система підтримки прийняття рішень, що генерує персоналізовані рекомендації на основі аналізу індивідуальних

характеристик користувача. Зокрема, для задачі вибору виду спорту цей рівень забезпечує визначення найбільш придатних видів фізичної активності з урахуванням фізіологічних можливостей і обмежень людини.

Завершальним елементом архітектури є користувацький рівень, який забезпечує взаємодію між системою та кінцевим користувачем. Цей рівень реалізується у вигляді інтерфейсів, таких як мобільні додатки, веб-платформи або інформаційні панелі. Через ці інтерфейси користувач отримує доступ до результатів аналізу, може переглядати свої показники та рекомендації, а також взаємодіяти із системою. Важливою вимогою до цього рівня є забезпечення зрозумілості, наочності та зручності подання інформації.

Таким чином, кіберфізична система являє собою багаторівневу структуру, у якій кожен рівень виконує специфічну функцію, а їх сукупна взаємодія забезпечує повний цикл обробки даних від їх збору до формування управлінських рішень (рис. 1.1). Такий підхід дозволяє ефективно реалізувати задачі, пов'язані з аналізом складних об'єктів, зокрема людини як біологічної системи, і створює передумови для розробки інтелектуальних систем персоналізованого підбору виду спорту.

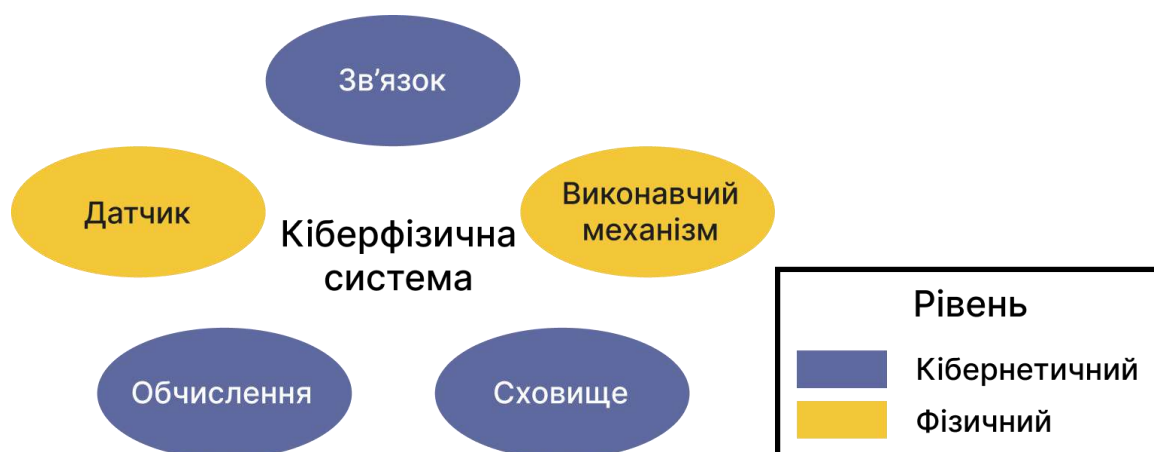


Рисунок 1.1 – Схема складових компонентів кіберфізичної системи

У сфері спортивної науки важливу роль відіграють морфофункціональні показники людини, які характеризують анатомічні та фізіологічні особливості організму. До таких показників належать антропометричні параметри тіла, функціональні характеристики серцево-судинної та дихальної систем, а також

показники фізичної працездатності. Аналіз фізіологічних параметрів спортсменів дозволяє більш точно оцінювати їхню фізичну підготовку та прогнозувати ефективність тренувального процесу [2].

Сучасні технології дозволяють здійснювати збір фізіологічних даних за допомогою носимих сенсорних пристроїв (рис. 1.2). Такі пристрої використовують різноманітні датчики для вимірювання частоти серцевих скорочень, рівня фізичної активності, температури тіла та інших показників. Дослідження, присвячені використанню носимих технологій у системах моніторингу фізичної активності, показують, що ці пристрої можуть забезпечувати безперервний контроль фізичного стану людини та дозволяють накопичувати великі обсяги даних для подальшого аналізу [3].



Рисунок 1.2 – Приклад носимих сенсорних пристроїв [4]

У спортивній практиці антропометричні та функціональні показники широко використовуються для спортивної селекції, тобто визначення схильності людини до певного виду спорту. Наукові дослідження показують, що між морфологічними характеристиками людини та її спортивними результатами існує значний взаємозв'язок. Наприклад, у дослідженні Сунга було показано, що аналіз біомеханічних параметрів руху спортсменів дозволяє визначити ефективність

виконання технічних елементів та виявити особливості рухової діяльності спортсменів [3].

Разом з тим існуючі системи моніторингу фізичної активності здебільшого орієнтовані на збір і відображення даних, а не на їх комплексний аналіз. Більшість сучасних фітнес-систем обмежуються підрахунком кроків, оцінкою витрат енергії або вимірюванням частоти серцевих скорочень. Такі системи не враховують індивідуальні морфологічні особливості людини та не можуть здійснювати повноцінний аналіз її фізичного потенціалу.

Ще однією проблемою є фрагментованість даних, які збираються різними сенсорними пристроями. Дані з акселерометрів, гіроскопів, біосенсорів та інших пристроїв часто обробляються окремо, що ускладнює створення комплексної системи аналізу фізичних показників. У дослідженні Губбі зазначається, що інтеграція різних джерел даних є однією з ключових проблем розвитку систем IoT та кіберфізичних систем [5].

Крім того, у сучасних системах спортивного моніторингу недостатньо використовуються методи штучного інтелекту та машинного навчання, які дозволяють виявляти складні закономірності у великих масивах даних. Використання таких методів може значно підвищити точність аналізу фізичних показників та сприяти формуванню більш точних рекомендацій щодо фізичної активності.

Таким чином, існує необхідність створення комплексних кіберфізичних систем, які здатні інтегрувати дані з різних сенсорних джерел, аналізувати морфофункціональні показники людини та формувати персоналізовані рекомендації щодо вибору виду спорту.

## 1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій у сфері фізичної культури та спорту характеризується активним впровадженням цифрових рішень, спрямованих на моніторинг, аналіз та оптимізацію фізичної активності людини.

Значна кількість існуючих систем орієнтована на збір та інтерпретацію фізіологічних і поведінкових даних користувачів, що створює передумови для персоналізації тренувального процесу. Водночас аналіз наукових публікацій і практичних рішень показує, що більшість таких систем не забезпечують комплексного підходу до підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини, що обумовлює необхідність детального порівняльного аналізу їх можливостей та обмежень.

Одним із найбільш поширених класів рішень є носимі пристрої, або носимі технології, які включають фітнес-браслети, смарт-годинники та інші сенсорні системи (рис. 1.3). Дані пристрої відіграють важливу роль у розвитку персоналізованої медицини та спорту, оскільки забезпечують безперервний моніторинг фізіологічних параметрів без необхідності складних лабораторних досліджень. Як показано у дослідженні Каевканнате та Кім, носимі пристрої здатні ефективно реєструвати базові показники фізичної активності, такі як кількість кроків, пройдена відстань та витрати енергії, а також забезпечують високий рівень зручності використання для користувачів [6]. Сучасні пристрої, такі як Apple Watch або Fitbit, еволюціонували від простих трекерів до складних платформ для прогнозування стану здоров'я, що підтверджується сучасними дослідженнями у сфері аналізу даних з носимих пристроїв [7].



Рисунок 1.3 – Приклад різноманітності фітнес-браслетів [8]

Попри очевидні переваги, такі системи мають низку суттєвих недоліків. Вони не враховують індивідуальні особливості користувача та не здійснюють комплексний аналіз фізичних характеристик. Однією з ключових проблем є обмежена точність вимірювань, особливо у випадках інтенсивної фізичної активності або складних рухів. Дослідження показують, що різні пристрої можуть суттєво відрізнятися за точністю вимірювання навіть базових параметрів, що ускладнює використання таких даних для серйозних аналітичних задач [6]. Більшість таких систем не використовує складні алгоритми аналізу даних, що обмежує можливості їх застосування у сфері спортивної науки. В основному носимі системи орієнтовані на відображення показників у вигляді статистики або графіків, без глибокого аналізу причинно-наслідкових зв'язків, що обмежує їх застосування у задачах прийняття рішень. Додатковою проблемою є питання конфіденційності даних, оскільки значна частина мобільних фітнес-додатків передає персональну інформацію третім сторонам, що створює ризики для користувачів [9].

Інший напрям розвитку системи рішень спортивної аналітики пов'язаний із використанням мобільних додатків для фітнесу та здоров'я, які інтегрують дані з різних джерел і надають користувачам інструменти для відстеження активності та досягнення цілей. Такі платформи, як HeiaHeia (рис. 1.4), дозволяють користувачам фіксувати різні види фізичної активності, встановлювати індивідуальні цілі та взаємодіяти з іншими користувачами у соціальному середовищі [10]. Дослідження показують, що соціальні механізми, такі як порівняння результатів з іншими користувачами, можуть позитивно впливати на рівень фізичної активності та мотивацію [11, 12].

Попри це, мобільні додатки мають переважно допоміжний характер і не забезпечують поглибленого аналізу фізіологічних характеристик користувача. Їх функціональність здебільшого обмежується відображенням статистичних даних та базовими рекомендаціями, які часто не враховують індивідуальні особливості організму. Такі системи зазвичай не інтегрують складні моделі аналізу

морфофункціональних показників, що є досить важливим для задачі підбору виду спорту.

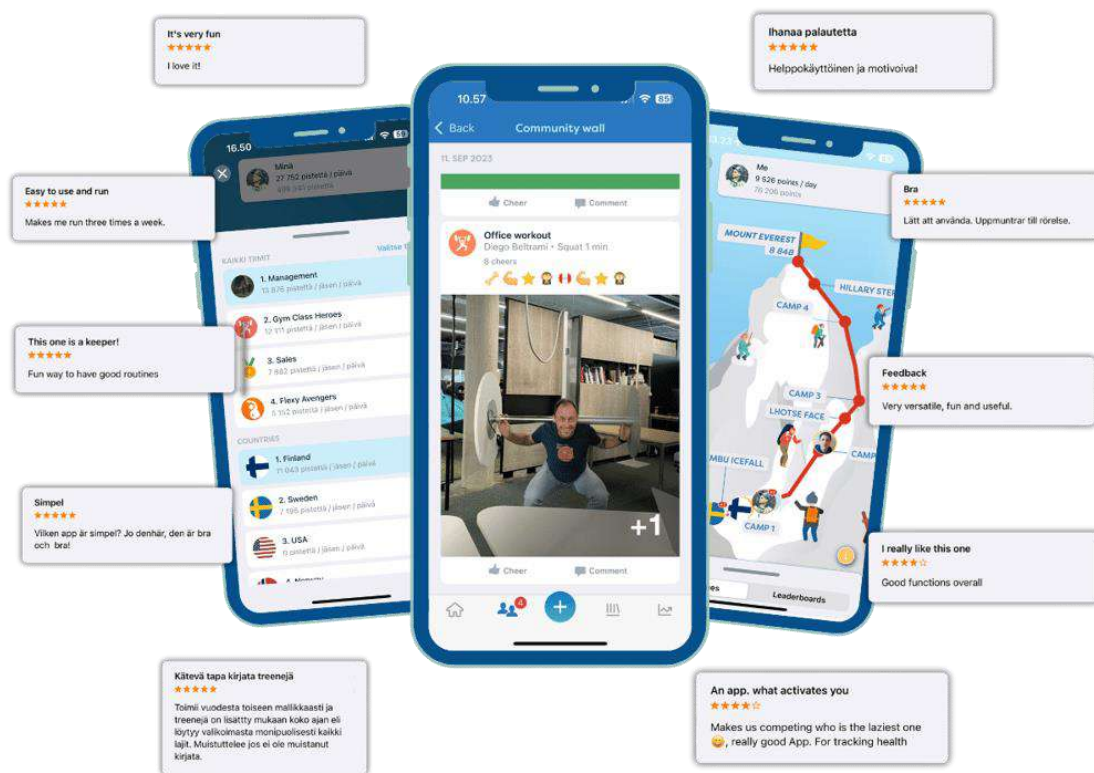


Рисунок 1.4 – Екрани інтерфейсу застосунку NeiaNeia [10]

Суттєвим напрямком розвитку є системи, що використовують методи машинного навчання для аналізу даних про фізичний стан людини. У дослідженні MNfit було продемонстровано можливість використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування фізичної придатності людини до певних видів активності з високою точністю, що перевищує 95% [13]. Такі системи мають значний потенціал для застосування, оскільки дозволяють враховувати великий обсяг параметрів і виявляти складні залежності між ними. У роботі Ванга показано, що алгоритми глибокого навчання можуть ефективно використовуватися для розпізнавання типів фізичної активності на основі даних з акселерометрів та інших сенсорів [14]. Використання таких алгоритмів дозволяє автоматично класифікувати різні види рухової активності та виявляти закономірності у поведінці людини.

Водночас ефективність таких підходів значною мірою залежить від якості вхідних даних та наявності репрезентативних вибірок. У багатьох випадках дані, отримані з носимих пристроїв, є неповними або містять похибки, що може негативно впливати на результати аналізу. Крім того, більшість досліджень у цій галузі проводиться в експериментальних умовах і не завжди враховує реальні сценарії використання систем, що обмежує їх практичну застосовність.

Окрему категорію становлять системи аналізу рухів, які використовують комбінацію інерціальних сенсорів та технологій комп'ютерного зору. Такі системи дозволяють здійснювати детальний аналіз техніки виконання вправ, оцінювати координацію та ефективність рухів, а також виявляти помилки у виконанні. Дослідження також доводять, що поєднання даних з різних типів сенсорів, дозволяє підвищити точність розпізнавання фізичної активності [15]. У роботі Дел Росаріо показано, що використання інерціальних вимірювальних модулів дозволяє отримувати точні дані про параметри руху спортсменів та аналізувати техніку виконання спортивних вправ [16].



Рисунок 1.5 – Спортивна кофта з сенсорами [17]

Сучасні системи, що використовують інтелектуальний спортивний одяг (рис 1.5) із вбудованими сенсорами, дозволяють отримувати детальні біомеханічні дані у режимі реального часу [18].

Проте такі системи є складними у реалізації та потребують значних обчислювальних ресурсів. Їх використання часто обмежується професійним спортом або науковими дослідженнями, що ускладнює їх впровадження у масову практику. Здебільшого вони орієнтовані на аналіз конкретних рухів або вправ, а не на визначення оптимального виду спорту для користувача.

Важливою проблемою сучасних рішень є фрагментарність екосистеми. Користувачі часто використовують кілька різних пристроїв і додатків, які не завжди сумісні між собою. Це призводить до розпорошення даних і ускладнює їх комплексний аналіз. Як зазначається у сучасних оглядах, навіть незначні зміни у політиці платформ можуть порушити інтеграцію між різними сервісами, що негативно впливає на користувацький досвід та ефективність використання даних [19].

Існуючі рішення у сфері моніторингу фізичної активності та спортивної аналітики мають значний потенціал, проте характеризуються рядом системних обмежень. Основними перевагами таких систем є можливість автоматизованого збору даних, використання сучасних сенсорних технологій та застосування методів штучного інтелекту для аналізу інформації у режимі реального часу. Водночас їхні недоліки полягають у недостатній точності вимірювань, обмеженій інтеграції даних, низькому рівні персоналізації та відсутності комплексного підходу до аналізу морфофункціональних характеристик людини.

Результати проведеного аналізу існуючих кіберфізичних пристроїв та програмних рішень узагальнено у вигляді порівняльної таблиці 1.1, для наочної демонстрації їх функціональних можливостей та виявлення основних обмежень. Проведений аналіз показав, що сучасні системи здебільшого орієнтовані або на моніторинг фізичної активності, або на базову аналітику показників користувача, проте не забезпечують комплексного підходу до аналізу морфофункціональних характеристик та формування персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз кіберфізичних пристроїв та систем спортивної аналітики

Пристрій / система	Моніторинг фізіологічних показників	Підключення та синхронізація	Попередня обробка даних	Аналіз даних	Надання рекомендацій
Фітнес-браслети	Так	Так	Частково	Ні	Ні
Смарт-годинники	Так	Так	Частково	Частково	Частково
Мобільні фітнес-застосунки	Частково	Так	Так	Частково	Так
Носимі пристрої для спортивного моніторингу	Так	Так	Так	Частково	Ні
Інтелектуальний спортивний одяг	Так	Так	Так	Так	Ні
Системи аналізу рухів	Так	Частково	Так	Так	Частково
Системи на основі машинного навчання	Частково	Частково	Так	Так	Так

Проведений порівняльний аналіз дозволив встановити, що більшість сучасних рішень забезпечують окремі функції моніторингу або аналізу фізичної активності, однак не реалізують повний цикл обробки морфофункціональних

даних із подальшим формуванням персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту. Частина систем здатна виконувати синхронізацію даних та базову аналітику, проте не враховує індивідуальні морфологічні та функціональні особливості користувача.

Також встановлено, що існуючі рішення часто характеризуються фрагментарністю функціоналу: одні системи орієнтовані переважно на збір даних, інші на їх статистичний аналіз або візуалізацію результатів. Водночас комплексні системи, які поєднують сенсорний моніторинг, попередню обробку даних, інтелектуальний аналіз та автоматизоване формування рекомендацій, залишаються недостатньо поширеними.

Отже, результати проведеного аналізу підтверджують актуальність дослідження, пов'язаного з розробкою кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. Запропонований у кваліфікаційній роботі підхід спрямований на усунення виявлених недоліків існуючих рішень шляхом інтеграції сенсорних технологій, методів попередньої обробки даних та алгоритмів штучного інтелекту в межах єдиної інформаційно-аналітичної системи.

### 1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

Розв'язання задачі персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини потребує застосування комплексного методологічного підходу, що поєднує сучасні досягнення у галузях інформаційних технологій, медицини, спортивної науки та аналізу даних.

Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування концепції кіберфізичних систем, які забезпечують інтеграцію фізичних процесів із обчислювальними ресурсами та інформаційними технологіями. Такий підхід дозволяє реалізувати безперервний збір даних про стан організму людини за допомогою сенсорних пристроїв, їх передачу, обробку та подальший аналіз із використанням алгоритмів. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що

кіберфізичні системи є ефективною основою для створення розумних систем моніторингу та підтримки прийняття рішень у сфері охорони здоров'я та спорту, оскільки вони забезпечують тісний зв'язок між фізичними параметрами та їх цифровим представленням [20].

Важливим компонентом методології є використання сенсорних технологій та носимих пристроїв для збору морфофункціональних даних. Сучасні носимі-системи дозволяють отримувати значний обсяг інформації про фізіологічний стан людини у реальному часі, включаючи показники серцево-судинної системи, рівень фізичної активності та біомеханічні характеристики руху. Інтеграція таких даних створює передумови для більш точного оцінювання фізичного стану людини та її функціональних можливостей. Водночас ефективне використання цих даних потребує застосування відповідних методів їх попередньої обробки, зокрема фільтрації шумів, нормалізації та синхронізації інформації з різних джерел.

Наступним важливим методологічним напрямом є застосування методів математичного моделювання та статистичного аналізу. Оскільки морфофункціональні характеристики людини мають складну структуру та залежать від великої кількості факторів, їх аналіз потребує використання адекватних моделей, які дозволяють описати взаємозв'язки між різними параметрами.

Значний потенціал у вирішенні поставленої задачі мають методи машинного навчання, які дозволяють автоматизувати процес аналізу великих обсягів даних та виявляти приховані закономірності, недоступні для традиційних підходів. Як зазначається у роботі Хаммерла, алгоритми глибокого навчання можуть ефективно використовуватися для аналізу даних про фізичну активність людини та розпізнавання різних типів рухів [21]. Зокрема, алгоритми класифікації можуть використовуватися для віднесення користувачів до певних типів фізичної підготовленості, а методи кластеризації дозволяють групувати користувачів за схожими характеристиками. Використання нейронних мереж та інших інтелектуальних алгоритмів дозволяє досягти високої точності у задачах прогнозування фізичних можливостей людини та її схильності до певних видів

спорту. Такі алгоритми дозволяють виявляти приховані закономірності у даних та підвищувати точність прогнозування спортивної результативності. Водночас ефективність таких методів значною мірою залежить від якості навчальних даних та правильності вибору ознак, що підкреслює необхідність ретельного формування інформаційної бази.

Таким чином, методологічна основа дослідження формується на перетині кількох підходів, серед яких ключову роль відіграють кіберфізичні системи, сенсорні технології, методи обробки даних, математичне моделювання та алгоритми машинного навчання. Їх інтеграція дозволяє створити ефективну систему, здатну здійснювати комплексний аналіз морфофункціональних показників людини та формувати персоналізовані рекомендації щодо вибору виду спорту.

У загальному вигляді задача полягає у створенні кіберфізичної системи, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та аналіз морфофункціональних показників людини з метою формування рекомендацій щодо вибору оптимального виду спорту. Формалізація задачі передбачає необхідність врахування багатовимірного характеру вхідних даних, які включають як статичні параметри, такі як антропометричні характеристики, так і динамічні показники, що відображають функціональний стан організму.

На основі проведеного дослідження було сформульовано гіпотезу, що відповідає темі дослідження: існує істотна різниця між середніми значеннями показників у двох видах спорту. Особливу увагу необхідно приділити питанням інтеграції різнорідних даних, оскільки ефективність системи значною мірою залежить від здатності об'єднувати інформацію, отриману з різних джерел. Це включає як дані сенсорних пристроїв, так і результати лабораторних досліджень або анкетування користувача. У цьому контексті важливо забезпечити узгодженість даних та їх коректну інтерпретацію.

#### 1.4 Висновки до розділу 1 та постановка задачі дослідження

У першому розділі проведено комплексний аналіз сучасного стану кіберфізичних систем, носимих-технологій та інтелектуальних інформаційних рішень у сфері спортивної аналітики й моніторингу фізичної активності людини. Проведений аналіз предметної області показав, що сучасні цифрові системи активно використовують сенсорні технології, мобільні застосунки та методи аналізу даних для збору й обробки фізіологічних показників користувачів. Водночас більшість існуючих рішень орієнтована переважно на моніторинг базових параметрів фізичної активності та не забезпечує комплексного аналізу морфофункціональних характеристик людини з метою персоналізованого підбору виду спорту.

Аналіз архітектури кіберфізичних систем дозволив встановити, що сучасні системи спортивного моніторингу реалізують багаторівневий підхід, який включає рівні збору даних, передачі інформації, попередньої обробки, аналітичного аналізу та формування рекомендацій. Використання сенсорних пристроїв і технологій IoT створює можливість безперервного моніторингу морфофункціональних показників людини у режимі реального часу, однак ефективність таких систем значною мірою залежить від якості інтеграції даних та інтелектуальних методів їх аналізу.

Порівняльний аналіз існуючих рішень показав, що носимі пристрої, смарт-годинники, мобільні фітнес-застосунки та системи аналізу рухової активності мають низку переваг, серед яких автоматизований збір даних, мобільність та можливість безперервного моніторингу фізичного стану користувача. Проте більшість таких систем характеризується фрагментарністю функціоналу, недостатнім рівнем персоналізації та відсутністю комплексного підходу до аналізу морфофункціональних показників. Значна частина існуючих рішень обмежується лише візуалізацією статистичних даних або базовими рекомендаціями, не використовуючи сучасні алгоритми штучного інтелекту для виявлення складних закономірностей у даних.

Проведений аналіз також підтвердив перспективність використання методів машинного навчання та статистичного аналізу у задачах спортивної орієнтації. Використання алгоритмів класифікації, кореляційного аналізу та методів інтелектуальної обробки даних дозволяє враховувати значну кількість параметрів та формувати більш обґрунтовані рекомендації щодо вибору виду спорту. Особливо актуальним є застосування ансамблевих моделей машинного навчання, здатних працювати з багатовимірними наборами морфофункціональних характеристик та виявляти приховані взаємозв'язки між показниками.

Отже, проблема даного дослідження зумовлена необхідністю створення комплексної інтелектуальної кіберфізичної системи, здатної інтегрувати дані з різних сенсорних джерел, виконувати їх попередню обробку, статистичний аналіз та інтелектуальну класифікацію для формування персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту. Актуальність даної задачі обумовлена потребою підвищення ефективності процесу спортивної орієнтації з урахуванням індивідуальних морфофункціональних особливостей людини, що сприятиме не лише покращенню спортивних результатів, але й зміцненню здоров'я та підвищенню якості життя.

З огляду на вищезазначене, метою дипломної роботи є підвищення продуктивності та об'єктивності персоналізованого підбору виду спорту шляхом розроблення кіберфізичної системи на основі методів машинного навчання та статистичного моделювання морфофункціональних показників.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

- проаналізувати сучасний стан кіберфізичних систем, носимих технологій та існуючих рішень у сфері спортивної аналітики;
- дослідити морфофункціональні показники людини та їх значення у задачах спортивної орієнтації;
- розробити алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних;

- дослідити можливості використання статистичних методів аналізу та методів машинного навчання для класифікації схильності до видів спорту;
- розробити структуру та програмно-апаратну архітектуру кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту;
- реалізувати інтелектуальну модель на основі ансамблевого методу випадкового лісу для аналізу морфофункціональних показників;
- провести експериментальні дослідження ефективності запропонованої системи та оцінити якість сформованих рекомендацій.

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

### 2.1 Формалізація вхідного вектора морфофункціональних показників людини

У загальному вигляді кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту представлена як відображення множини вхідних ознак у простір вихідних рішень. Це формалізує процес прийняття рішення як задачу перетворення багатовимірного вектора морфофункціональних показників у цільову змінну, що характеризує схильність до певного виду спорту.

Вхідний простір ознак формується сукупністю антропометричних та функціональних параметрів, які описують фізичний стан людини. Ці параметри утворюють багатовимірний простір ознак, у якому кожен об'єкт відповідає окремому набору вимірювань. Подальша обробка здійснюється моделлю, яка реалізує композицію статистичних та інтелектуальних методів для виявлення прихованих закономірностей у даних.

У межах такого підходу система як узагальнений оператор перетворення, що апроксимує невідому залежність між вхідними характеристиками та результатом класифікації. Вихід системи інтерпретується як оцінка належності до певного класу або рівень схильності, що дозволяє формувати обґрунтовані рекомендації. Модель кіберфізичної системи в узагальненому вигляді наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Модель кіберфізичної системи в узагальненому вигляді

Ключову роль у процесі розробки кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту відіграє математичне та статистичне моделювання

морфофункціональних показників людини. Ефективність функціонування системи безпосередньо залежить від коректності представлення вхідних даних, а також від здатності моделі виявляти закономірності у багатовимірному просторі ознак.

Формалізація вхідного вектора морфофункціональних показників включає антропометричні характеристики та показники фізичної підготовленості людини. Зазначений вектор представлено у вигляді сукупності з чотирнадцяти компонент, кожна з яких відображає окрему характеристику фізичного стану. До складу показників входять:

1. Зріст, см.
2. Вагово-ростовий індекс (індекс маси тіла).
3. Індекс розвитку мускулатури (периметр плеча напруженого/периметр плеча розслабленого).
4. Співвідношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, см.
5. Біг 30 м, с.
6. Стрибок з місця у довжину, см.
7. Кидок набивного м'яча на дальність (1 кг), м.
8. Присідання 60 с (кількість).
9. Згинання розгинання рук в упорі лежачи (кількість).
10. Нахил тулуба стоячи (нахили тулуба вперед з положення сидячи), см.
11. Човниковий біг (4x9 м), с.
12. Швидкість реакції (ловля палиці, яка має сантиметрові помітки), см.
13. Стрибки на скакалці за 60 с (кількість).
14. Викрут мірної лінійки (різниця від ширини плечей), см.

Представлений перелік показників комплексно охарактеризовує фізичний розвиток людини, охоплюючи різні аспекти, включаючи антропометричні характеристики, силові, швидкісні та координаційні здібності. Такий комплексний підхід уникає однобічної оцінки та забезпечує більш об'єктивне визначення схильності до певних видів спорту. Використання сукупності взаємопов'язаних морфофункціональних параметрів враховує індивідуальні особливості організму людини, рівень фізичної підготовленості та потенціал до розвитку у конкретній

спортивній дисципліні. Це підвищує достовірність результатів аналізу та сприяє формуванню більш обґрунтованих рекомендацій щодо спортивної орієнтації. Вхідний вектор можна представити у вигляді виразу:

$$X=(x_1,x_2,\dots,x_{14}), \quad (2.1)$$

де  $x_i$  — значення  $i$ -го показника.

Таким чином, формується багатовимірний опис фізичного стану людини, що комплексно оцінює її схильність до різних видів спорту.

Водночас використання різнорідних параметрів потребує їх приведення до уніфікованого вигляду, оскільки різні показники мають різні одиниці вимірювання та діапазони значень. З цією метою здійснюється нормалізація даних відносно середніх значень та стандартних відхилень, що забезпечує коректність подальших розрахунків та уникнути домінування окремих ознак.

Для забезпечення коректності аналізу всі показники нормалізуються відносно середніх значень за формулою:

$$\bar{X}_j = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}, \quad (2.2)$$

де  $\mu_i$  – середнє значення показника,

$\sigma_i$  – стандартне відхилення.

Для забезпечення коректності подальших розрахунків було використано середні значення та стандартні відхилення показників, отримані на основі експериментальних даних. Отримані середні значення та стандартні відхилення для кожного показника були сформовані на основі експериментальних даних та консультацій з фахівцями у сфері фізичного виховання. Зазначені статистичні характеристики формують базу для порівняння індивідуальних результатів із типовими значеннями для відповідної вікової категорії.

Середні значення  $\bar{X}_j$  за стандартом значення кожного морфофункціонального показника для визначення схильності дитини до певного виду спорту відображено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Середні значення  $\bar{X}_j$  для дітей 10 і 11 років

№	Індикатор	10 років				11 років			
		ч	σ	ж	σ	ч	σ	ж	σ
1	Висота, (см)	134,7	4,5	134,4	6,2	139	4,7	139,2	5,6
2	Індекс маси тіла, вага (г)/зріст (см)	219	-28,2	220,2	-33,2	234,5	-28,8	233,5	-32,3
3	Індекс м'язової маси	8,5	3,5	8,5	3,5	8,5	3,5	8,5	3,5
4	Відношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	0	1,33	0	1,33	0	1,33	0	1,33
5	Біг 30 м, (с)	6,3	-0,61	6,6	-0,61	6,1	-0,49	6,4	-0,62
6	Стрибок у довжину, (см)	147	22,31	127	17,56	157	23,25	132	19,16
7	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	6,5	0,79	6	0,79	7	0,79	6,5	0,79
8	Присідання 60 с, (кількість)	28	7,91	28	7,91	29	9,19	29	7,44
9	Віджимання від підлоги, (кількість)	16	7,44	7	3,97	18	7,91	8	5,22
10	Нахил тулуба стоячи, (см)	7	3,96	9	5,86	8	3,65	10	5,7

Кінець таблиці 2.1

1	2	3				4			
11	Човниковий біг 4x9 м, (с)	12,3	- 1,03	13	-1	12	- 0,98	12,8	- 0,95
12	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	24	-4	24	-4	22	-4	22	-4
13	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	92	6,32	100	6,32	98	5,55	106	5,55
14	Викрут мірної лінійки, (см)	20	-10	10	-8	20	-10	10	-8

У ході досліджень було визначено перелік видів спорту, для яких проводиться оцінювання, а також сформовано відповідні нормативи та вагові коефіцієнти морфофункціональних показників. Це дозволило створити основу для подальшого аналізу схильності дітей до різних спортивних дисциплін із урахуванням особливостей їх фізичного розвитку та функціонального стану організму. Водночас встановлено, що не всі види спорту можуть бути однаково коректно оцінені на основі обраного набору показників.

Як видно з таблиці 2.2, такі види спорту, як художня гімнастика, спортивна гімнастика, стрільба та шахи не мають визначених вагових коефіцієнтів. Це пояснюється специфікою відповідних спортивних дисциплін та особливостями критеріїв спортивного відбору. Зокрема, для занять художньою гімнастикою дітей зазвичай відбирають у значно молодшому віці – переважно у 3–4 роки, коли активно формуються гнучкість, пластичність та координаційні здібності. Оскільки цільовою аудиторією даного дослідження є діти віком 10–11 років, застосування запропонованої методики для оцінювання схильності до художньої гімнастики є недоцільним через вікові обмеження спортивного відбору. Успішність у шахах визначається насамперед рівнем логічного мислення, концентрації уваги, пам'яті, стратегічного планування та психологічної стійкості, а не антропометричними чи фізичними характеристиками.

Таблиця 2.2 – Види спорту та коефіцієнти схильності

1	2													
Вид спорту / Індикатор	Вагові коефіцієнти $V_{ij}$													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Баскетбол	0,3			0,15	0,05	0,2	0,15	0,05			0,1			
Бокс				0,1		0,2			0,3			0,15	0,25	
Вільна боротьба						0,1		0,25	0,3	0,2				0,15
Важка атлетика		0,5	-0,2		0,2				0,4	0,1				
Велоспорт	-0,2			0,45	0,4		-0,2				0,2		0,15	
Веслування		0,2	0,15					0,25	0,3					
Волейбол	0,1				0,25	0,15	0,1	0,15			0,05			
Гандбол		0,1		0,15	0,15	0,1		0,1	0,1		0,15			
Дзюдо		0,15		0,1	0,2			0,05	0,05	0,1	0,15	0,1	0,1	
Карате				0,15	0,05			0,15	0,25	0,2	0,15	0,15		
Кікбоксинг			0,15	0,05	0,05			0,1	0,2	0,1		0,2	0,15	

Продовження таблиці 2.2

1	2													
Легка атлетика (біг)	0,2			0,3	0,1		0,2				0,1		0,1	
	5				5						5			
Легка атлетика (стрибки)	0,2			0,2	0,2		0,2				0,1			
	5				5									
Легка атлетика (метання)		0,2	0,1			0,2		0,1	0,1					0,1
		5	5			5			5					
Панкраціон			0,1	0,0		0,1		0,1	0,2	0,0		0,2	0,0	
			5	5				5	5	5			5	
Пауерліфтинг	-		0,3	-		0,2		0,2	0,3					
	0,1		5	0,1		5		5	5					
Плавання	0,2	0,1	0,1	0,1			0,0	0,1		0,1				0,1
	5			5			5							5
Регбі			0,1		0,2	0,1	0,1		0,1		0,2			
			5		5				5		5			
Самооборона			0,2			0,1			0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	
						5					5	5	5	
Спортивна стрільба	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Теніс					0,2		0,1							
					5	0,2	5	0,1			0,3			
Настільний теніс					0,1						0,2			
					5	0,2		0,1			5	0,3		

Кінець таблиці 2.2

1	2												
Тхеквондо				0,1	0,1		0,1	0,25	0,1	0,15	0,2		
Фехтування			0,15	0,1	0,1				0,1	0,2	0,25	0,1	
Футзал				0,2	0,15			0,1	0,1	0,3	0,15		
Футбол	0,15			0,3	0,15			0,1	0,1	0,2			
Шахи		0,15	0,05		0,1								

Аналогічно, для спортивної стрільби використання визначених морфофункціональних показників не забезпечує об'єктивної оцінки схильності. У цих видах спорту ключову роль відіграють інші характеристики, зокрема психологічна стійкість, концентрація уваги, швидкість прийняття рішень, тактичне мислення, емоційний контроль та когнітивні здібності. Обрані фізичні та антропометричні параметри не мають визначального впливу на успішність у таких дисциплінах, тому формування вагових коефіцієнтів для них є некоректним.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що ефективність системи спортивної орієнтації значною мірою залежить від відповідності обраних показників специфіці конкретного виду спорту. Це свідчить про необхідність адаптації критеріїв оцінювання для різних спортивних напрямів та можливого розширення набору параметрів у майбутніх дослідженнях.

## 2.2 Статистичний аналіз кіберфізичної системи підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

### 2.2.1 Математична модель статистичної значущості показників

В основу дослідження покладено статистичну гіпотезу про те, що існують статистично значущі відмінності у морфофункціональних показниках осіб із різним рівнем схильності до обраного виду спорту.

Для перевірки статистичної гіпотези застосовується t-критерій, який використовується для порівняння середніх значень двох груп та визначення того, чи є ця різниця статистично значущою. За формулою визначено, чи є різниця між середніми значеннями двох груп значущо:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (2.3)$$

де  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  – середні значення вибірки для груп 1 і 2;

$s_1^2, s_2^2$  – дисперсії вибірки для груп 1 і 2;

$n_1, n_2$  – обсяг вибірки для груп 1 і 2.

У контексті даного дослідження  $\bar{X}_1$  та  $\bar{X}_2$  відповідають середнім значенням певного морфофункціонального показника для різних груп, тоді як дисперсії та обсяги вибірок характеризують варіативність і репрезентативність даних.

T-критерій використовується як інструмент для кількісної оцінки внеску кожного показника у формування індивідуальної схильності. На основі отриманих значень формується узагальнена оцінка, яка враховує сукупний вплив усіх показників. Визначається, чи мають відмінності між середніми значеннями показників випадковий характер, чи вони є статистично обґрунтованими та відображають реальні особливості фізичного розвитку представників різних спортивних напрямів. Чим більше значення статистики t, тим більш імовірно, що відмінність між вибірками не є випадковою, а має об'єктивний характер. Це, у свою чергу, свідчить про важливість відповідного показника у процесі класифікації.

Для практичної реалізації процесу обчислення індивідуальної схильності до виду спорту на основі морфофункціональних показників людини використовується алгоритм, наведений у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Алгоритм для обрахунку індивідуальних схильності до виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

№	Індикатор	Результат	Середнє значення	Рівень розвитку
1	Біг 30 метрів	***	***	***
2	Стрибок у довжину	***	***	***
.....				

Для обрахунку використовуються відомі середні значення і середньоквадратичні відхилення показників із врахуванням віку і статі. Рівень розвитку визначається відповідно до шкали на рисунку 2.2:

1. Низький рівень менше  $(-1,5 \sigma)$ .
2. Нижче середнього від  $[-1,5 \sigma)$  до  $(-0,5 \sigma)$ .
3. Середній рівень від  $[-0,5 \sigma)$  до  $(0,5 \sigma]$ .
4. Вище середнього від  $(0,5 \sigma)$  до  $(1,5 \sigma]$ .
5. Високий вище  $(1,5 \sigma)$ .

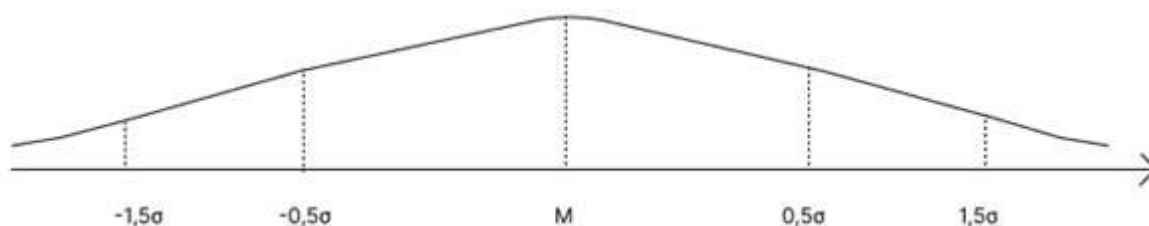


Рисунок 2.2 – Шкала розрахунку рівня розвитку учня для визначення схильності до певного виду спорту

### 2.2.2 Моделювання взаємозв'язків на основі кореляційного аналізу

Дослідження взаємозв'язків між окремими показників має важливу роль, адже деякі характеристики можуть бути взаємозалежними, що впливає на якість побудови моделі та може призводити до дублювання інформації. Для визначення кореляції між параметрами використовувалися методи Пірсона та Спірмена. Метод

Пірсона дозволяє оцінити лінійний зв'язок між змінними, тоді як Спірмена – монотонний зв'язок, що не обмежується лише лінійною залежністю. Порівняння цих двох підходів проводить більш комплексну оцінку завдяки можливості аналізу як лінійних, так і монотонних залежностей.

Коефіцієнт кореляції Пірсона визначає лінійну залежність між двома змінними та вираховується за формулою:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (2.4)$$

де  $X_i, Y_i$  –  $i$ -ті значення ряду  $X$  і  $Y$  відповідно;

$\bar{X}, \bar{Y}$  – середні значення  $X$  та  $Y$ ;

У формулі (2.4) чисельник відображає коваріацію між  $X$  та  $Y$ , а знаменник нормалізує значення за їхніми стандартними відхиленнями. Значення  $r$ , рівне 1, означає ідеальну позитивну кореляцію, 0 – відсутність кореляції, а -1 – ідеальну негативну кореляцію.

Кореляція Спірмена вимірює монотонну залежність між двома змінними шляхом ранжування даних перед розрахунком та обчислюється за формулою:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (2.5)$$

де  $d_i$  – різниця між рангами відповідних значень  $X_i$  та  $Y_i$ ;

$n$  – кількість точок даних.

Подібно до кореляції Пірсона, значення  $\rho$ , рівне 1, означає ідеальну монотонно зростаючу залежність, 0 – відсутність монотонної залежності, а -1 – ідеальну монотонно спадаючу залежність.

Використання обох підходів забезпечує більш глибоке розуміння структури даних та дозволяє виявити приховані закономірності. Отримані результати можуть

бути використані для відбору найбільш інформативних ознак, що, у свою чергу, сприяє підвищенню точності та ефективності моделі.

## 2.3 Інтелектуальна модель на основі ШІ

### 2.3.1 Класифікатор випадкового лісу

Незважаючи на ефективність статистичних методів, вони мають обмеження у випадках, коли залежності між змінними є складними або нелінійними. У той час як методи штучного інтелекту здатні автоматично виявляти приховані закономірності та забезпечувати високу точність прогнозування.

Метод випадкового лісу є одним із найбільш ефективних алгоритмів класифікації, що поєднує простоту реалізації та високу точність. Його перевага полягає у використанні множини дерев рішень, що дозволяє зменшити вплив випадкових помилок та підвищити узагальнюючу здатність моделі.

Ймовірність належності об'єкта до певного класу у моделі випадкового лісу визначається як усереднений результат прогнозів усіх дерев ансамблю. У формулі 2.6 описано математичний вираз обчислення ймовірності класифікації на основі агрегування результатів окремих дерев рішень. Такий підхід інтерпретує вихід моделі не лише як дискретне рішення, але і як оцінку ймовірності, що підвищує інформативність результатів.

$$P(y|x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(x), \quad (2.6)$$

де  $T$  — кількість дерев,

$h_t(x)$  — прогноз, сформований  $t$ -м деревом для об'єкта з ознаками  $x$ .

На початковому етапі здійснюється формування множини навчальних підвбірок із початкового набору даних із використанням методу бутстрепової агрегації. Суть цього методу полягає у випадковому відборі об'єктів із

поверненням, унаслідок чого кожна підвибірка частково відрізняється від інших, що забезпечує різноманітність навчальних даних для окремих дерев рішень.

Для кожної сформованої підвибірки будується окреме дерево рішень. При цьому важливою особливістю є те, що в процесі побудови дерева на кожному кроці розглядається не весь набір ознак, а лише випадково обрана їх підмножина. Це зменшує кореляцію між деревами, оскільки кожне з них приймає рішення на основі різних комбінацій параметрів та підвищити узагальнюючу здатність моделі. Вибір оптимального розбиття у вузлі здійснюється на основі критеріїв чистоти, таких як індекс Джині або ентропія, що дозволяє мінімізувати неоднорідність отриманих підмножин.

Кожне дерево рішень функціонує як окремий незалежний класифікатор, який формує власний прогноз на основі ієрархічної структури розбиттів. У процесі класифікації об'єкт послідовно проходить через вузли дерева від кореня до листа відповідно до значень своїх ознак, поки не досягає кінцевого вузла, де і формується остаточне рішення конкретного дерева. У кінцевому листку формується прогноз належності до певного класу, тобто визначається вид спорту, до якого об'єкт має найбільшу схильність.

На завершальному етапі результати всіх дерев агрегуються. У задачах класифікації, зокрема у задачі підбору виду спорту, використовується механізм голосування, за якого кожне дерево «віддає голос» за певний клас. Остаточне рішення визначається як клас, що отримав найбільшу кількість голосів. Водночас усереднення результатів дозволяє також отримати оцінку ймовірності належності до кожного класу, що є важливим для подальшої інтерпретації.

Застосування такого ансамблевого підходу містить ряд суттєвих переваг. По-перше, відбувається зменшення перенавчання моделі, оскільки помилки окремих дерев компенсуються за рахунок їх колективної роботи. По-друге, підвищується точність класифікації завдяки агрегуванню великої кількості незалежних рішень. По-третє, модель здатна враховувати складні нелінійні залежності між морфофункціональними показниками, що є характерним для задач аналізу фізичного стану людини.

Використання методу випадкового лісу в межах кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту ефективно поєднує прості базові моделі у потужний інструмент класифікації, що забезпечує високу точність, стійкість до шумів та можливість інтерпретації результатів та забезпечує ефективне вирішення задачі класифікації на основі багатовимірних даних та створює основу для формування обґрунтованих рекомендацій.

### 2.3.2 Оцінка важливості ознак

Важливим аспектом використання методів машинного навчання, зокрема алгоритму випадкового лісу, є забезпечення інтерпретованості отриманих результатів. У контексті розробки кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту це набуває особливого значення, оскільки користувач повинен розуміти, на основі яких саме морфофункціональних показників формується рекомендація.

З цією метою у моделі випадкового лісу застосовано механізм оцінки важливості ознак, що визначає внесок кожного параметра у процес прийняття рішення. Це є основою реалізації принципів відповідального штучного інтелекту, що передбачає прозорість, зрозумілість та обґрунтованість результатів.

Оцінка важливості ознак у випадковому лісі базується на аналізі зменшення неоднорідності, яке відбувається при розбитті даних у вузлах дерев рішень. Кожного разу, коли певна ознака використовується для поділу, обчислюється, наскільки вона зменшує невизначеність у даних. Сумарний внесок ознаки визначається як середнє значення такого зменшення по всіх деревах ансамблю відповідно до виразу:

$$FI_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{v \in \text{splits}(j)} \Delta I(v, t), \quad (2.7)$$

де  $F_j$  - важливість  $j$ -ї ознаки,  $T$  - кількість дерев у лісі, а  $\Delta I(v,t)$  — зменшення неоднорідності у вузлі  $v$  дерева  $t$ , де використовується відповідна ознака.

Таким чином, ознаки, які частіше використовуються для ефективного розділення даних та забезпечують значне зменшення неоднорідності, отримують вищі значення важливості. Це дозволяє ранжувати всі вхідні параметри за ступенем їх впливу на результат класифікації.

Практичне значення оцінки важливості ознак проявляється у декількох ключових аспектах (рис. 2.3). По-перше, це підвищення інтерпретованості моделі, оскільки користувач отримує можливість зрозуміти, які саме показники є визначальними для рекомендації певного виду спорту. По-друге, це покращення комунікації зі стейкхолдерами, зокрема тренерами, викладачами та батьками, які можуть обґрунтовано оцінити результати системи.

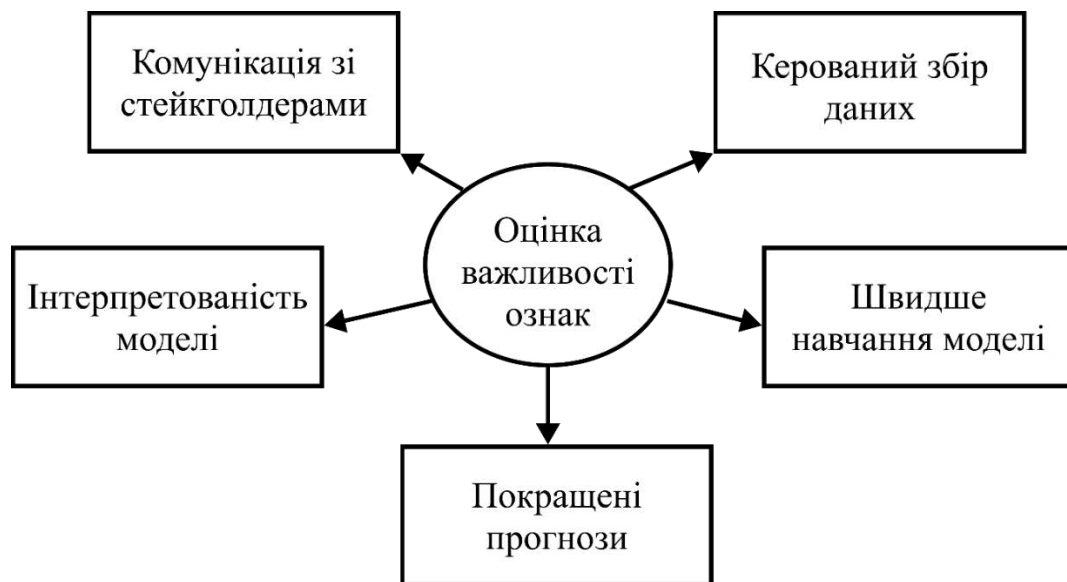


Рисунок 2.3 – Основні переваги оцінки важливості ознак

Крім того, аналіз важливості ознак сприяє оптимізації моделі, оскільки дозволяє виявити та виключити менш інформативні параметри, що, у свою чергу, може пришвидшити процес навчання моделі та зменшити обчислювальні витрати. Якість прогнозування покращується за рахунок концентрації на найбільш значущих характеристиках.

Ще одним важливим аспектом є підтримка процесу збору даних. Визначення ключових ознак зосереджує увагу на вимірюванні саме тих показників, які мають найбільший вплив на результат, що підвищує ефективність та доцільність проведення тестувань.

Оцінка важливості ознак у моделі випадкового лісу виконує не лише технічну функцію, але й забезпечує прозорість, інтерпретованість та довіру до системи. Це є необхідною умовою для впровадження підходів відповідального штучного інтелекту у задачах підтримки прийняття рішень, зокрема у сфері персоналізованого підбору виду спорту.

## 2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі здійснено математичне та статистичне моделювання морфофункціональних показників людини для реалізації кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту. Проведено формалізацію вхідного вектора ознак, який включає антропометричні, функціональні та координаційні показники, що комплексно характеризують фізичний стан людини. Сформовано багатовимірний простір ознак, у межах якого кожен користувач описується сукупністю морфофункціональних параметрів, що забезпечує можливість подальшого статистичного та інтелектуального аналізу.

У процесі дослідження обґрунтовано необхідність попередньої обробки та нормалізації даних, що дозволяє привести різномірні показники до уніфікованого вигляду та забезпечити коректність подальших обчислень. Для цього використано статистичне нормування на основі середніх значень та стандартних відхилень, сформованих за результатами експериментальних досліджень і нормативних даних. Запропонований підхід дозволяє усунути вплив різних масштабів вимірювання та підвищити об'єктивність оцінювання.

У межах статистичного моделювання застосовано t-критерій Стьюдента для оцінювання статистичної значущості окремих морфофункціональних показників. Використання даного критерію дозволило визначити ступінь впливу окремих

параметрів на формування схильності до певних видів спорту та забезпечило кількісну оцінку відмінностей між групами досліджуваних даних. На основі цього підходу сформовано алгоритм оцінювання рівня розвитку користувача відносно нормативних значень.

Також проведено кореляційний аналіз із використанням методів Пірсона та Спірмена, що дозволило дослідити взаємозв'язки між окремими морфофункціональними показниками. Метод Пірсона використано для виявлення лінійних залежностей між ознаками, тоді як метод Спірмена забезпечив аналіз монотонних залежностей між параметрами. Застосування обох підходів дозволило комплексно оцінити структуру даних, виявити взаємопов'язані показники та визначити найбільш інформативні ознаки для подальшої побудови моделі класифікації. Для реалізації інтелектуального аналізу даних у роботі використано ансамблевий алгоритм машинного навчання випадкового лісу. Обґрунтовано доцільність його застосування для задачі персоналізованого підбору виду спорту завдяки здатності враховувати складні нелінійні залежності між параметрами, стійкості до шумів та високій точності класифікації. Розглянуто принцип побудови ансамблю дерев рішень, механізм бутстреп агрегації та процедуру колективного голосування для формування кінцевого результату.

Окрему увагу приділено оцінці важливості ознак, що дозволяє визначити внесок кожного морфофункціонального показника у процес прийняття рішення. Застосування механізму оцінювання важливості ознак забезпечує прозорість роботи моделі, підвищує інтерпретованість результатів та дозволяє формувати більш обґрунтовані рекомендації щодо вибору виду спорту. Отже, у другому розділі сформовано математичну та статистичну основу функціонування кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту. Поєднання методів статистичного аналізу та алгоритмів машинного навчання створює підґрунтя для побудови ефективної інтелектуальної системи, здатної здійснювати комплексний аналіз морфофункціональних показників людини та формувати персоналізовані рекомендації з високим рівнем об'єктивності й точності.

### **3 МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ**

#### **3.1 Формалізована структура методу для персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини**

Для реалізації запропонованої у роботі кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини було сформовано комплексний підхід до організації її функціонування. Запропонований метод роботи системи охоплює послідовність взаємопов'язаних етапів, спрямованих на збір, аналіз, обробку та інтерпретацію даних, необхідних для формування обґрунтованих рекомендацій щодо спортивної орієнтації учнів (рис. 3.1). Представлений метод роботи цієї системи, який складається з наступних кроків:

Крок 1. Аналіз видів спорту, що культивуються в регіоні. На початковому етапі реалізації системи здійснюється аналіз видів спорту, які функціонують та активно розвиваються у відповідному регіоні. Необхідність даного етапу обумовлена тим, що рекомендації системи повинні враховувати реальні можливості подальшого залучення учнів до спортивної діяльності. У межах цього етапу формується інформаційна база даних, яка містить перелік усіх видів спорту, представлених у дитячо-юнацьких спортивних школах міста або області. Крім загальної інформації про спортивні секції, до бази вносяться відомості про тренерський склад, спортивну кваліфікацію тренерів, їх контактні дані, місце проведення тренувань, розклад занять, наявність спортивної інфраструктури та інші організаційні характеристики.

Формування такої бази даних надає інтеграцію аналітичної частини системи з практичними аспектами спортивної орієнтації, а також визначає схильність до певного виду спорту, та забезпечує користувача повною супровідною інформацією щодо можливості подальших занять.

Крок 2. Розробка інформативних показників для кожного виду спорту. Наступним етапом є формування системи інформативних показників, які характеризують вимоги різних видів спорту до фізичного розвитку людини. Для

цього використовуються наукові публікації, навчально-методичні матеріали, рекомендації фахівців у галузі фізичного виховання та навчальні програми дитячо-юнацьких спортивних шкіл.



Рисунок 3.1 – Загальне представлення покрокового методу організації роботи кіберфізичної системи для підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

На основі проведеного аналізу визначається перелік морфофункціональних характеристик, що найбільш повно відображають рівень придатності до конкретного виду спорту. До таких показників належать антропометричні

параметри, морфологічні особливості будови тіла, функціональні характеристики організму, результати тестів на розвиток фізичних якостей, показники координації, сили, швидкості, витривалості та гнучкості.

Особлива увага приділяється формуванню алгоритму оцінювання, який дозволяє визначити ступінь відповідності індивідуальних характеристик користувача вимогам певного виду спорту у відсотковому співвідношенні. Це забезпечує більш гнучку та інформативну інтерпретацію результатів у порівнянні з традиційними методами жорсткої класифікації.

Крок 3. Створення діагностичного комплексу з урахуванням специфіки видів спорту. На даному етапі здійснюється розробка діагностичного комплексу, який об'єднує набір тестів, необхідних для збору морфофункціональних показників користувача. Основною метою є створення уніфікованої системи тестування, яка забезпечить можливість проведення оцінювання для широкого спектра видів спорту.

Під час формування діагностичного комплексу враховуються такі критерії, як простота виконання тестів, доступність необхідного обладнання, інформативність результатів та можливість проведення тестування в умовах закладів загальної середньої освіти.

До складу комплексу включаються тести для оцінювання антропометричних характеристик, швидкісних, силових, координаційних та функціональних можливостей людини. Використання стандартизованого набору тестів дозволяє забезпечити порівнюваність отриманих результатів та підвищити об'єктивність оцінювання.

Крок 4. Розробка алгоритму визначення найбільш придатних видів спорту. Одним із ключових етапів реалізації системи є побудова алгоритму визначення видів спорту, які найбільше відповідають індивідуальним особливостям конкретного учня. Для цього здійснюється аналіз внеску кожного морфофункціонального показника у формування спортивної схильності.

З метою врахування специфіки різних видів спорту планується використання вагових коефіцієнтів, які характеризують значущість окремих критеріїв.

Визначення вагових коефіцієнтів здійснюється на основі експертного оцінювання із залученням тренерів, викладачів фізичного виховання та фахівців у галузі спорту.

На основі отриманих даних система формує інтегральну оцінку схильності користувача до кожного виду спорту. Результати подаються у відсотковому вигляді, що дозволяє відобразити ступінь відповідності індивідуальних характеристик вимогам різних спортивних дисциплін.

Крок 5. Інтеграція алгоритму в клієнт-серверну архітектуру. Для практичної реалізації функціональних можливостей системи передбачається створення програмного забезпечення. Кожен користувач отримує можливість створення власного профілю, у якому зберігаються результати тестувань, морфофункціональні показники та результати аналізу. На основі введених даних система автоматично виконує обробку інформації та формує рекомендації щодо найбільш придатних видів спорту. Крім основного результату, користувач отримує додаткову інформацію про спортивні секції, тренерів, місце проведення занять, графік тренувань та інші організаційні аспекти.

Крок 6. Проведення комплексного обстеження учнів. Наступним етапом є організація процесу тестування учнів закладів загальної середньої освіти. Проведення обстеження здійснюється під час уроків фізичної культури за погодженням із адміністрацією закладу освіти, батьками та самими учнями. Перед початком тестування учні проходять інструктаж та ознайомлюються з метою проведення дослідження. Після цього виконуються передбачені діагностичним комплексом тести, результати яких вносяться до інформаційної системи.

Отримані дані зберігаються та використовуються для подальшого аналізу. Після завершення обробки інформації система формує персоналізовані результати, які відображають рівень схильності учня до різних видів спорту.

Крок 7. Надання рекомендацій щодо спортивної орієнтації. Завершальним етапом функціонування системи є формування та надання рекомендацій щодо спортивної орієнтації. Важливою особливістю даного етапу є забезпечення

доступності та зрозумілості отриманої інформації для всіх учасників освітнього процесу.

Результати аналізу надаються не лише учню, але й батькам, учителям фізичної культури та тренерам дитячо-юнацьких спортивних шкіл. Це забезпечує комплексний підхід до прийняття рішень щодо подальшого спортивного розвитку дитини.

Інформація подається у зрозумілому форматі та містить рекомендації щодо найбільш придатних видів спорту, рівень відповідності у відсотковому співвідношенні, а також додаткові відомості про можливість подальших занять. Це сприяє підвищенню обґрунтованості спортивної орієнтації та створює умови для більш ефективного розвитку фізичного потенціалу учнів.

Для реалізації запропонованої в роботі інформаційної системи для підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини наведено деталізовану роботу алгоритму. У графічному представленні метод зображено на рисунку 3.2. Запропонований алгоритм визначення схильності до видів спорту ґрунтується на аналізі морфофункціональних показників людини та передбачає послідовне виконання ряду етапів, спрямованих на збір, нормалізацію, оцінювання та інтерпретацію вхідних даних. Основною метою алгоритму є формування обґрунтованої рекомендації щодо найбільш придатних видів спорту для конкретного учня з урахуванням його індивідуальних фізичних характеристик.

Алгоритм складається з п'яти основних кроків:

1. Внесення загальної інформації про учня. На початковому етапі до системи вноситься базова інформація про користувача, необхідна для подальшого аналізу результатів тестування та коректного вибору нормативних значень. Зокрема, вводяться такі дані, як прізвище та ім'я учня, стать, дата народження, клас, заклад освіти та інші ідентифікаційні параметри. Використання цих відомостей дозволяє системі автоматично визначити вікову та статеву категорію користувача, що є необхідним для подальшого вибору відповідних статистичних нормативів. Оскільки морфофункціональні показники істотно залежать від віку та статі,

врахування цих параметрів є важливою умовою забезпечення об'єктивності результатів оцінювання.

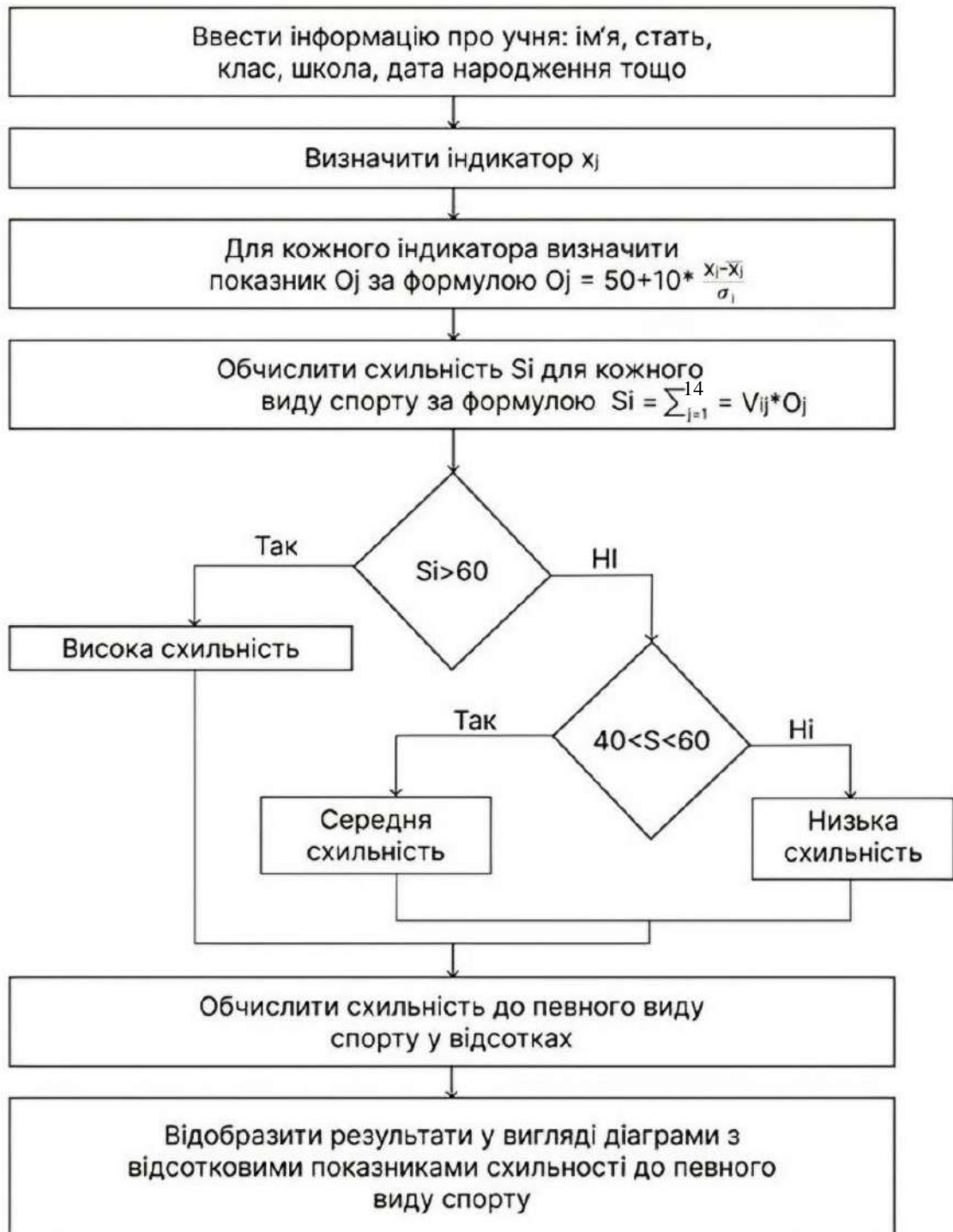


Рисунок 3.2 – Графічне представлення алгоритму роботи інформаційної системи для підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

2. Визначення морфофункціональних та рухових показників  $X_j$ . Наступним етапом є визначення сукупності показників, що характеризують морфофункціональні та рухові можливості учня. До таких показників належать антропометричні характеристики, результати фізичних тестів, функціональні проби та інші параметри, які дозволяють оцінити рівень фізичного розвитку. Кожен показник позначається як  $X_j$ , де,  $X_j$  — результат учня за окремим показником, а  $j$  — порядковий номер показника.

Передбачається використання 14 показників, які комплексно характеризують фізичний стан та рухові можливості дитини. Це формує багатовимірний опис користувача та враховує різні аспекти його фізичного розвитку.

3. Нормалізація та оцінювання показників. Оскільки різні показники мають різні одиниці вимірювання та діапазони значень, виникає необхідність їх приведення до уніфікованої шкали. З цією метою для кожного показника обчислюється стандартизована оцінка  $O_j$  за формулою:

$$O_j = 50 + 10 * \frac{X_j - \bar{X}_j}{\sigma_j}, \quad (3.1)$$

де  $X_j$  — індивідуальне значення показника;

$\bar{X}_j$  - середнє значення за кожним окремим показником;

$\sigma_j$  - середньквдратичне відхилення за кожним окремим показником.

Середні значення та стандартні відхилення визначаються на основі табличних нормативних даних відповідно до віку та статі учня. Передбачається використання окремих статистичних наборів для хлопців та дівчат віком 10 і 11 років, отже буде чотири групи чисел  $\bar{X}_j$  і  $\sigma_j$  по дві для юнаків і дівчат.

Відповідно до дати народження система автоматично обирає необхідний набір нормативів. Для дітей молодших 11 років використовуються статистичні характеристики для десятирічних учнів, тоді як для старше 11 років, враховуються середні значення показників і середньквдратичне відхилення для одинадцятирічних дітей.

У результаті виконання даного етапу формується набір стандартизованих оцінок для кожного окремого показника. Це дозволяє порівнювати результати між собою незалежно від їх фізичної природи та одиниць вимірювання

4. Розрахунок схильності до видів спорту. На наступному етапі виконується безпосереднє визначення схильності до окремих видів спорту. Для цього використовуються вагові коефіцієнти  $V_{ij}$ , які характеризують важливість кожного показника для конкретного виду спорту. На основі вагових коефіцієнтів  $V_{ij}$  здійснюється розрахунок схильності  $S_i$  – для кожного виду спорту за формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^{14} V_{ij} * O_j, \quad (3.2)$$

де  $V_{ij}$  – вагові коефіцієнти для кожного окремого виду спорту по кожному показнику;

$S_i$  – схильність до виду спорту;

$i$  –індекс кожного виду спорту.

Вагові коефіцієнти розраховано на основі експертної оцінки професіоналів-практиків. У даному випадку експертами є тренери з відповідних видів спорту. Під час експертної оцінки кожний тренер зі свого виду спорту із запропонованих показників обрав найбільш інформативні, які визначають схильність до даного виду спорту.

Окрім того, кожен важливий на думку експерта показник було оцінено по десятибальній шкалі по ступеню значимості для даного виду спорту. Максимальне значення 10 балів надається показникам, які мають вирішальне значення для спортивного відбору, тоді як мінімальні оцінки відповідають показникам із незначним впливом. Якщо певний показник не має значення для конкретного виду спорту, йому присвоюється значення 0.

Після завершення експертного оцінювання всі отримані бали, яким були оцінені показники для окремих видів спорту, нормалізуються у вагові коефіцієнти

таким чином, щоб сума вагових коефіцієнтів для кожного виду спорту дорівнювала одиниці. Це забезпечує коректність обчислень та можливість порівняння результатів між різними видами спорту. Тобто  $\sum V_j$  для кожного окремого виду спорту дорівнює 1. Таким чином здійснюється розрахунок схильності для усіх 27 видів спорту.

5. Формування та відображення результатів. У першій формі подаються результати за кожним окремим морфофункціональним показником із порівнянням індивідуальних значень із нормативними даними. Для кожного показника додатково визначається рівень розвитку відповідно до статистичної шкали оцінювання. Рівень розвитку визначається відповідно до шкали, де «Низький рівень» менше  $(-1,5 \sigma)$ ; «Нижче середнього» від  $[-1,5 \sigma)$  до  $(-0,5 \sigma)$ ; «Середній рівень» від  $[-0,5 \sigma)$  до  $(0,5 \sigma)$ ; «Вище середнього» від  $(0,5 \sigma)$  до  $(1,5 \sigma)$ ; «Високий» вище  $(1,5 \sigma)$ .

У другій формі відображаються результати оцінювання схильності до видів спорту. Усі спортивні дисципліни ранжуються відповідно до значення інтегрального показника  $S_i$ , починаючи від найбільшої схильності до найменшої. До групи «Висока схильність» відносяться види спорту в яких  $S_i$  виявилася більше – дорівнює 60. В межах від 40 до 60 розміщуються види спорту, які характеризуються як «Середня схильність». Відповідно, менше 40 характеризуватиме «Низьку схильність»

### 3.2 Алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних

Одним із ключових етапів функціонування кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту є попередня обробка та нормалізація морфофункціональних даних. Якість роботи інтелектуальної моделі безпосередньо залежить від коректності та структурованості вхідної інформації, тому перед подачею даних до алгоритмів машинного навчання необхідно виконати їх підготовку, очищення та стандартизацію.

У межах запропонованої кіберфізичної системи процес обробки даних реалізується як послідовність взаємопов'язаних етапів, спрямованих на перетворення первинних вимірювань у придатний для аналізу формат. Основним завданням даного етапу є забезпечення достовірності, узгодженості та інформативності морфофункціональних показників, які надалі використовуються для визначення схильності людини до певних видів спорту.

Першим етапом є збір первинних морфофункціональних даних. На цьому етапі система отримує інформацію про фізичний стан користувача у вигляді набору показників, що характеризують морфологічні, функціональні та рухові особливості організму. Отримані дані можуть надходити як із сенсорних пристроїв, так і вводитися вручну у відповідні форми системи. Усі зібрані параметри формують початковий масив даних, який надалі підлягає обробці.

Наступним етапом є перевірка коректності та цілісності інформації. Оскільки в процесі вимірювання можуть виникати випадкові похибки, пропущені значення або некоректні результати, система здійснює автоматичний контроль отриманих даних. На цьому етапі виявляються аномальні значення, дублікати, пропуски або показники, які виходять за межі допустимих фізіологічних норм. Такий підхід необхідний для того щоб мінімізувати вплив помилкових вимірювань на подальші результати аналізу.

Після перевірки даних виконується етап очищення та фільтрації. Основною метою даного процесу є усунення шумів та нестабільних значень, які можуть виникати внаслідок похибок вимірювань або зовнішніх факторів. У процесі фільтрації система усуває або коригує некоректні значення, забезпечуючи стабільність та узгодженість набору даних.

Важливим етапом є приведення показників до єдиного формату представлення. Морфофункціональні характеристики можуть мати різні одиниці вимірювання, масштаби та діапазони значень, що ускладнює їх безпосереднє використання в алгоритмах машинного навчання. З цією метою виконується нормалізація даних – процес перетворення показників у стандартизований вигляд.

Нормалізація необхідна для того щоб усунути дисбаланс між параметрами та забезпечити однаковий вплив різних показників на процес класифікації. У результаті значення показників приводяться до уніфікованої шкали, що забезпечує можливість коректного порівняння та подальшого математичного аналізу.

Після нормалізації система виконує статистичний аналіз даних. На даному етапі застосовуються методи математичної статистики, які оцінюють інформативність показників, встановлюють взаємозв'язки між ними та визначають їх вплив на спортивну класифікацію.

Для перевірки статистичної значущості відмінностей між окремими групами показників використовується t-критерій Стюдента. Даний метод дозволяє оцінити, наскільки суттєво відрізняються середні значення окремих параметрів у групах користувачів, що мають схильність до різних видів спорту. Застосування t-критерію допомагає визначати показники, які є статистично значущими для задачі спортивної орієнтації.

Також у процесі аналізу використовується кореляційний аналіз Пірсона, що оцінює лінійні взаємозв'язки між морфофункціональними показниками. Метод Пірсона застосовується для визначення сили та напрямку кореляції між параметрами, що виявляє показники, які змінюються узгоджено та можуть спільно впливати на результати класифікації.

Для аналізу нелінійних або монотонних залежностей використовується кореляція Спірмена. Даний метод є менш чутливим до аномальних значень та дозволяє оцінювати взаємозв'язки між показниками навіть у випадках, коли дані мають асиметричний розподіл або нелінійний характер залежностей. Використання кореляції Спірмена містить в собі більш комплексний аналіз структури морфофункціональних даних та виявляє приховані закономірності між параметрами.

Застосування статистичних методів у межах етапу попередньої обробки даних дозволяє не лише оцінити якість та структуру інформації, але й сформувати набір найбільш інформативних ознак для подальшого використання в інтелектуальній моделі.

Додатково виконується етап формування ознак для інтелектуального аналізу. Підготовлені морфофункціональні показники структуруються у вигляді набору параметрів, які використовуються моделлю машинного навчання для подальшої класифікації. На цьому етапі можуть формуватися як базові показники, так і похідні характеристики, отримані в результаті математичної або статистичної обробки.

Після завершення попередньої обробки дані передаються до інтелектуального модуля системи, побудованого на основі методів машинного навчання. У межах даної роботи для аналізу та визначення схильності до видів спорту використовується ансамблевий метод випадкового лісу, який враховує складні взаємозв'язки між морфофункціональними характеристиками користувача.

На основі оброблених та нормалізованих даних інтелектуальна модель формує ймовірнісну оцінку схильності користувача до різних видів спорту. Результати класифікації передаються до користувацького інтерфейсу системи, де відображаються у вигляді таблиць, діаграм або рейтингових списків.

Таким чином, алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних забезпечує підготовку якісної та структурованої інформації для подальшого інтелектуального аналізу. Реалізація даного етапу підвищує точність класифікації, зменшує вплив похибок вимірювання та забезпечує ефективне функціонування кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту.

### 3.3 Ансамблевий метод випадкового лісу для класифікації видів спорту

Одним із ключових компонентів інтелектуальної частини розробленої кіберфізичної системи є алгоритм машинного навчання випадкового лісу, який використовується для класифікації та визначення ймовірнісної схильності людини до різних видів спорту на основі її морфофункціональних характеристик.

Вибір саме ансамблевого методу випадкового лісу обумовлений необхідністю забезпечення високої точності класифікації, стійкості до шумів у

даних та можливості роботи з великою кількістю вхідних параметрів. У задачі персоналізованого підбору виду спорту це є особливо важливим, оскільки морфофункціональні показники людини характеризуються складними нелінійними взаємозв'язками та значною варіативністю.

У межах кіберфізичної системи на вхід моделі надходять попередньо нормалізовані морфофункціональні показники користувача, отримані в результаті роботи сенсорних пристроїв та серверної системи обробки даних. До таких параметрів можуть належати антропометричні характеристики, показники фізичної підготовленості, результати функціональних проб, індекси фізичного розвитку та інші характеристики, які описують фізичний стан людини.

Принцип функціонування алгоритму випадкового лісу базується на використанні ансамблю незалежних дерев рішень, кожне з яких формує власне рішення щодо належності користувача до певного класу. Загальна схема роботи моделі передбачає декілька послідовних етапів: бутстреп вибірку даних, побудову множини дерев рішень, отримання окремих прогнозів та їх подальшу агрегацію.

На першому етапі формується набір навчальних підвбірок із вихідного масиву даних за допомогою методу статистичний бутстреп. Даний підхід передбачає випадковий відбір об'єктів із поверненням, унаслідок чого кожне дерево навчається на дещо відмінному наборі даних. Це дозволяє забезпечити різноманітність моделей у складі ансамблю та зменшити ризик перенавчання.

Кожна бутстреп підвбірка використовується для побудови окремого дерева рішень. У процесі навчання дерева на кожному вузлі додатково виконується випадковий вибір підмножини ознак, серед яких визначається найбільш інформативна для подальшого розділення даних. Такий підхід забезпечує декореляцію дерев та підвищує узагальнюючу здатність моделі.

Кожне дерево рішень функціонує як окремий класифікатор. Під час проходження об'єкта через структуру дерева виконується послідовна перевірка значень морфофункціональних показників, у результаті чого формується локальний прогноз. На відміну від класичної схеми класифікації, у запропонованій системі результатом роботи окремого дерева є не лише визначення одного виду

спорту, а й оцінка ймовірності належності користувача до декількох спортивних категорій.

Таким чином, кожне дерево формує власний набір імовірностей для різних видів спорту. Наприклад, окреме дерево може визначити високу ймовірність схильності до плавання та середню – до легкої атлетики, тоді як інше дерево може формувати дещо інший розподіл імовірностей. Так враховується невизначеність та складність взаємозв'язків між вхідними параметрами.

Після отримання результатів від усіх дерев ансамблю виконується етап беггінгу, тобто агрегування прогнозів. На цьому етапі результати окремих моделей усереднюються, а остаточний результат формується у вигляді інтегрального ймовірнісного розподілу для всіх видів спорту.

### 3.4 Метод визначення важливості ознак для прийняття рішень

Важливим етапом функціонування розробленої кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту є аналіз значущості морфофункціональних показників, які використовуються інтелектуальною моделлю для формування рекомендацій. У сучасних системах штучного інтелекту недостатньо отримати лише результат класифікації – важливо також забезпечити можливість пояснення причин прийняття того чи іншого рішення. Саме тому у межах розробленої системи застосовується метод визначення важливості ознак, який дозволяє оцінити внесок кожного показника у процес класифікації.

Ґрунтуючись на розробленій моделі випадкового лісу, проведено оцінку важливості ознак, що використовуються для визначення схильності людини до певних видів спорту. Отримані результати дозволяють проаналізувати, які саме морфофункціональні характеристики мають найбільший вплив на формування підсумкових рекомендацій системи (рисунок 3.6). Можна спостерігати, що показники 6, 5, 9 та 11 мають більш значний вплив, ніж інші.

Аналіз значущості показників для прийняття рішення щодо схильності до того чи іншого виду спорту, проведений із використанням технологій штучного

інтелекту, дозволяє виявити приховані закономірності та точніше підібрати вид спорту відповідно до індивідуальних фізичних можливостей людини. На відміну від традиційних підходів, де оцінювання часто базується лише на суб'єктивній думці тренера або окремих нормативних показниках, застосування методів машинного навчання дає можливість комплексно враховувати взаємозв'язки між великою кількістю параметрів.

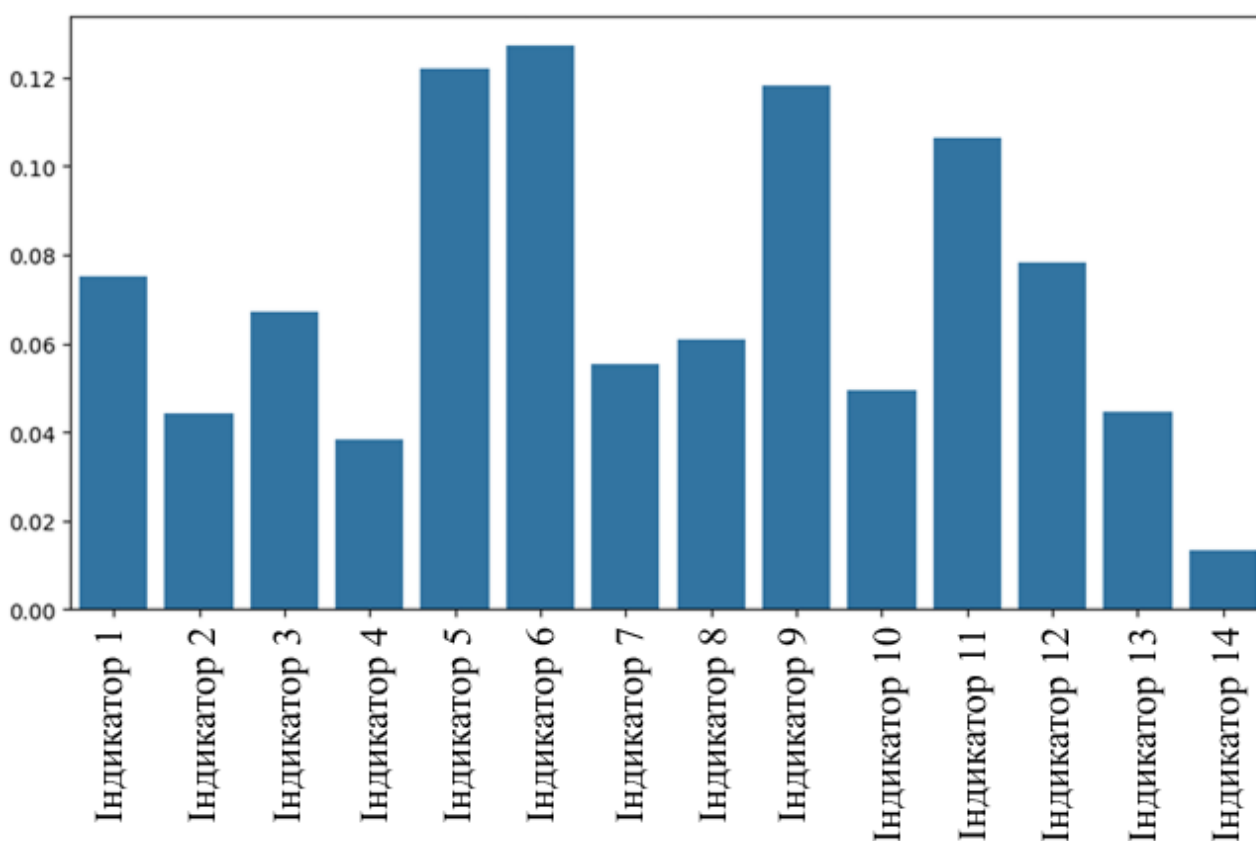


Рисунок 3.6 – Важливість ознак для визначення виду спорту на основі морфологічно-функціональних показників за допомогою класифікатора випадкового лісу

У контексті ансамблевого методу випадкового лісу важливість ознак визначається на основі аналізу внеску кожного параметра у зменшення неоднорідності під час побудови дерев рішень. Якщо певна ознака часто використовується у вузлах дерева та забезпечує якісне розділення даних, її значущість для моделі вважається вищою. Таким чином, модель автоматично

визначає, які показники є найбільш інформативними для класифікації. Наприклад, для окремих видів спорту найбільшу значущість можуть мати показники швидкісних можливостей, тоді як для інших — антропометричні характеристики, витривалість або функціональні параметри серцево-судинної системи.

Використання важливості ознак у межах кіберфізичної системи має декілька важливих переваг. Насамперед це підвищення інтерпретованості роботи моделі. Користувач, тренер або фахівець фізичного виховання отримує можливість зрозуміти, чому система рекомендує певний вид спорту та які саме характеристики найбільше вплинули на результат.

Крім того, оцінювання важливості ознак сприяє реалізації принципів відповідального штучного інтелекту. Прозорість алгоритмів та можливість пояснення прийнятих рішень є важливою умовою довіри до інтелектуальних систем, особливо у задачах, пов'язаних із підтримкою прийняття рішень щодо розвитку дитини та її фізичної активності.

Ще однією перевагою є можливість оптимізації самої моделі. Аналіз значущості параметрів виявляє маловажливі або надлишкові ознаки, які практично не впливають на результат класифікації. Це створює можливість скорочення кількості вхідних параметрів, зменшення обчислювальної складності системи та підвищення швидкодії алгоритму.

Водночас результати оцінювання важливості ознак можуть бути корисними і з практичної точки зору. Зокрема, тренери та фахівці краще розуміють, які саме фізичні характеристики є визначальними для певного виду спорту, а також формують більш ефективні підходи до спортивної орієнтації дітей.

Результати проведеного аналізу важливості ознак доцільно відобразити у графічному вигляді, наприклад у формі діаграми або рейтингу показників. Така візуалізація дозволяє наочно продемонструвати внесок кожного параметра у процес прийняття рішення та спрощує інтерпретацію результатів користувачами системи.

Таким чином, метод визначення важливості ознак є важливим компонентом інтелектуальної частини кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду

спорту. Його використання забезпечує не лише підвищення точності класифікації, але й прозорість, інтерпретованість та обґрунтованість рішень, сформованих із використанням технологій штучного інтелекту.

Аналіз значущості показників для прийняття рішення щодо схильності до того чи іншого виду спорту, проведений із використанням технологій штучного інтелекту, дозволяє виявити приховані закономірності та точніше підібрати вид спорту.

### 3.5 Комп'ютерне моделювання та експериментальна перевірка розробленого методу

Розглянемо результати роботи методу в таблиці 3.1 наведено наступні значення отримані за допомогою тесту т-критерію Стьюдента.

Таблиця 3.1 – Результати тесту т-критерія Стьюдента

1	2	3	4
№	Індикатор	t статистика	Значення p
1	Висота, (см)	11.21	$5.03 \cdot 10^{-11}$
2	Індекс маси тіла, вага (г)/зріст (см)	6.59	$8.19 \cdot 10^{-7}$
3	Індекс м'язової маси	14.06	$4.39 \cdot 10^{-13}$
4	Відношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	4.89	$5.52 \cdot 10^{-5}$
5	Біг 30 м, (с)	10.79	$1.1 \cdot 10^{-10}$
6	Стрибок у довжину, (см)	11.31	$4.23 \cdot 10^{-11}$
7	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	21.65	$2.93 \cdot 10^{-17}$
8	Присідання 60 с, (кількість)	12.59	$4.62 \cdot 10^{-12}$
9	Віджимання від підлоги, (кількість)	13.48	$1.09 \cdot 10^{-12}$
10	Нахил тулуба стоячи, (см)	19.19	$4.58 \cdot 10^{-16}$

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
11	Човниковий біг 4x9 м, (с)	15.95	$2.84 \cdot 10^{-14}$
12	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	26.05	$4.12 \cdot 10^{-19}$
13	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	16.88	$8.06 \cdot 10^{-15}$
14	Викрут мірної лінійки, (см)	80.00	$1.19 \cdot 10^{-30}$

Найменше значення  $p$  спостерігається для показника 14. Це свідчить про надзвичайно сильну різницю між групами. Показники 7 і 12 також мають дуже малі значення  $p$ , що вказує на чіткі відмінності між групами. Показник 14 має найвищу  $t$ -статистику (80,00). Показники 7, 10 та 12 також мають високі  $t$ -статистики. Показники 4 та 2 мають найнижчі  $t$ -статистики, але все одно демонструють значні відмінності. Таким чином, усі показники демонструють статистично значущі відмінності між двома групами. Матриця кореляції наведена на рисунку 3.7. На ній показано результати кореляційного аналізу за Пірсоном. Згідно з цим підходом, лінійні взаємозв'язки між показниками вимірюються в діапазоні від -1 до 1, де 1 означає повну позитивну кореляцію, 0 – відсутність кореляції, а -1 – повну негативну кореляцію.

Матриця кореляції Спірмена представлена на рисунку 3.8, використовується для оцінювання монотонних взаємозв'язків між показниками. На відміну від лінійної кореляції Пірсона, даний метод дозволяє виявляти залежності, які можуть мати нелінійний характер, але при цьому зберігати певну впорядкованість змін між змінними.

Результати дослідження показали, наявність сильних позитивних так і негативних взаємозв'язків між окремими морфофункціональними показниками. Зокрема, показники 7 та 14 демонструють сильну негативну кореляцію (-0,84), що свідчить про обернену залежність між ними: зі збільшенням одного показника

інший має тенденцію до зменшення. Показники 3 та 4 характеризуються сильною позитивною кореляцією (0,76), що вказує на їх узгоджену зміну.

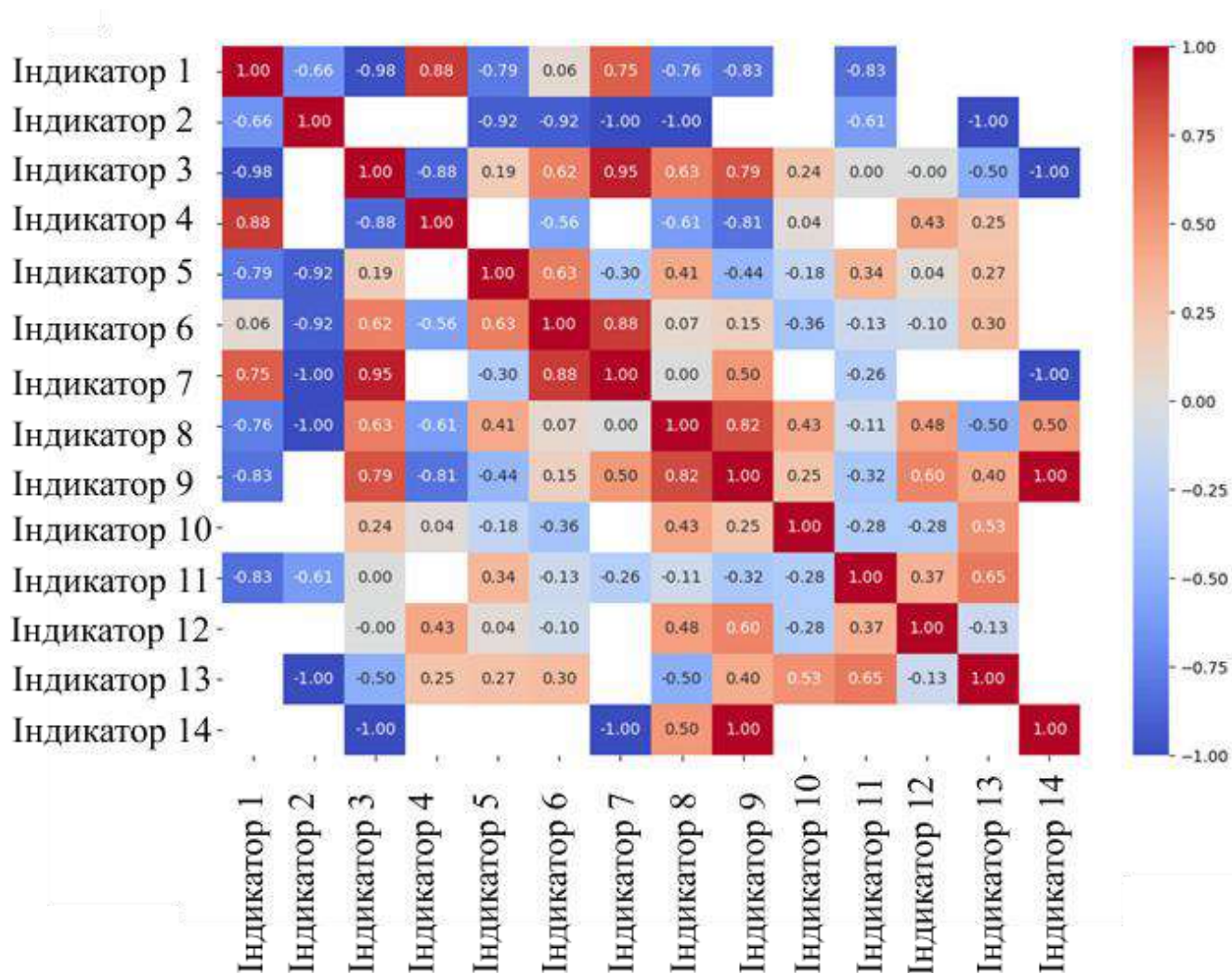


Рисунок 3.7 – Кореляційна матриця за Пірсона

Більшість інших взаємозв'язків мають слабкий або помірний характер, що є типовим для багатofакторних систем, у яких окремі параметри впливають на результат у різному ступені. Використання кореляції Спірмена дозволило отримати додаткове уявлення про структуру взаємозв'язків між досліджуваними показниками та виявити залежності, які могли бути менш помітними при застосуванні лише лінійних методів аналізу.

Проте між деякими показниками спостерігаються сильніші кореляції. Особливу увагу було приділено аналізу стовпця «Спорт», який відображає ступінь

впливу окремих показників на процес класифікації видів спорту. Встановлено, що показник 14 має високу кореляцію Спірмена зі змінною «Спорт» на рівні 0,87, що свідчить про його значний вплив на результати класифікації та визначення спортивної схильності.

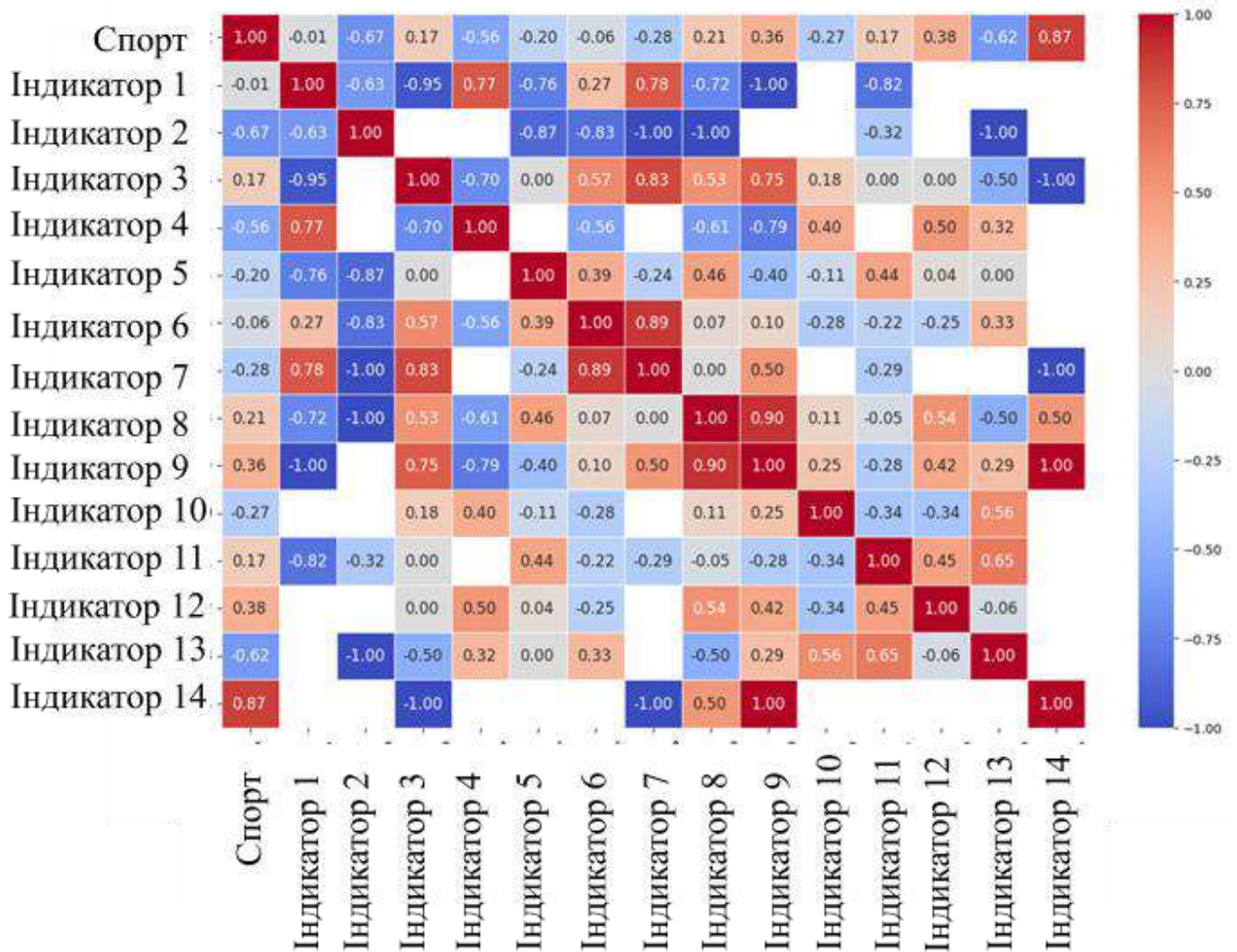


Рисунок 3.8 – Кореляційна матриця за Спірменом

Кореляція Пірсона забезпечує більш точне оцінювання у випадках наявності лінійних залежностей між змінними. Проте за наявності нелінійних тенденцій або аномальних значень більш надійні результати демонструє саме кореляція Спірмена, оскільки вона є менш чутливою до випадкових відхилень та особливостей розподілу даних.

Крім оцінювання взаємозв'язків між параметрами, кореляція Спірмена також дозволяє здійснювати ранжування показників за ступенем їх впливу на вибір виду спорту. Для більш глибокого аналізу значущості ознак додатково було застосовано метод класифікації випадкового лісу, який дозволив визначити найбільш інформативні морфофункціональні показники, що мають найбільший вплив на підбір найбільш відповідного виду спорту.

### 3.6 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено метод персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини в межах запропонованої кіберфізичної системи. Сформовано загальну структуру функціонування системи, яка охоплює етапи збору, обробки, аналізу та інтерпретації даних з подальшим формуванням рекомендацій щодо спортивної орієнтації учнів.

У процесі дослідження запропоновано формалізований алгоритм роботи системи, який включає визначення морфофункціональних характеристик користувача, нормалізацію показників, розрахунок інтегральних оцінок схильності до видів спорту та формування персоналізованих результатів. Для забезпечення об'єктивності оцінювання використано стандартизований підхід до обробки даних із врахуванням вікових та статевих нормативів.

Розроблено алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних, який забезпечує перевірку коректності інформації, усунення аномальних значень, фільтрацію шумів та приведення параметрів до уніфікованої шкали. Реалізація даного етапу дозволила підвищити якість вхідних даних та створити основу для подальшого інтелектуального аналізу.

У межах дослідження застосовано статистичні методи аналізу даних, зокрема t-критерій Стьюдента, кореляційний аналіз Пірсона та Спірмена. Отримані результати підтвердили наявність статистично значущих відмінностей між досліджуваними групами та дозволили виявити взаємозв'язки між окремими

морфофункціональними показниками. Встановлено, що окремі параметри мають суттєвий вплив на процес визначення спортивної схильності, що підтверджує доцільність їх використання у складі інтелектуальної моделі.

Для реалізації інтелектуального модуля системи використано ансамблевий метод випадкового лісу, який забезпечує високу точність класифікації та можливість роботи з багатовимірними даними. Застосування ансамблевого підходу дозволило врахувати складні нелінійні взаємозв'язки між морфофункціональними характеристиками людини та сформувати ймовірнісні оцінки схильності до різних видів спорту.

Додатково реалізовано метод визначення важливості ознак, який дозволяє оцінювати внесок окремих показників у процес прийняття рішення. Проведений аналіз важливості ознак показав, що найбільший вплив на результати класифікації мають окремі морфофункціональні показники, зокрема показники 5, 6, 9 та 11. Використання даного підходу підвищує інтерпретованість роботи системи та забезпечує прозорість прийняття рішень.

Проведене комп'ютерне моделювання та експериментальна перевірка підтвердили ефективність запропонованого методу. Отримані результати статистичного аналізу та роботи класифікатора випадкового лісу свідчать про можливість використання розробленої кіберфізичної системи для автоматизованого персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. Запропонований підхід створює передумови для підвищення ефективності спортивної орієнтації дітей та підтримки прийняття рішень у сфері фізичного виховання і спорту.

## 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1 Архітектура та стек технологій програмного забезпечення кіберфізичної системи

Структура запропонованої інформаційної системи персоналізованого підбору виду спорту побудована за принципом кіберфізичної системи та складається з чотирьох основних компонентів (рис. 4.1): апаратної підсистеми збору даних, серверної підсистеми обробки інформації, бази даних та клієнтської підсистеми у вигляді мобільного застосунку. Така архітектура забезпечує комплексний підхід до збору, аналізу, обробки та візуалізації морфофункціональних показників користувача з подальшим формуванням рекомендацій щодо найбільш придатних видів спорту.



Рисунок 4.1 Схема програмно-технічного засобу для автоматизованого вимірювання морфофункціональних показників людини

Апаратна частина системи призначена для автоматизованого збору морфофункціональних та фізіологічних показників людини. До складу апаратної підсистеми входять різноманітні сенсорні модулі та давачі, які дозволяють отримувати інформацію про фізичний стан користувача в режимі реального часу. Зокрема, система може використовувати давачі температури тіла, сенсори вимірювання частоти серцевих скорочень, акселерометри, гіроскопи, барометри, сенсори вібрації та вимірювання відстані.

Збір та первинна передача даних реалізується за допомогою мікроконтролера ESP32, який виступає центральним елементом апаратної частини системи. Використання ESP32 обумовлено наявністю вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, достатньою обчислювальною потужністю, а також підтримкою великої кількості периферійних інтерфейсів для підключення сенсорів. Контролер здійснює зчитування показників із підключених давачів, формує набір сирих даних та передає їх на серверну частину системи через бездротові канали зв'язку.

Важливим компонентом структури системи є база даних, у якій зберігається інформація про користувачів, результати вимірювань, характеристики видів спорту, вагові коефіцієнти показників та результати класифікації. Адміністратор системи має можливість завантажувати файли формату .xls або .csv з інформацією про види спорту, які культивуються у певному регіоні та орієнтовані на відповідну вікову категорію учнів. Крім того, після проведення тестувань адміністратор може завантажувати до системи файли з результатами вимірювань морфофункціональних показників для окремих учнів або груп користувачів.

Серверна частина системи виконує ключову роль у процесі аналізу та обробки даних. Саме на сервері здійснюється прийом інформації від апаратної підсистеми, її попередня обробка, нормалізація та підготовка до подальшого аналізу. На цьому етапі виконуються процедури очищення даних від шумів та аномальних значень, перевірка коректності отриманих результатів, а також статистичний аналіз показників.

Після завершення попередньої обробки нормалізовані дані передаються до інтелектуального модуля аналізу, побудованого на основі методів машинного

навчання. У запропонованій системі для класифікації та визначення схильності до різних видів спорту використовується ансамблевий алгоритм випадкового лісу. Даний алгоритм дозволяє аналізувати складні взаємозв'язки між морфофункціональними показниками та формувати ймовірнісні оцінки схильності користувача до різних спортивних дисциплін.

Модель випадкового лісу функціонує як сукупність незалежних дерев рішень, кожне з яких формує власний прогноз на основі вхідних даних. Після цього результати окремих дерев агрегуються, а система визначає інтегральну ймовірність належності користувача до кожного виду спорту. Використання технологій штучного інтелекту дозволяє підвищити точність класифікації, враховувати нелінійні залежності між показниками та забезпечити адаптивність системи до різних типів даних.

Після завершення роботи алгоритмів штучного інтелекту серверна частина формує структурований результат та передає його до клієнтської підсистеми через API-інтерфейс. Використання API забезпечує стандартизований механізм обміну даними між сервером та мобільним застосунком, а також реалізовує масштабовану архітектуру системи.

Клієнтську частину системи реалізовано у вигляді мобільного застосунку, оскільки основною цільовою аудиторією є учні закладів загальної середньої освіти. Використання мобільної платформи забезпечує зручність доступу до результатів аналізу та дозволяє користувачам взаємодіяти із системою у зрозумілому форматі. Інтерфейс мобільного застосунку розроблено з урахуванням принципів простоти, доступності та зручності використання для учнів шкільного віку, їхніх батьків та тренерів. Основною метою є забезпечення зрозумілої взаємодії користувача із системою персоналізованого підбору виду спорту та наочне представлення результатів аналізу морфофункціональних показників.

На рисунку 4.2 представлено інтерфейс мобільного застосунку кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

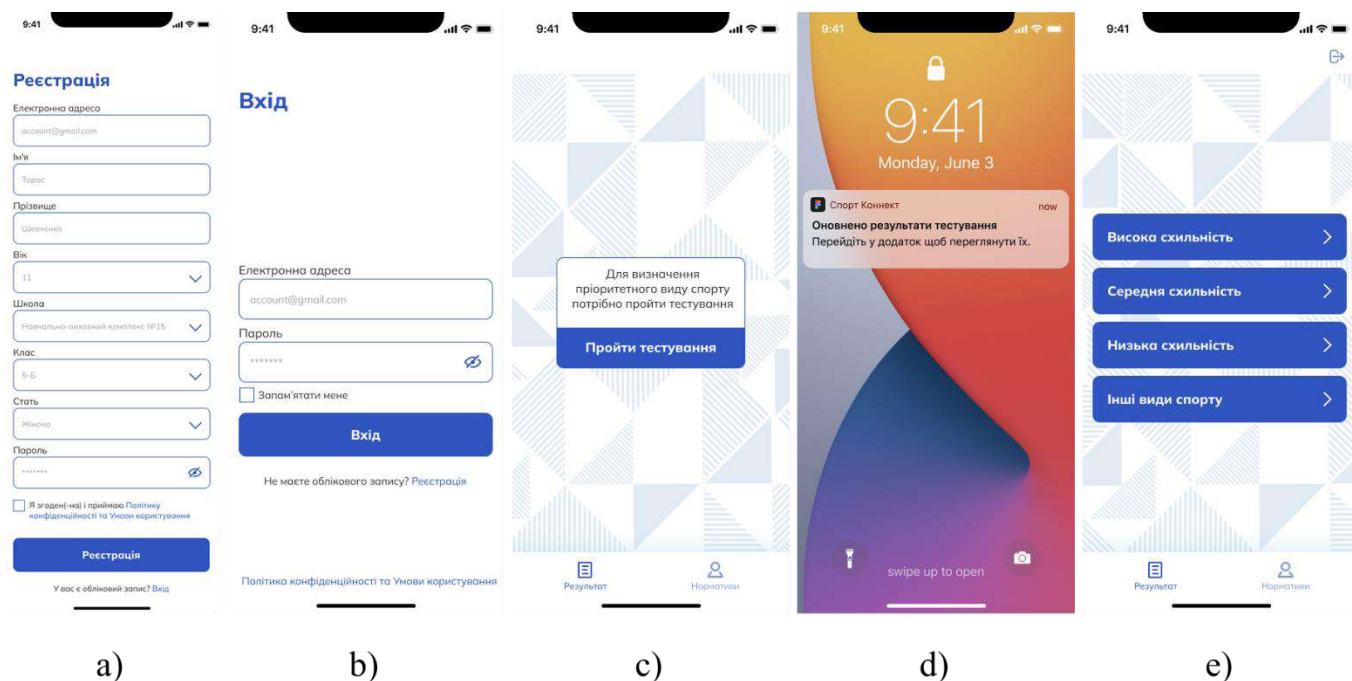


Рисунок 4.2 – Інтерфейс мобільного застосунку

Перший екран (рис. 4.2 (a)) реалізує функціонал реєстрації нового користувача в системі. Для створення облікового запису необхідно ввести електронну адресу, ім'я, прізвище, вік, школу, клас, стать та пароль. Значна частина полів реалізована у вигляді випадаючих списків, що спрощує введення інформації та мінімізує кількість помилок користувача. Також передбачено введення пароля для подальшої авторизації в системі, щоб забезпечити створення індивідуального профілю користувача, у якому зберігаються результати тестувань, морфофункціональні показники та історія проведених досліджень. Наприкінці реєстрації користувач підтверджує згоду з політикою конфіденційності та умовами користування застосунку. Персональний профіль необхідний для довготривалого моніторингу фізичного розвитку дитини та аналізу змін показників у динаміці.

На другому екрані (рис. 4.2 (b)) продемонстровано авторизацію користувача. Для входу до системи необхідно ввести електронну адресу та пароль. Додатково є функція приховування та відображення пароля, а також можливість запам'ятовування користувача для спрощення подальших входів до застосунку.

Третій екран (рис. 4.2 (c)) демонструє стартове інформаційне вікно після входу до системи. У центральній частині інтерфейсу розміщено повідомлення про

необхідність проходження тестування для визначення пріоритетного виду спорту. Кнопка «Пройти тестування» забезпечує перехід до функціонального модуля введення результатів морфофункціональних вимірювань та фізичних тестів. У нижній частині інтерфейсу реалізовано навігаційне меню, яке дозволяє переходити між основними розділами застосунку

Четвертий екран (рис. 4.2 (d)) демонструє приклад сповіщення системи. Після оновлення або обробки результатів тестування користувач отримує повідомлення про готовність нових результатів аналізу.

П'ятий екран (рис. 4.2 (e)) реалізує основний модуль перегляду результатів аналізу. Результати структуровано за категоріями рівня схильності: висока схильність, середня схильність, низька схильність та інші види спорту. Це спрощує інтерпретацію отриманих результатів та дозволяє користувачу швидко оцінити найбільш придатні спортивні дисципліни. Кожен блок виконує функцію окремого інформаційного модуля, у якому можуть відображатися детальні рекомендації, рівень відповідності та додаткова інформація щодо спортивних секцій.

У нижній частині інтерфейсу реалізовано навігаційне меню, яке забезпечує швидкий доступ до основних функцій системи, зокрема перегляду результатів тестувань, нормативних показників та профілю користувача. Використання єдиної структури навігації забезпечує логічність інтерфейсу та покращує користувацький досвід.

Представлений інтерфейс мобільного застосунку забезпечує зручну взаємодію користувача із системою, підтримує процес реєстрації, проходження тестувань, отримання персоналізованих рекомендацій та перегляду результатів аналізу морфофункціональних показників у зрозумілому та наочному форматі

Таким чином, запропонована структура інформаційної системи забезпечує інтеграцію апаратних засобів збору даних, серверних технологій обробки інформації, методів штучного інтелекту та мобільних технологій. Поєднання сенсорних пристроїв, серверного аналізу та алгоритмів випадкового лісу дозволяє реалізувати ефективну кіберфізичну систему для персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

## 4.2 Результати досліджень роботи моделей

Взаємозв'язки між видами спорту на основі важливих для них морфофункціональних показників представлено на рисунку 4.3 у вигляді теплової карти матриці суміжності. Використання теплової карти дозволяє наочно відобразити рівень подібності між різними видами спорту залежно від набору характеристик, які є визначальними для досягнення високих результатів у відповідній спортивній діяльності.

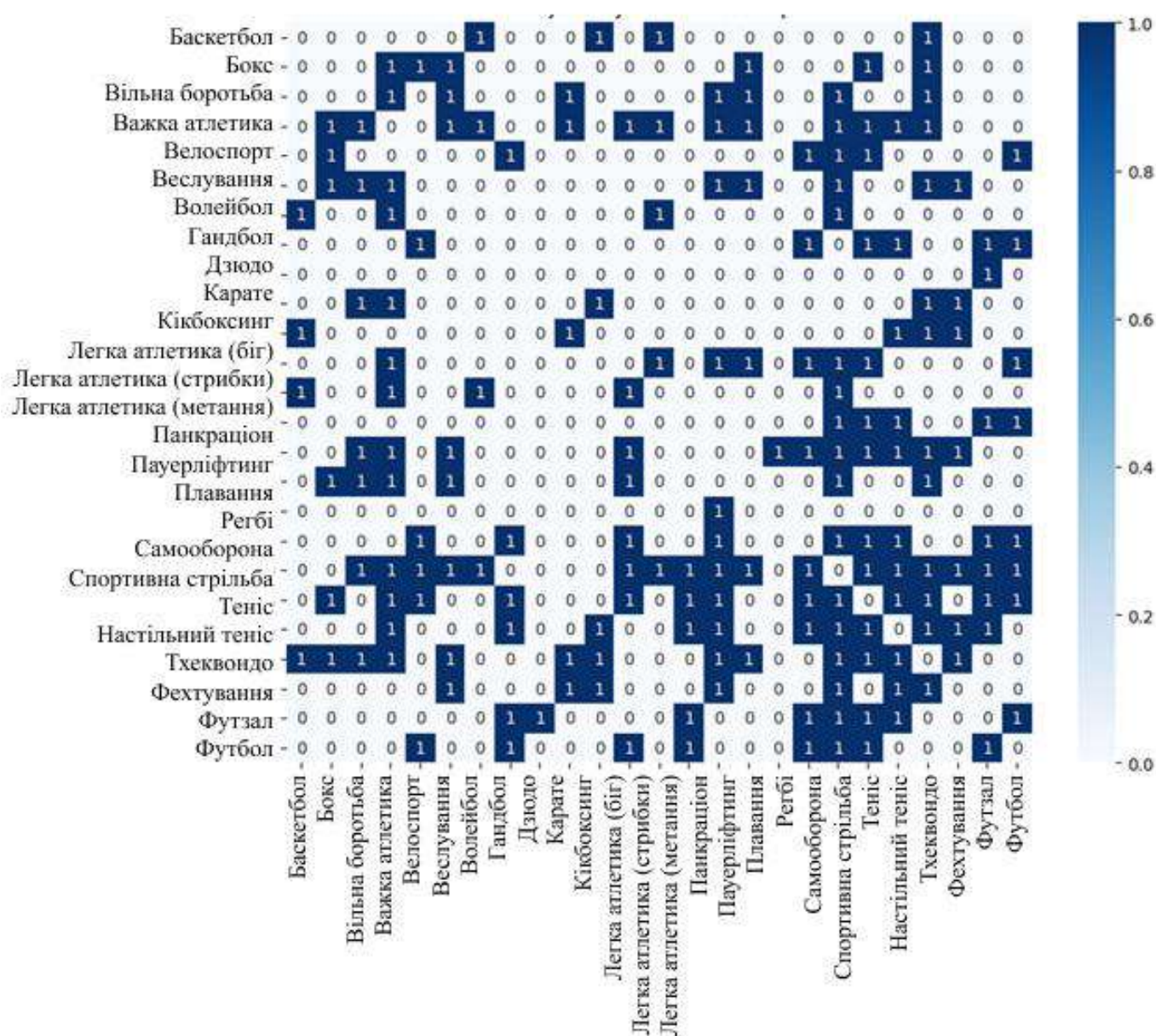


Рисунок 4.3 – Теплова карта матриці суміжності

Для формування матриці суміжності було застосовано підхід бінарної класифікації ознак. У межах даного підходу кожен морфофункціональний показник оцінювався з точки зору його значущості для певного виду спорту. Значення «1» присвоювалося у випадку, якщо відповідний показник вважався важливим або інформативним для конкретного виду спорту, тоді як значення «0» означало відсутність суттєвого впливу даного показника на спортивну класифікацію.

Такий спосіб представлення даних дозволив сформувати структуру взаємозв'язків між спортивними дисциплінами на основі спільних морфофункціональних характеристик. Якщо два види спорту мають подібний набір значущих показників, між ними спостерігається вищий рівень суміжності, що свідчить про схожість вимог до фізичного розвитку спортсменів.

Аналіз теплової карти матриці суміжності дозволяє виявити групи видів спорту, які характеризуються близькими фізичними вимогами. Наприклад, окремі циклічні або ігрові види спорту можуть мати спільні ключові характеристики, пов'язані зі швидкістю, витривалістю або координаційними здібностями. Водночас для інших спортивних дисциплін можуть бути характерні унікальні набори морфофункціональних показників.

Крім виявлення взаємозв'язків між видами спорту, побудова матриці суміжності дозволяє оцінити структуру даних перед застосуванням алгоритмів машинного навчання. Це є важливим етапом підготовки даних, оскільки дозволяє виявити приховані закономірності, зменшити надлишковість ознак та покращити якість подальшої класифікації.

Отримані результати стали основою для подальшого дослідження роботи моделей штучного інтелекту, зокрема ансамблевого методу випадкового лісу, який використовувався для визначення ймовірнісної схильності користувачів до різних видів спорту на основі їх морфофункціональних характеристик.

На рисунку 4.4 представлено бокс-плот морфологічнофункціональних показників, який використовується для візуального аналізу розподілу даних, оцінювання варіативності показників та виявлення аномальних значень. Даний тип

діаграми дозволяє комплексно оцінити статистичні характеристики вибірки та отримати узагальнене уявлення про структуру досліджуваних даних.

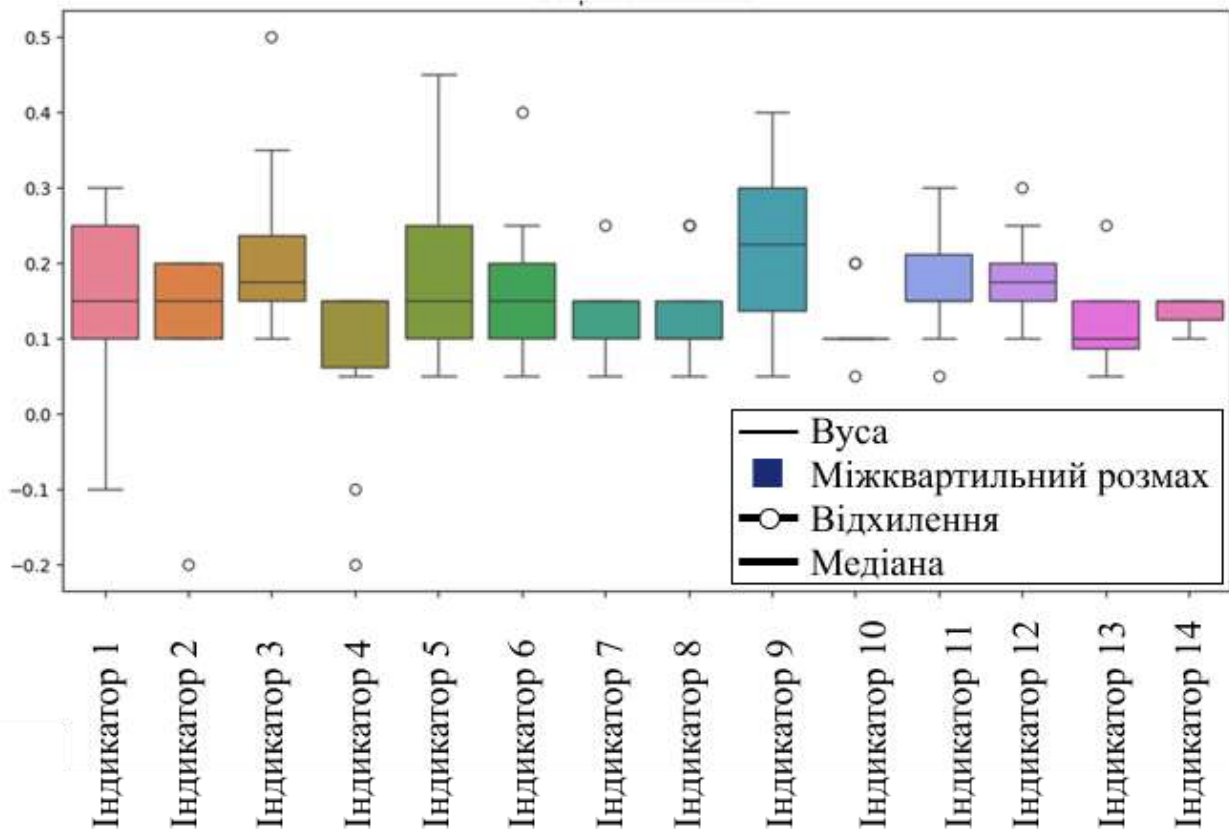


Рисунок 4.4 – Бокс-плот морфологічнофункціональних показників

Кожен прямокутник на бокс-плоті відображає міжквартильний розмах, тобто діапазон значень між першим та третім квартилями. Саме в межах цього інтервалу знаходиться основна частина спостережень для відповідного показника. Центральна лінія всередині прямокутника відповідає медіані та характеризує центральне значення розподілу даних.

Верхні та нижні вуса бокс-плоту демонструють діапазон значень більшості спостережень без урахування аномальних випадінь. Такий спосіб візуалізації дозволяє оцінити рівень розсіювання показників, а також визначити ступінь однорідності або мінливості досліджуваних параметрів.

На рисунку 4.5 додатково представлено гістограму морфофункціональних показників, яка дозволяє проаналізувати частотний розподіл значень для кожного

параметра. Вісь X відображає діапазон значень конкретного показника, тоді як вісь Y характеризує кількість спостережень, що потрапляють у відповідний інтервал. Це забезпечує можливість оцінювання форми розподілу даних, наявності концентрації значень у певних діапазонах та виявлення асиметрії розподілу.

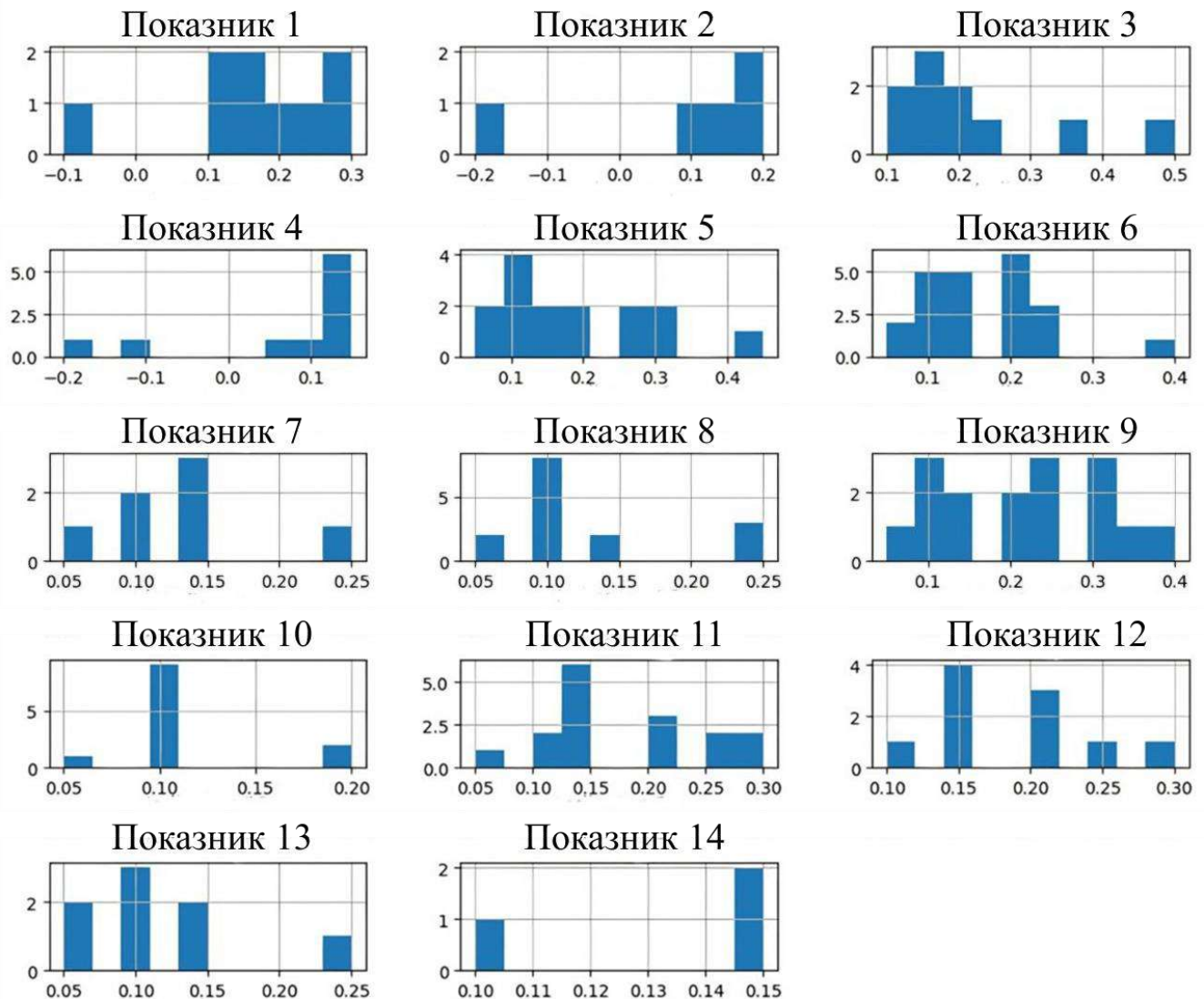


Рисунок 4.5 – Гістограма морфофункціональних показників

Однією з важливих особливостей бокс-плоту є можливість виявлення відхилень, тобто значень, які суттєво відрізняються від основної маси даних. Наявність таких значень може бути пов'язана як із природною варіативністю фізичних характеристик досліджуваних осіб, так і з похибками вимірювань або специфічними індивідуальними особливостями окремих учасників дослідження.

Проведений аналіз показав, що показники 6 та 9 характеризуються більшою кількістю випадінь у порівнянні з іншими параметрами. Це свідчить про підвищену неоднорідність значень для відповідних характеристик та наявність значних відхилень у частини досліджуваних об'єктів.

Крім того, окремі показники демонструють різний рівень варіативності. Показники, для яких характерні більші міжквартильні розмахи та довші вуса, зокрема показники 5, 6 та 9, мають вищу мінливість. Це означає, що значення таких параметрів суттєво відрізняються між різними учасниками вибірки.

Водночас показники з меншими прямокутниками, наприклад показник 10, характеризуються нижчим рівнем варіативності та більшою однорідністю даних. Це свідчить про те, що значення відповідного параметра є більш стабільними та послідовними серед досліджуваних осіб.

Аналіз розташування медіани всередині міжквартильного розмаху дозволяє оцінити асиметрію розподілу даних. У випадках, коли медіана зміщена ближче до нижньої межі прямокутника, спостерігається позитивний скіс розподілу, що вказує на наявність більшої кількості високих значень. Якщо ж медіана розташована ближче до верхньої частини прямокутника, це свідчить про негативний скіс та переважання нижчих значень.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що для окремих морфофункціональних показників характерна асиметричність розподілу. Це підтверджує, що досліджувані дані не завжди підпорядковуються нормальному розподілу та можуть містити нелінійні закономірності й індивідуальні відмінності між користувачами.

У результаті проведеного дослідження вдалося встановити взаємозалежності між різними видами спорту на основі морфофункціональних характеристик, які є найбільш значущими для конкретних спортивних дисциплін. Крім того, було виявлено кореляційні зв'язки між окремими морфофункціональними показниками, що дозволило більш комплексно проаналізувати критерії, на основі яких формується рекомендація щодо вибору виду спорту.

Проведений статистичний та інтелектуальний аналіз даних підтвердив висунуту гіпотезу про те, що різні види спорту характеризуються відмінними наборами ключових морфофункціональних параметрів. Це свідчить про доцільність використання методів машинного навчання та багатофакторного аналізу для задач персоналізованого спортивного відбору та орієнтації.

#### 4.3 Результат роботи кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

Результатом функціонування розробленої кіберфізичної системи є формування персоналізованих рекомендацій щодо найбільш придатних видів спорту на основі аналізу морфофункціональних показників користувача. У процесі роботи система здійснює збір, обробку та аналіз даних, після чого формує результати у зрозумілому для користувача вигляді.

Оскільки цільовою аудиторією запропонованої системи підтримки прийняття рішень є переважно діти шкільного віку та їхні батьки, особлива увага приділялася простоті та наочності представлення результатів. Інтерфейс системи розроблено таким чином, щоб користувач міг швидко отримати інформацію про власні морфофункціональні характеристики та схильність до різних видів спорту без необхідності спеціальної підготовки або знань у сфері спортивної аналітики (рис. 4.6).

Після проходження тестування та завантаження результатів вимірювань система автоматично здійснює аналіз морфофункціональних показників користувача за допомогою алгоритмів машинного навчання. На основі обчислених значень формується рейтинг видів спорту відповідно до рівня схильності людини.

Для спрощення інтерпретації отриманих результатів у системі реалізовано поділ спортивних дисциплін на три основні категорії: види спорту з високою схильністю; види спорту із середньою схильністю; види спорту з низькою схильністю.



Рисунок 4.6 – Зображення оцінки морфофункціональних показників користувача відносно нормативів

Приклад відображення видів спорту, до яких у дитини спостерігається висока схильність, наведено у таблиці 4.1. До цієї категорії належать спортивні дисципліни, для яких інтегральний показник схильності набуває найбільших значень. Такі результати свідчать про найбільшу відповідність морфофункціональних характеристик користувача вимогам відповідного виду спорту.

Таблиця 4.1 – Приклад видів спорту, які позиціонуються як такі, до яких у дитини виявляється висока схильність.

Вид спорту	$S_i$	Посилання на інформаційну сторінку про цей вид спорту
Волейбол	70	<a href="https://www.dush1.com/">https://www.dush1.com/</a>
Каякінг	63	<a href="https://www.facebook.com/sportschool2/?locale=ua">https://www.facebook.com/sportschool2/?locale=ua</a>

У таблиці 4.2 представлено приклади видів спорту із середнім рівнем схильності. Дана категорія включає спортивні дисципліни, для яких користувач має достатній рівень фізичних передумов, однак окремі показники можуть потребувати подальшого розвитку.

Таблиця 4.2 – Приклад видів спорту, які позиціонуються як такі, до яких у дитини виявляється середня схильність

Вид спорту	$S_i$	Посилання на інформаційну сторінку про цей вид спорту
Баскетбол	50	<a href="https://www.dush1.com/">https://www.dush1.com/</a>
Фехтування	43	<a href="https://www.facebook.com/dyussh3">https://www.facebook.com/dyussh3</a>

Таблиця 4.3 демонструє види спорту з низьким рівнем схильності. У цьому випадку морфофункціональні характеристики користувача меншою мірою відповідають вимогам відповідних спортивних дисциплін, що може впливати на ефективність подальшої спортивної спеціалізації.

Таблиця 4.3 – Приклад видів спорту, які позиціонуються як такі, до яких у дитини виявляється низька схильність.

Вид спорту	$S_i$	Посилання на інформаційну сторінку про цей вид спорту
Теніс	35	<a href="https://www.facebook.com/dyussh3">https://www.facebook.com/dyussh3</a>
Регбі	27	<a href="https://www.dush1.com/">https://www.dush1.com/</a>

Нижче користувач може знайти інформацію про інші види спорту, які не включені до системи визначення схильності. Наприклад, шахи, спортивна гімнастика, художня гімнастика.

Для підвищення наочності результатів у мобільному застосунку реалізовано графічне відображення трьох видів спорту з найвищим рівнем схильності. На рисунку 4.7 представлено приклад діаграми, у якій відображаються відсоткові значення схильності користувача до найбільш рекомендованих спортивних дисциплін. Цей спосіб візуалізації дозволяє швидко оцінити співвідношення між

різними видами спорту та зробити результати більш зрозумілими для дітей та батьків.

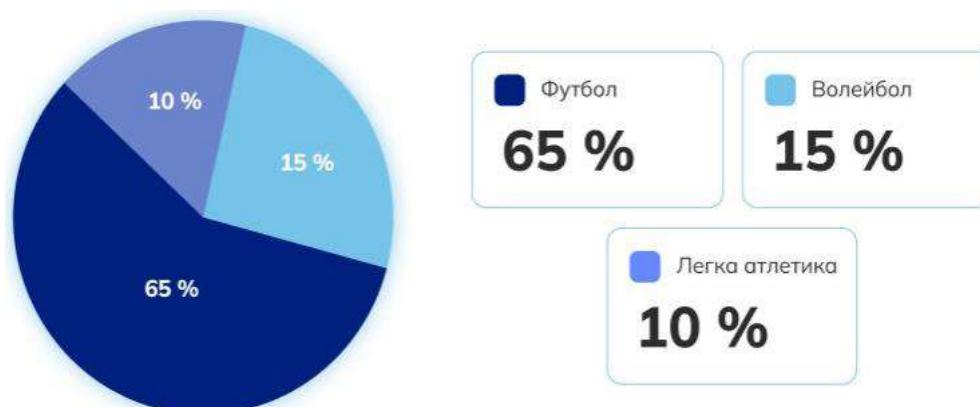


Рисунок 4.7 – Відображення схильності видів спорту у вигляді діаграми

Окрему увагу приділено відображенню результатів морфофункціональних вимірювань. У профілі користувача доступна таблична форма представлення даних, яка містить дату проведення вимірювання, назву показника та його числове значення. Приклад такого відображення наведено на рисунку 4.8. Це дозволяє користувачам відстежувати зміни власних показників у динаміці та аналізувати результати повторних тестувань.

Дата	13.11.2021
Підтягування	11 разів
Біг 100 м	14,7 с
Віджимання	10 разів
Крос 1000 м	3,1 хв., с
Крос 2000м	5,54 хв., с

Рисунок 4.8 – Таблична форма результатів тестів вимірювання за показниками

Крім основних результатів класифікації, система також надає користувачу можливість ознайомитися з інформацією про інші види спорту, які не входять до основного алгоритму визначення схильності (рис. 4.9). Користувач може переглядати додаткову інформацію про шахи, спортивну гімнастику, художню гімнастику та інші спортивні напрямки, для яких не здійснюється автоматичне прогнозування.

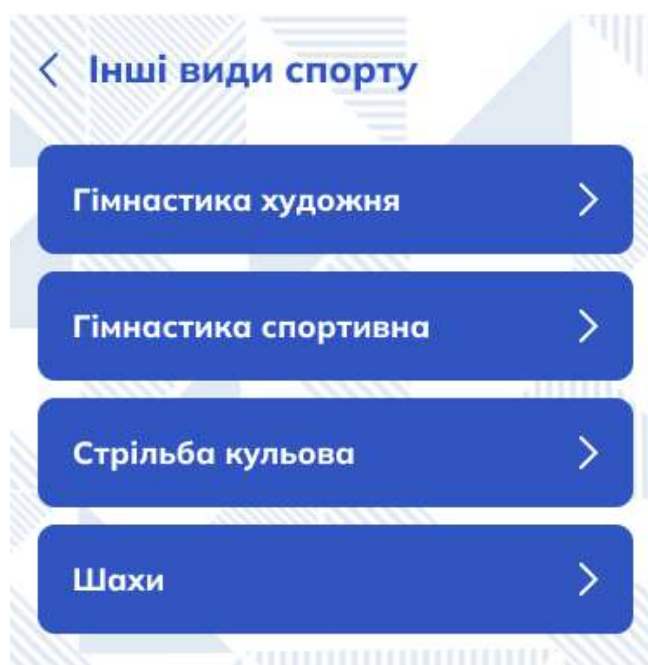


Рисунок 4.9 – Вікно застосунку для перегляду інформації про види спорту, які не потребують нормативів

Основою для подальших обчислень є морфологічно-функціональні показники дитини  $X_j$ , представлені разом із типовими нормативними значеннями. Для визначення рівня схильності до окремих видів спорту використовуються вагові коефіцієнти  $V_{ij}$ , сформовані на основі експертного оцінювання значущості окремих параметрів.

На основі коефіцієнтів ваги  $V_{ij}$ , наведених у таблиці 2.2, та морфофункціональних показників  $X_j$ , представлених у таблиці 2.1, було сформовано таблицю попередньо підготовлених результатів вимірювань

морфофункціональних характеристик дитини (таблиця 4.4). У даній таблиці відображаються стандартизовані значення показників, які використовуються системою для подальших розрахунків.

Таблиця 4.4 – Показники вимірювання ( $X_j$ ) морфологічних та функціональних характеристик дитини з типовими значеннями

№	Показник вимірювання	Значення
1	Зріст, (см)	170
2	Вага, (г)	84000
3	Периметр напруженого плеча, (см)	35
4	Периметр розслабленого плеча, (см)	32
5	Співвідношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	175
6	Біг 30 м, (с)	4,5
7	Стрибок у довжину, (см)	230
8	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	6,3
9	Присідання 60 с, (кількість)	55
10	Віджимання від підлоги, (кількість)	23
11	Нахил тулуба стоячи, (см)	12
12	Човниковий біг 4x9 м, (с)	8,5
13	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	25
14	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	76
15	Ширина плеч, (см)	35
16	Викрут мірної лінійки, (см)	40

Таблиця 4.4 містить підготовлені дані, що є основою для визначення інтегрального показника схильності до кожного виду спорту. На наступному етапі система виконує обчислення значень схильності шляхом множення стандартизованих показників на відповідні вагові коефіцієнти та подальшого агрегування результатів.

Результати розрахунків для кожного виду спорту наведено у таблиці 4.5. У ній відображаються підсумкові значення схильності користувача до окремих спортивних дисциплін, сформовані на основі аналізу його морфофункціональних характеристик та роботи алгоритму випадкового лісу.

Таблиця 4.5 – Готові показники вимірювання для розрахунку схильності дитини до кожного виду спорту

№	Показник вимірювання	Значення
1	Зріст, (см)	170
2	Індекс маси тіла, вага (г)/зріст (см)	494,1176471
3	Індекс м'язової маси	9,375
4	Співвідношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	5
5	Біг 30 м, (с)	4,5
6	Стрибок у довжину, (см)	230
7	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	6,3
8	Присідання 60 с, (кількість)	55
9	Віджимання від підлоги, (кількість)	23
10	Нахил тулуба стоячи, (см)	12
11	Човниковий біг 4x9 м, (с)	8,5
12	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	25
13	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	76
14	Викрут мірної лінійки, (см)	5

Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволило автоматизувати процес спортивної орієнтації та забезпечити формування персоналізованих рекомендацій на основі комплексного аналізу великої кількості параметрів. Отримані результати підтвердили можливість використання кіберфізичної системи як інструменту підтримки прийняття рішень у сфері спортивного відбору та орієнтації дітей.

Таким чином, результати роботи розробленої системи демонструють ефективність інтеграції сенсорних технологій, серверної обробки даних, мобільних платформ та методів машинного навчання для задач персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

#### 4.4 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було представлено програмну реалізацію та результати експериментальних досліджень кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. Розроблена система поєднує апаратні засоби збору даних, серверні технології обробки інформації, базу даних, алгоритми машинного навчання та мобільний застосунок, що забезпечує комплексний підхід до спортивної орієнтації користувачів.

У ході дослідження було сформовано архітектуру програмного забезпечення системи, яка базується на принципах кіберфізичних систем. Для збору даних використано мікроконтролер ESP32 та набір сенсорних модулів, що дозволяють здійснювати автоматизоване вимірювання морфофункціональних характеристик людини в режимі реального часу. Серверна частина системи реалізує прийом, попередню обробку, нормалізацію та аналіз отриманих даних, а також забезпечує взаємодію між апаратною та клієнтською підсистемами через API-інтерфейс.

У роботі було досліджено особливості функціонування моделей машинного навчання для задачі визначення спортивної схильності. Проведений аналіз теплової карти матриці суміжності дозволив виявити взаємозв'язки між різними видами спорту на основі спільних морфофункціональних характеристик. Отримані результати підтвердили наявність груп спортивних дисциплін із подібними вимогами до фізичного розвитку спортсменів.

За допомогою бокс-плотів та гістограм було виконано статистичний аналіз морфофункціональних показників. Дослідження дозволило оцінити варіативність даних, виявити аномальні значення та встановити асиметричність розподілу окремих параметрів. Аналіз показав, що деякі характеристики мають підвищену

мінливість та нелінійні закономірності, що підтверджує доцільність використання методів машинного навчання для їх інтерпретації.

Для реалізації інтелектуального аналізу даних у системі використано ансамблевий алгоритм випадкового лісу, який забезпечує визначення ймовірнісної схильності користувача до різних видів спорту. Використання даного алгоритму дозволило враховувати складні взаємозв'язки між показниками та формувати персоналізовані рекомендації на основі комплексного аналізу морфофункціональних характеристик.

Результати роботи системи продемонстрували можливість автоматизованого формування рейтингу спортивних дисциплін із поділом на категорії високої, середньої та низької схильності. Реалізований мобільний застосунок забезпечує зручне представлення результатів у вигляді таблиць, графіків та рейтингових списків, що підвищує зрозумілість та доступність інформації для дітей та їхніх батьків.

Отримані результати підтвердили ефективність інтеграції сенсорних технологій, серверної обробки даних, мобільних платформ та алгоритмів штучного інтелекту для задач спортивної орієнтації. Розроблена кіберфізична система може бути використана як інструмент підтримки прийняття рішень у сфері спортивного відбору та персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено кіберфізичну систему персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. Також набули подальшого розвитку підходи до інтелектуального аналізу морфофункціональних характеристик із використанням методів машинного навчання для задач спортивної орієнтації.

Поставлену мету досягнуто шляхом розв'язання таких основних завдань:

- проаналізовано сучасний стан методів спортивного відбору, інформаційних систем підтримки прийняття рішень та підходів до використання технологій машинного навчання у сфері спортивної орієнтації;

- досліджено морфофункціональні показники людини та визначено найбільш значущі параметри для оцінювання схильності до різних видів спорту;

- розроблено структуру кіберфізичної системи, яка поєднує апаратні засоби збору даних, серверну підсистему обробки інформації, базу даних та мобільний застосунок;

- реалізовано програмне забезпечення системи із застосуванням алгоритмів машинного навчання для аналізу морфофункціональних характеристик та формування персоналізованих рекомендацій;

- проведено експериментальні дослідження роботи моделей штучного інтелекту та статистичний аналіз даних для оцінювання ефективності функціонування системи.

У результаті проведених досліджень було встановлено взаємозв'язки між видами спорту на основі ключових морфофункціональних характеристик. Проведений аналіз теплової карти матриці суміжності дозволив виявити групи спортивних дисциплін із подібними фізичними вимогами, а використання бокс-плотів та гістограм дало змогу оцінити варіативність, асиметрію та наявність аномальних значень у досліджуваних даних.

Удосконалено архітектуру програмного забезпечення кіберфізичної системи шляхом інтеграції сенсорних модулів, серверної обробки даних та мобільної

платформи для відображення результатів користувачам. Використання мікроконтролера ESP32 та API-інтерфейсів забезпечило можливість автоматизованого збору, передачі та обробки морфофункціональних показників у режимі реального часу.

Експериментально підтверджено ефективність використання ансамблевого алгоритму випадкового лісу для визначення ймовірнісної схильності користувачів до різних видів спорту. Реалізований підхід дозволив автоматизувати процес спортивної орієнтації, враховувати складні взаємозв'язки між показниками та формувати персоналізовані рекомендації у вигляді рейтингу спортивних дисциплін.

Впровадження результатів роботи дозволило створити ефективну кіберфізичну систему підтримки прийняття рішень у сфері спортивного відбору та орієнтації дітей. Розроблена система забезпечує комплексний аналіз морфофункціональних характеристик, зручне представлення результатів у мобільному застосунку та може бути використана для підвищення обґрунтованості вибору виду спорту відповідно до індивідуальних особливостей людини.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Arafsha F., Laamarti F., El Saddik. A. Cyber-Physical System Framework for Measurement and Analysis of Physical Activities. *Electronics*. 2019. Vol. 8. Pp. 248. <https://doi.org/10.3390/electronics8020248> .
2. Zhou H., Daud D. M. B. A. Ensuring athlete physical fitness using Cyber-Physical Systems (CPS) in training environments. *Technology and health care: official journal of the European Society for Engineering and Medicine*. 2024. Vol. 32(4). Pp. 2599–2618. <https://doi.org/10.3233/THC-231435> .
3. Cunha P., Barbosa P., Ferreira F., Silva T., Martins N., Soares F., Carvalho V. Cyber-Physical System for Evaluation of Taekwondo Athletes: An Initial Project Description. *Machines*. 2023. Vol. 11. P. 234. <https://doi.org/10.3390/machines11020234> .
4. How Wearable Technology is Transforming Healthcare. Adriss. URL: <https://www.adriss.com/blog/how-wearable-technology-is-transforming-healthcareJayavardhana> (Доступ: 18.03.2026).
5. Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. 2013. Vol. 29. Pp. 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
6. Kaewkannate K., Kim S. A comparison of wearable fitness devices. *BMC Public Health*. 2016. Vol. 16. P. 433. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3059-0> .
7. Khan N., Deshpande N., Singh P. et al. A review of AI-based health prediction using apple watch and fitbit data. *Discov Appl Sci*. 2025. Vol. 7. P. 1217. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07783-8> .
8. Secunda. URL: <https://secunda.com.ua/ua/articles/chym-vidriznyayetsya-smartgodynnyk-vid-fitness-brasletu/11178/> (Доступ: 18.03.2026).
9. Fitness apps 21 different types of user data, study finds. NewsWire. URL:<https://www.news.com.au/technology/fitness-apps-sucking-up-21-different-types->

[of-user-data-study-finds/news-story/aaed2d7eee252536c90369aa917fd156](https://www.heiaheia.com/) (Доступ: 18.03.2026).

10. Heia-Heia social wellness service. Heiaheia. URL: <https://www.heiaheia.com/> (Доступ: 18.03.2026).

11. Mengru Sun, Li Crystal Jiang. Linking social features of fitness apps with physical activity among Chinese users: Evidence from self-reported and self-tracked behavioral data. *Information Processing & Management*. 2022 Vol. 59. Issue 6. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103096> .

12. Jacob E. Barkley, Andrew Lepp, Antonio Santo, Ellen Glickman, Bryan Dowdell. The relationship between fitness app use and physical activity behavior is mediated by exercise identity. *Computers in Human Behavior*. 2020. Vol. 108. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106313> .

13. J. Miah, M. Mamun, M. M. Rahman, M. I. Mahmud, S. Ahmad and M. H. B. Nasir. MHfit: Mobile Health Data for Predicting Athletics Fitness Using Machine Learning Models. *2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE)*, Jakarta, Indonesia. 2022. Pp. 584-589. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10180967>.

14. Jindong Wang, Yiqiang Chen, Shuji Hao, Xiaohui Peng, Lisha Hu. Deep learning for sensor-based activity recognition: A survey, *Pattern Recognition Letters*. 2019. Vol. 119. Pp. 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.02.010>

15. Marius Bock, Hilde Kuehne, Kristof Van Laerhoven, Michael Moeller. WEAR: An Outdoor Sports Dataset for Wearable and Egocentric Activity Recognition. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 2024. Vol. 8. P. 21. <https://doi.org/10.1145/3699776>.

16. Del Rosario M. B., Lovell N. H., Redmond, S. J. Learning the Orientation of a Loosely-Fixed Wearable IMU Relative to the Body Improves the Recognition Rate of Human Postures and Activities. *Sensors*. 2019. Vol. 19(13). P. 2845. <https://doi.org/10.3390/s19132845>.

17. Athos Smart Apparel. Blessthisstuff. URL: <https://www.blessthisstuff.com/stuff/technology/misc-gadgets/athos-smart-apparel/> (Доступ: 18.03.2026).
18. Hurtado-Perez A.E., Toledano-Ayala M., Cruz-Albarran I.A., Lopez-Zúñiga A., Moreno-Perez J.A., Álvarez-López A., Rodriguez-Resendiz J., Perez-Ramirez C.A. Use of Technologies for the Acquisition and Processing Strategies for Motion Data Analysis. *Biomimetics*. 2025. Vol. 10. P. 339. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10050339> .
19. C. Tang W., Yi Z., Zhang E., L. Occhipinti, G. Occhipinti. AI-Driven Smart Sportswear for Real-Time Fitness Monitoring Using Textile Strain Sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2026. Vol. 73. Pp. 555-565. <https://ieeexplore.ieee.org/document/11079294/> .
20. Verma R. Smart City Healthcare Cyber Physical System: Characteristics, Technologies and Challenges. *Wireless personal communications*. 2022. Vol. 122(2). Pp. 1413–1433. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08955-6> .
21. N. Y. Hammerla, S. Halloran, T. Ploetz. Deep, Convolutional, and Recurrent Models for Human Activity Recognition using Wearables. *arXiv: Learning*. 2016. <https://www.arxiv.org/abs/1604.08880> .
22. Nechita L. C., Gurau T. V., Musat C. L., Țupu A. E., Gurau G., Voinescu D. C., Nechita A. Integrated Anthropometric, Physiological and Biological Assessment of Elite Youth Football Players Using Machine Learning. *Diagnostics*. 2025. Vol 15(24). P. 3238. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15243238> .
23. Jiayi Zhao, Guangxue Li. Study on real-time wearable sport health device based on body sensor networks. *Computer Communications*. 2020. Vol. 154. Pp. 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.045> .
24. Yang J., Hu J., Chen W. IoT-enabled real-time health monitoring system for adolescent physical rehabilitation. *Sci Rep* 2025. Vol. 15. P. 17994. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99838-4> .

25. Strava's API debacle highlights the messiness of fitness data. Theverge. URL: <https://www.theverge.com/2024/11/22/24303124/strava-fitness-data-wearables> (Доступ: 18.03.2026).
26. Швайко В. К., Авсієвич В. Р. Інформаційна система візуалізації пунктів переробки вторинної сировини для забезпечення концепції сталого розвитку. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021)*, Хмельницький, Україна, 15-16 жовтня 2021. Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 268-271.
27. Швайко В.К., Павлова О.О. Технологія підтримки прийняття рішень щодо вибору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022)*, Хмельницький, Україна, 18-19 листопада 2022. Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 314-318.
28. Швайко В. К., Фесік З. Ю. Інформаційна система для вибору виду спорту на основі аналізу морфофункціональних показників людини. *Інформаційні технології та інженерія: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези доп., 7–10 лютого 2023 р.* ЧНУ імені Петра Могили. Миколаїв, 2023. с.28-29
29. Швайко В.К., Ільчишина Ю.В., Павлова О.О. Концепція інтерфейсу користувача системи підтримки прийняття рішень для вибору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій.* Матеріали ХХІІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 20-21 квітня 2023 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023 р.
30. Швайко В. К., Ільчишина Ю. В. Алгоритм розрахунку схильності до спорту на основі аналізу морфофункціональних показників людини. *Ольвійський форум – 2023: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі. Технічні науки.* Сталий розвиток університетської системи освіти: ХVІІ Міжнар. наук. конф. 15–18 черв. 2023 р., м. Миколаїв. Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. с.53-55
31. Pavlova O., Solyk O., Shvaiko V., Ilchyshyna J., Bouhissi, H.E. Human Morphofunctional Indicators-Based Decision Support System for Choosing Kind of

Sport. Materials of the 4th International Conference on Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop (MoML&T&DS-2023). *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Pp. 322–333

32. Швайко В.К., Кузьмін А.А., Шатровський А.О. Гейміфікація інформаційної системи для вибору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2023*. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 28-29 жовтня 2023 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023 р. с.104-106

33. Швайко В.К., Ільчишина Ю.В. Метод вибору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини. Збірник наукових праць за матеріалами XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023». Хмельницький. 2023. ст. 308-310

34. T. Novorushchenko, O. Pavlova, V. Shvaiko, A. Kuzmin, V. Kulbachnyi. Method and system for choosing kinds of sport based on human morphofunctional indicators. *ІТТАР*. 2023. P. 661-671.

35. Швайко В. К., Ільчишина Ю. В., Павлова О. О. Визначення індикаторів для морфо-функціональних показників людини для автоматизованого підбору виду спорту. *Могілянські читання – 2023: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*. XXVI Всеукр. наук.-практ. конф. присвячена Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку: 6–10 листоп. 2023 р., м. Миколаїв. Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. с.447-45

36. Pavlova O., Alekseiko V., Shvaiko V., Vusatyi N., El Bouhissi H., Gakh R. Analysis of key parameters for choosing a kind of sport based on human morphofunctional indicators using statistical and machine learning methods. Joint Proceedings of the Workshops «AI for Environmental and Social Sustainability Workshop» and «AI and Interdisciplinary Innovations for Sustainable Development» (YAISD-WS 2025) co-located with Second International Conference of Young Scientists on Artificial Intelligence for Sustainable Development (YAISD 2025). Ternopil-Skomorochy, May 8-9, 2025. *CEUR-WS*. Vol. 3974. P.155-164

37. Choosing the right sport for you. Kidshealth. 16.01.2021. URL: <https://kidshealth.org/en/teens/find-sports.html> (Доступ: 18.03.2026).
38. What kind of sport are you into? 5 great tips on how to choose the right one. Troy Media. 10.05.2022. URL: <https://troymedia.com/joint-venture/what-kind-of-sport-are-you-into-5-great-tips-on-how-to-choose-the-right-one/> (Доступ: 18.03.2026).
39. Akan S., Varlı S. Use of deep learning in soccer videos analysis: survey. *Multimedia Systems*. 2022. Vol. 29(3). Pp. 897–915. <https://doi.org/10.1007/s00530-022-01027-0>.
40. Lu L., Xi Y., Zhang X. Application of mobile sensors based on deep neural networks in sports psychological detection and prevention. *Preventive Medicine*. 2023. Vol. 173. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107613>.
41. Harper G. AI in Sports: A Complete Guide. TopDevelopers.co. URL: <https://www.topdevelopers.co/blog/ai-in-sports> (Доступ: 18.03.2026).
42. Seçkin A. Ç., Ateş B., Seçkin M. Review on Wearable technology in Sports: Concepts, challenges and opportunities. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(18). <https://doi.org/10.3390/app131810399>.
43. Peppas K., Tsolakis A. C., Krinidis S., Tzovaras D. Real-Time physical activity recognition on smart mobile devices using convolutional neural networks. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(23). <https://doi.org/10.3390/app10238482>.
44. Pashaie S., Mohammadi S., Golmohammadi H. Unlocking athlete potential: The evolution of coaching strategies through artificial intelligence. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P. *Journal of Sports Engineering and Technology*. 2024. <https://doi.org/10.1177/17543371241300889>.
45. Lu L., Yang S., Li Q. The interaction of digital economy, artificial intelligence and sports industry development -based on China PVAR analysis of provincial panel data. *Heliyon*. 2024. Vol. 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25688>.
46. A. Orlando. AI for Sport in the EU Legal Framework. 2022 IEEE International Workshop on Sport. *Technology and Research (STAR)*. 2022. Pp. 100-105. <https://doi.org/10.1109/STAR53492.2022.9860029>.

47. C. Nieto-Jiménez, E. Baez-San Martín, D. Rojas-Valverde, R. Yáñez-Sepúlveda, M. Tuesta. Morpho-functional characterization of an elite Chilean mountain runner: Insights from a high-performance case study. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2025. Vol. 20(2). Pp. 409-418. <https://doi.org/10.55860/7xs51s84> .
48. G. Di Gioia, D. Polito, S. P. Crispino, V. Maestrini, A. Nenna, A. Segreti, M. R. Squeo, E. Lemme, A. Pelliccia. Influence of isometric versus isotonic exercise training on right ventricular morpho-functional parameters in Olympic athletes. *Echocardiography*. 2023. Vol. 41(1). <https://doi.org/10.1111/echo.15731>
49. M. Sirola, J. E. Hulsund. Machine-Learning Methods in Prognosis of Ageing Phenomena in Nuclear Power Plant Components. *International Journal of Computing*. 2021. Vol. 20(1). Pp. 11-21. <https://doi.org/10.47839/ijc.20.1.2086>
50. Roman Lynnyk, Victoria Vysotska, Yurii Matseliukh, Yevhen Burov, Lyubomyr Demkiv, Andrij Zaverbnyj, Anatoliiy Sachenko, Inna Shylinska, Iryna Yevseyeva, Oksana Bihun. DDOS Attacks Analysis Based on Machine Learning in Challenges of Global Changes. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) MoMLeT+DS 2020 Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop*. 2020. Pp. 159-171. ISSN 1613-0073.
51. H. Lipyana, V. Maksymovych, A. Sachenko, T. Lendyuk, A. Fomenko, I. Kit. Assessing the Investment Risk of Virtual IT Company Based on Machine Learning. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. *Communications in Computer and Information Science*. 2020. Vol. 1158. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_11).
52. S. Shafi Bhat, V. Selvam, G. A. Ansari. Predicting Life Style of Early Diabetes Mellitus using Machine Learning Technique. *International Journal of Computing*. 2023. Vol. 22(3). Pp. 345-351. <https://doi.org/10.47839/ijc.22.3.3230>
53. Hayes A. 04.11.2024. T-Test: What it is with multiple formulas and when to use them. *Investopedia*. URL: <https://www.investopedia.com/terms/t/t-test.asp> (Доступ: 18.03.2026).

54. Annual report on trends in youth sports and project play's contributions to the field. *State of Play 2022*. URL: <https://projectplay.org/youth-sports/facts/participation-rates> (Доступ: 18.03.2026).
55. Jayanthi N. A. et al. Health consequences of youth sport specialization. *Journal of athletic training*. 2019. T. 54. №. 10. Pp. 1040-1049.
56. Abdikadirova N. S. et al. Football in Uzbekistan: Law, Leisure and Sociology. *Psychology and education*. 2021. T. 58. №. 1. Pp. 1995-2002.
57. Ardianto R. et al. Sentiment analysis on E-sports for education curriculum using naive Bayes and support vector machine. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*. 2020. T. 13. №. 2. Pp. 109-122.
58. Jayaratne M. et al. A data integration platform for patient-centered e-healthcare and clinical decision support. *Future Generation Computer Systems*. 2019. T. 92. Pp. 996-1008.
59. Fortier K., Parent S., Lessard G. Child maltreatment in sport: smashing the wall of silence: a narrative review of physical, sexual, psychological abuses and neglect. *British journal of sports medicine*. 2020. T. 54. №. 1. Pp. 4-7.
60. Bedard C., Hanna S., Cairney J. A longitudinal study of sport participation and perceived social competence in youth. *Journal of Adolescent Health*. 2020. Pp. 66. №. 3. Pp. 352-359.
61. Opstoel K. et al. Personal and social development in physical education and sports: A review study. *European Physical Education Review*. 2020. T. 26. №. 4. Pp. 797-813.
62. Bell D. R. et al. The public health consequences of sport specialization. *Journal of athletic training*. 2019. T. 54. №. 10. Pp. 1013-1020.
63. Sanderson J., Brown K. COVID-19 and youth sports: Psychological, developmental, and economic impacts. *International Journal of Sport Communication*. 2020. T. 13. №. 3. Pp. 313-323.
64. DiSanti J. S., Erickson K. Youth sport specialization: a multidisciplinary scoping systematic review. *Journal of sports sciences*. 2019. T. 37. №. 18. Pp. 2094-2105.

65. Bouhissi H.E., Tagzirt D., Bouredjioua F., Pavlova O. Health Recommender System for Smart Cities. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3426. Pp. 334–343
66. Ukrainian sport: exercises and results. Tyzhden.ua URL: <https://tyzhden.ua/ukrainskyj-sport-vpravy-i-rezultat/> (Доступ: 18.03.2026).
67. Pavlyuk Y., Pavlyuk O., Chovgan O., Antoniuk O., Soltyk O. The role of various types of field training in development of health-formation competence of future specialists in physical culture and sports. *Journal of Physical Education and Sport*. 2018. Vol. 18(4). Pp. 2404–2409, 362
68. Tabacchi, Garden. et al. Field-based tests for the assessment of physical fitness in children and adolescents practicing sport: A systematic review within the ESA program. *Sustainability*. 2019. Vol. 11.24. P. 7187.
69. Fortier K., Parent S., Lessard G. Child maltreatment in sport: smashing the wall of silence: a narrative review of physical, sexual, psychological abuses and neglect. *British journal of sports medicine*. 2020. Vol. 54.1. Pp. 4-7.
70. Bedard Ch., Steven H., Cairney J. A. longitudinal study of sport participation and perceived social competence in youth. *Journal of Adolescent Health*. 2020. Vol. 66.3. Pp.352-359.
71. Karomatovich, Ibragimov, Alisher. Psychological and pedagogical support of young team athletes. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*. 2022. Vol. 3.02. Pp. 1011-1016.
72. Polmann H. et al. Prevalence of dentofacial injuries among combat sports practitioners: A systematic review and meta-analysis. *Dental Traumatology*. 2020. Vol. 36.2. Pp. 124-140.
73. Batista M. et al. Participation in sports in childhood and adolescence and physical activity in adulthood: A systematic review. *Journal of sports sciences*. 2019. Vol. 37.19. Pp. 2253-2262.
74. Arede J. et al. Jump higher, run faster: effects of diversified sport participation on talent identification and selection in youth basketball. *Journal of sports sciences*. 2019. Vol. 37.19. Pp. 2220-2227.

75. Dorsch T.E. et al. Toward an integrated understanding of the youth sport system. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2022. Vol. 93.1. Pp. 105-119.
76. Jayanthi N.A. et al. Health consequences of youth sport specialization. *Journal of athletic training*. 2019.Vol.54.10. Pp. 1040-1049.
77. Akmalovich D. B. Acmeological peaks of a sports teacher and coach. *Middle European Scientific Bulletin*. 2021. Vol. 11.1.
78. Di Vincenzo O., Marra M., Scalfi L. Bioelectrical impedance phase angle in sport: A systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2019. Vol.16.1. P. 49.
79. Didenko N. Recreational component of training and pedagogical practices of sports institutions in Ukraine. *Scientific Journal of Polonia University*. 2022. Vol 50.1 Pp. 41-48.
80. Shulha O. Regulatory framework for education of sports-gifted student youth in ukraine and poland. *Theory and methodology of innovative education development in the national, european and global contexts*. 2022. P.164.
81. Karasievych S. et al. Training future physical education teachers for physical and sports activities: Neuropedagogical approach. BRAIN. *Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2021. Vol 12. Pp. 543-564

# ДОДАТОК А

## (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ)

### Публікація

## Analysis of key parameters for choosing a kind of sport based on human morphofunctional indicators using statistical and machine learning methods

Olga Pavlova<sup>1,†</sup>, Vitalii Alekseiko<sup>1,\*,†</sup>, Valeriia Shvaiko<sup>1,†</sup>, Nikita Vusatyi<sup>1,†</sup>, Houda El Bouhissi<sup>2,†</sup> and Roman Gakh<sup>3,†</sup>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Institutka str., 11, Khmelnytskyi, 29016, Ukraine

<sup>2</sup> LIMED Laboratory, Faculty of Exact Sciences, University of Bejaia, 06000, Bejaia, Algeria

<sup>3</sup> West Ukrainian National University, 11 Lvivska st., Ternopil, 46001, Ukraine

### Abstract

The work analyzes the influence of human morphofunctional indicators on the predisposition to a certain kind of sport. The existing decision support systems in the sports sphere are considered. The role of artificial intelligence for parameter analytics is determined. Statistical analysis of the data was performed. The statistical significance of each parameter was established using the t-test. The correlation value between sports, as well as between morphofunctional indicators using the Pearson and Spearman methodologies, is calculated for a more comprehensive understanding of the relationships. The importance of morphofunctional indicators for choosing a kind of sport is investigated using machine learning technologies, namely the random forest method is chosen.

### Keywords

Kind of sport, correlation, data analysis, artificial intelligence, morphofunctional indicators

## 1. Introduction

In today's virtualized world, more and more people are striving to find the optimal sport for themselves, which will not only contribute to physical development, but also correspond to their individual characteristics and capabilities. However, the human factor often causes false decisions: people choose activities that do not meet their physiological characteristics or do not take into account potential risks, which can lead to injuries or loss of motivation. As a result, they quickly stop training without achieving the desired results.

There are many approaches to choosing a sport [1, 2] according to a person's preferences, but most studies are focused on the general choice of group or individual sports, as well as the availability of training in a particular region. However, in addition to these undoubtedly


*The Second International Conference of Young Scientists on Artificial Intelligence for Sustainable Development (YAISD), May 8-9, 2025, Ternopil, Ukraine*

\* Corresponding author.

<sup>†</sup> These authors contributed equally.

✉ pavlova.o@khnmu.edu.ua (O. Pavlova); vitalii.alekseiko@gmail.com (V. Alekseiko); lera.schvajko@gmail.com (V. Shvaiko); mixggua@gmail.com (N. Vusatyi); houda.elbouhissi@gmail.com (H. El Bouhissi); r.gakh@wunu.edu.ua (R. Gakh)

ORCID: 0000-0001-7019-0354 (O. Pavlova); 0000-0003-1562-9154 (V. Alekseiko); 0009-0001-4267-3479 (V. Shvaiko); 0009-0005-1518-7087 (N. Vusatyi); 0000-0003-3239-8255 (H. El Bouhissi); 0000-0002-3937-2210 (R. Gakh)

 © 2025 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

important parameters, it is also advisable to take into account the morphofunctional characteristics of a person.

The aim of the work is to identify the correlation between morphofunctional indicators and sports, as well as to establish the importance of each indicator.

At this stage, artificial intelligence (AI) can play a significant role, which is a powerful tool for selecting a sport based on human morphofunctional indicators. Using large amounts of data, the system can analyze the physical characteristics of professional athletes in various sports and forms the necessary parameters and standards on the basis of this. This allows to make an objective and scientifically based choice of optimal activity for a particular person.

In addition, AI is able to analyze individual user data such as height, weight, body composition, endurance level, etc., and offer the most suitable sport. The system based on AI can also assess potential risks, anticipate possible health problems, and make recommendations about exertion, training intensity, and safety techniques. This approach not only increases the effectiveness of sports, but also contributes to the long-term involvement of people in an active lifestyle, helping them to avoid overloads and injuries.

Thus, the introduction of AI in the field of sports opens up new opportunities for a personalized approach to the choice of physical activities. This allows everyone to find the best option for maintaining health, developing physical abilities and achieving sports goals.

## 2. Literature Review

In our previous works [3, 4] the indicators-based decision support system and method for choosing kind of sport were proposed. Also, the indicators and values of their impact on different kinds of sport were determined. Moreover, the analysis of the relevant studies describing using AI for decision support in choosing kind of sport was conducted.

The article [5] demonstrates the potential of AI to improve sports performance analysis and decision-making during training and competition. The study [6] provides a practical perspective on the application of AI in real-world health tracking systems that can be integrated into sports applications. The research [7] describes the integration of AI to facilitate more accurate analysis and prediction of sports training results using mobile sensors and deep neural networks. The article [8] discusses current trends and practical solutions in sports technologies based on the use of artificial intelligence. The research [9] analyzes which technological innovations influence the development of sports applications and how AI contributes to their improvement. The article [10] demonstrates the ability to detect and classify different types of sports activities from live video streams using convolutional neural networks. The study [11] describes the development of a mobile application for personalized coaching of runners that uses AI to analyze data from sensors and biometric indicators to optimize the training process. The article [12] identifies AI's impact on China's sports industry. The study [13] is devoted to the legal aspects of implementing AI systems in the sports sector under the European Union legislation.

The research [14] analyzes morphofunctional indicators of an elite Chilean mountain runner. It was provided laboratory experiments to improve training strategy. The article [15] reveals medical point of view. This study focuses on analyzing the effects of isometric and isotonic exercise training on the morpho-functional parameters of the right ventricle in Olympic athletes. Also it was analyzed machine learning approaches [16, 17, 18] and its usage

for health monitoring [19]. However, the considered studies do not solve the problem of morphofunctional indicators' analysis and choosing a kind of sport on basis of them.

On the basis of provided study it was formulated hypothesis accordingly to the topic of the research: There is a significant difference between the indicators' means of two kind of sports.

### 3. Methodology

The study used expert data from specialists in the field of physical education and sports. A detailed description of the data used is given in previous works [3, 4].

The t-test is used to test a statistical hypothesis, which is used to compare the means of two groups and determine whether the difference is statistically significant. The formula 1 describes if the difference between the means of two groups is significant [20].

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

Where:

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  – sample means of groups 1 and 2;

$s_1^2, s_2^2$  – sample variances of groups 1 and 2;

$n_1, n_2$  – sample sizes of groups 1 and 2.

The larger the values, the greater the difference between the two groups.

Pearson and Spearman methodologies were used to determine the correlation between parameters. Comparing the two approaches allows for a more comprehensive assessment due to the possibility of analyzing both linear and monotonic dependencies.

Pearson's correlation coefficient determines the linear relationship between two variables:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

Where:

$X_i, Y_i$  – individual data points;

$\bar{X}, \bar{Y}$  – the mean values of X and Y;

In formula (2) the numerator represents the covariance between X and Y, and the denominator normalizes the values by their standard deviations. The r value 1 is represent perfect positive correlation, 0 – no correlation and -1 – perfect negative correlation.

The Spearman correlation measures the monotonic relationship between two variables by ranking the data before calculation:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

Where:

$d_i$  – the difference between the ranks of corresponding values  $X_i$  and  $Y_i$ ;

$n$  – the number of data points.

Similar to Pearson correlation, the  $\rho$  value 1 is represent perfect increasing monotonic relationship, 0 – no monotonic relationship and -1 – perfect decreasing monotonic relationship.

#### 4. Results and Discussions

All morphofunctional indicators used in the research are presented in Table 1 with description. For better visualization on plots it is used numbering. Also Table 1 shows T-test results. All indicators have extremely small p-values ( $< 0.05$ ), meaning they are statistically significant.

**Table 1**

T-test results

Indicator number	Indicator	t statistics	p value
1	Height, cm	11.21	$5.03 \cdot 10^{-11}$
2	Weight-height index (body mass index), weight (g), height (cm)	6.59	$8.19 \cdot 10^{-7}$
3	Muscle development index	14.06	$4.39 \cdot 10^{-13}$
4	Ratio of arm span to body length while standing, cm	4.89	$5.52 \cdot 10^{-5}$
5	Running 30 m, s	10.79	$1.1 \cdot 10^{-10}$
6	Standing long jump, cm	11.31	$4.23 \cdot 10^{-11}$
7	Throwing a stuffed ball over a distance (1 kg), m	21.65	$2.93 \cdot 10^{-17}$
8	Sitting raises in 60 seconds, number	12.59	$4.62 \cdot 10^{-12}$
9	Flexion and extension of arms in a prone position, number	13.48	$1.09 \cdot 10^{-12}$
10	Standing torso tilt (torso forward tilt from a sitting position), cm	19.19	$4.58 \cdot 10^{-16}$
11	Shuttle race (4x9 m), s	15.95	$2.84 \cdot 10^{-14}$
12	Reaction speed (fishing stick with centimeter markings), cm	26.05	$4.12 \cdot 10^{-19}$
13	Jump rope in 60 seconds, number	16.88	$8.06 \cdot 10^{-15}$
14	Ruler twist (difference from shoulder width), cm	80.00	$1.19 \cdot 10^{-30}$

The smallest p-value is observed for indicator 14. This indicates an extremely strong difference between the groups. Indicators 7 and 12 also have very small p-values, indicating clear group differences. Indicator 14 has the highest t-statistic (80.00). Indicators 7, 10, and 12 also have high t-statistics. Indicators 4 and 2 have the lowest t-statistics, but still show significant differences. Thus, all indicators show statistically significant differences between the two groups.

Relationships between kind of sports on the basis of important for them morphofunctional human indicators are shown in Figure 1 as a adjacency matrix heatmap. To check for the presence of relationships, a binary classification was used, where 0 means the absence of such indicators, and 1 indicates their presence.

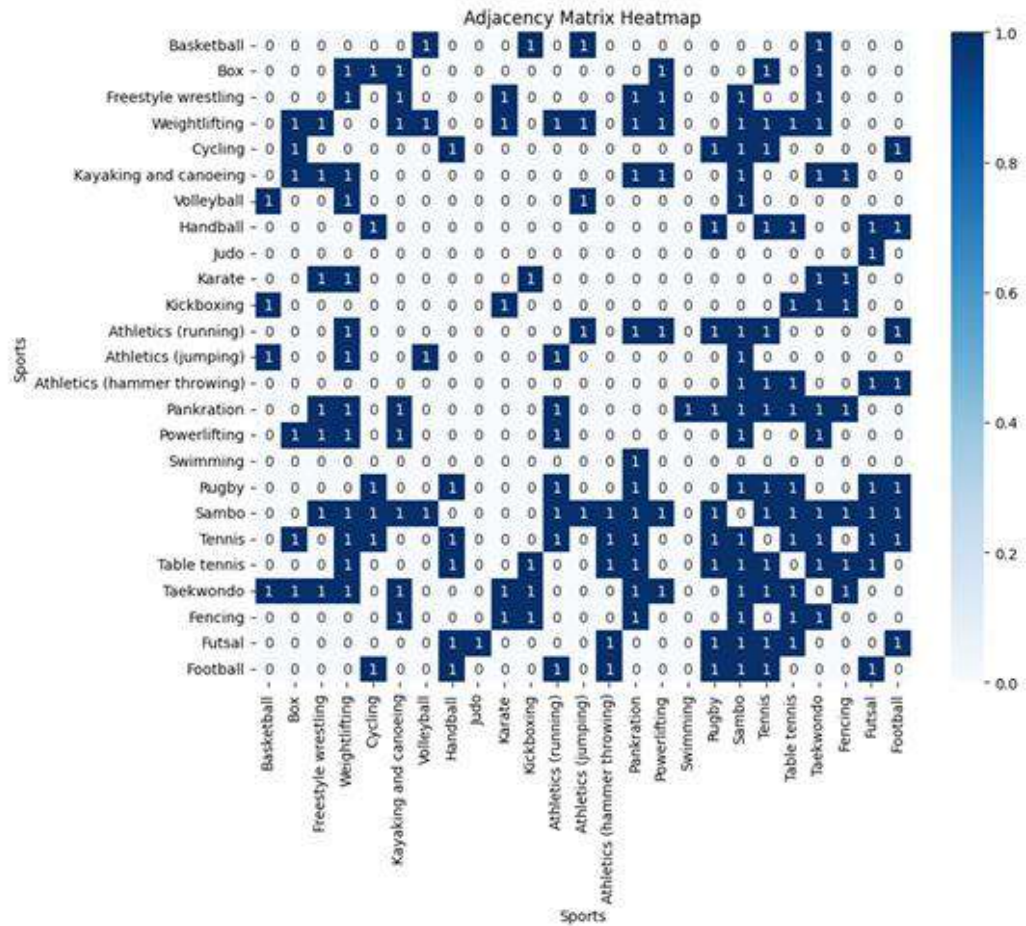


Figure 1: Adjacency matrix heatmap for kinds of sport.

Figure 2 shows boxplot of morphofunctional indicators. Each square represents the interquartile range (IQR). The median indicates the central value. The whiskers represent the range of most of the data points.

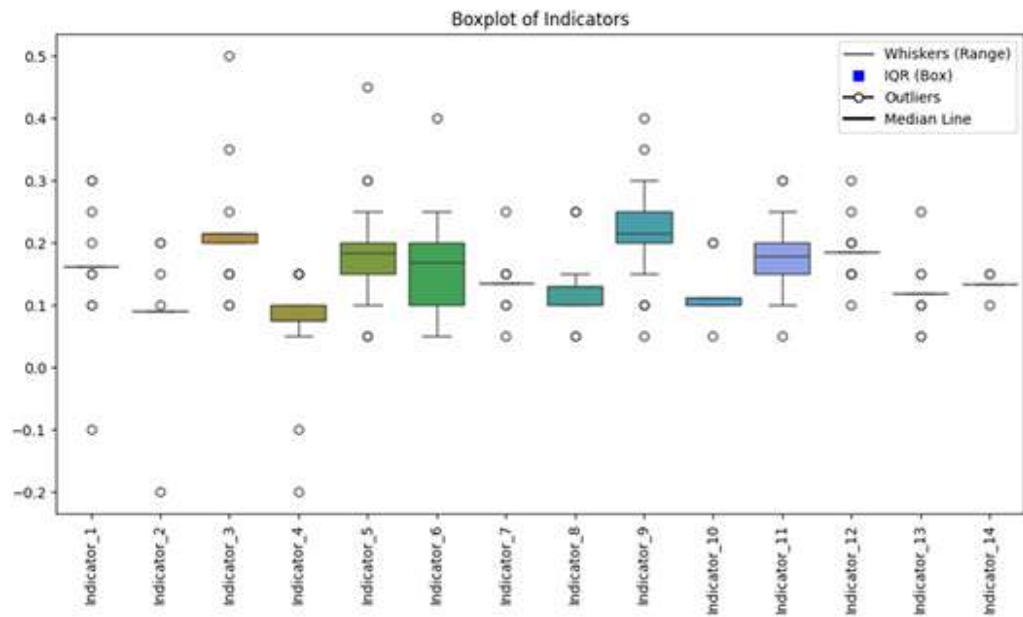


Figure 2: Boxplot of morphofunctional indicators.

Figure 3 shows a histogram of indicators. X-axis represents the range of values for a particular indicator and Y-axis represents the number of observations.

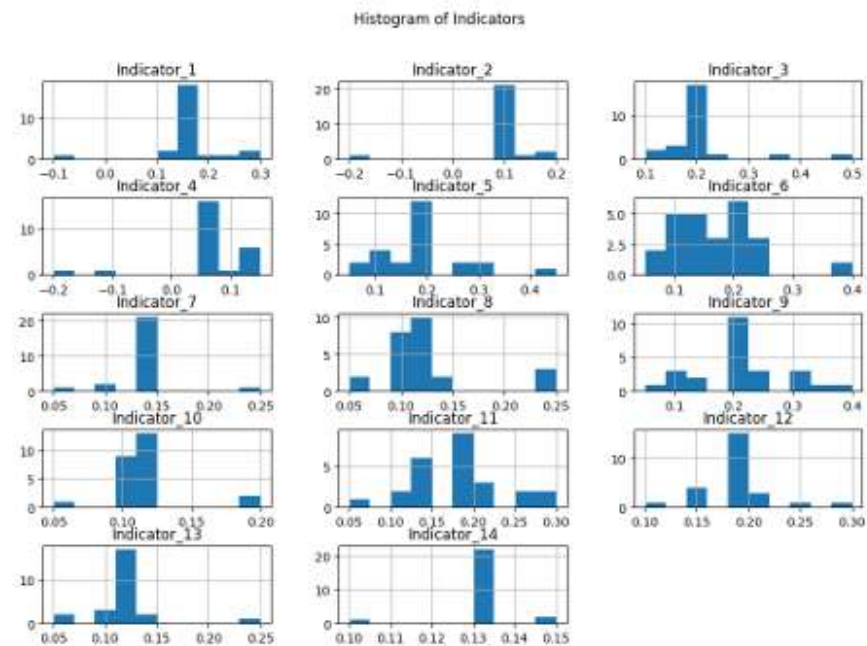
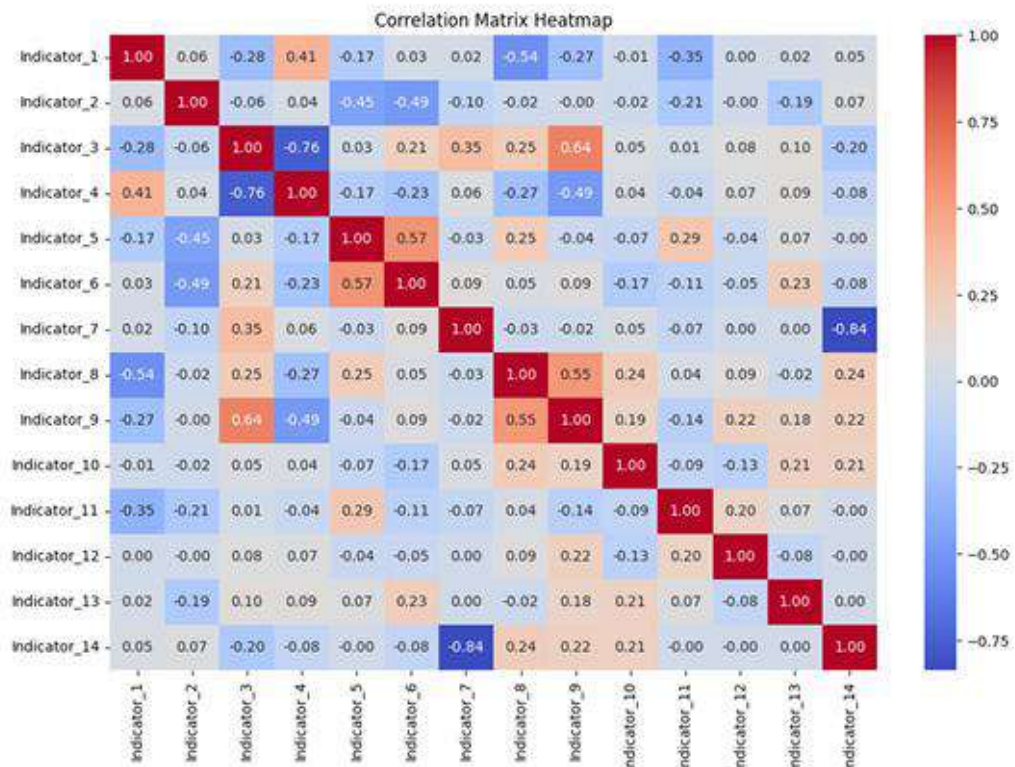


Figure 3: Histogram of indicators.

The boxplot also shows outliers. It means values that are significantly different from the majority of the data. It can be seen from the chart, that Indicators 6 and 9 have larger outliers compared to the other indicators. Indicators with taller squares and longer whiskers (e.g. indicators 5, 6, and 9) have higher variability. Indicators with shorter rectangles (e.g. indicator 10) have lower variability. It means the data is more consistent. If the median is closer to the bottom of the rectangle, the data is positively skewed. If the median is closer to the top, the data is negatively skewed. Thus, for some indicators, there is a skew. It means that the data is asymmetrically distributed.

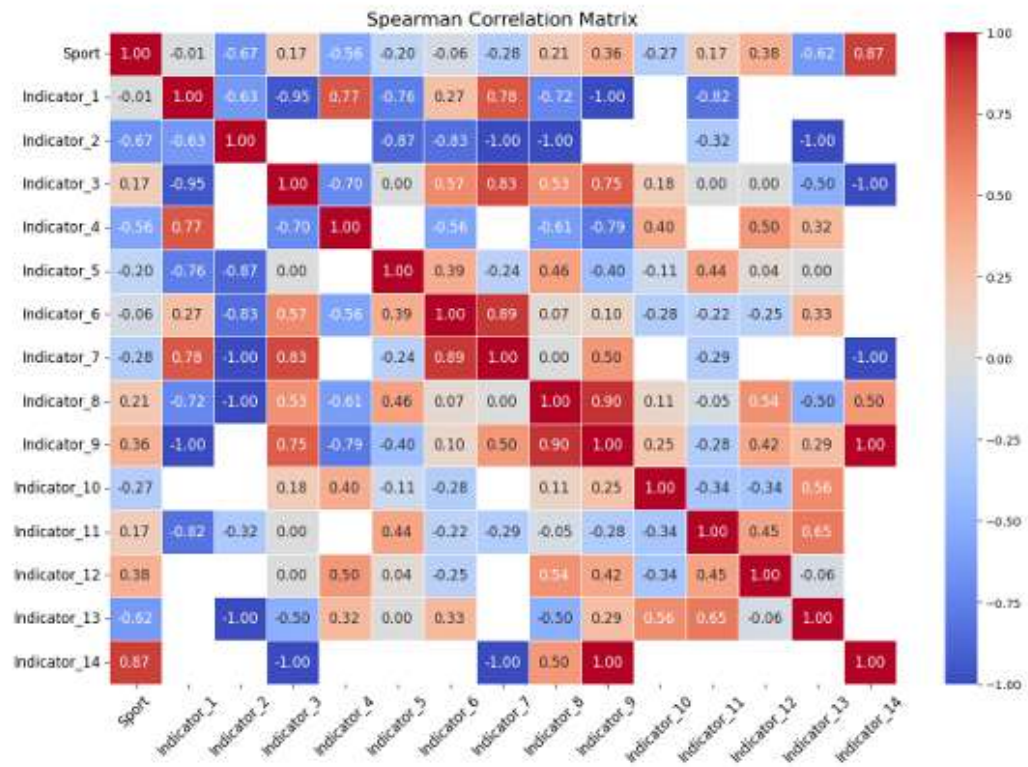
The correlation matrix is presented in Figure 4. It displays the results of the Pearson correlation. According to this approach, linear relationships between indicators are measured in the range from  $-1$  to  $1$ , where  $1$  reflects a perfect positive correlation,  $0$  indicates no correlation, and  $-1$  indicates a perfect negative correlation.



**Figure 4:** Pearson correlation matrix heatmap.

The Spearman correlation matrix is presented in Figure 5. It measures monotonic relationships, which, however, do not necessarily have to be linear.

The results of the study showed that some indicators have strong positive and negative relationships. Thus, indicators 7 and 14 demonstrate a strong negative correlation ( $-0.84$ ), Indicator 3 and 4 demonstrate a strong positive correlation ( $0.76$ ). Most correlations are weak or moderate.



**Figure 5:** Spearman correlation matrix heatmap.

Spearman correlation provides a slightly different view of the relationships. Stronger correlations are observed between some indicators. The «Sport» column suggests which indicators contribute more to the classification. Indicator 14 has a high Spearman correlation with sport (0.87), which means that it can strongly influence the classification.

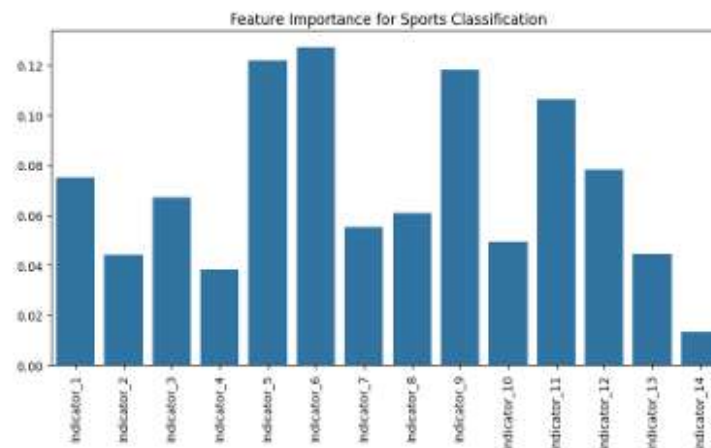
Pearson correlation gives more accurate results under linear relationships. If the data has strong outliers or nonlinear trends, Spearman correlation is more reliable. Spearman correlation also helps to rank indicators that influence the choice of sports.

It was provided Random Forest Classification to identify the most important indicators for determining the most suitable kind of sport on the basis of morphofunctional indicators. Results are presented in Figure 6. Thus indicators 6, 5, 9 and 11 have more significant impact than other.

## 5. Conclusions

As a result of the conducted research, it was possible to establish dependencies between sports, based on morphofunctional indicators, which play a key role for them. Correlations between morphofunctional indicators were also established, which contributes to a comprehensive understanding of the criteria on the basis of which the choice of sport is made.

The conducted data analysis allowed us to confirm the hypothesis that there is a difference between the parameters for different sports.



**Figure 6:** Feature importance for determining kind of sport on the basis of morphofunctional indicators due to Random Forest Classifier.

The analysis of the importance of indicators for making a decision about the predisposition to a sport, performed using AI technologies, allows us to capture hidden patterns and more accurately select sports.

The further efforts of the authors will be focused on approaches that provides intellectual analysis of human morphofunctional indicators and choosing a kind of sport based on them using AI technologies.

## Declaration on Generative AI

During the preparation of this work, the authors used Grammarly in order to: grammar and spelling check; DeepL Translate in order to: some phrases translation into English. After using these tools/services, the authors reviewed and edited the content as needed and take full responsibility for the publication's content.

## References

- [1] Choosing the right sport for you (for teens). (January 2021). <https://kidshealth.org/en/teens/find-sports.html>
- [2] Venture, J. (2022, May 10). What kind of sport are you into? 5 great tips on how to choose the right one. Troy Media. Re-inventing How Canadians Stay in Touch. <https://troymedia.com/joint-venture/what-kind-of-sport-are-you-into-5-great-tips-on-how-to-choose-the-right-one/>
- [3] O. Pavlova, O. Soltyk, V. Shvaiko, J. Ilchyshyna, H. El Bouhissi. Human Morphofunctional Indicators-Based Decision Support System for Choosing Kind of Sport. MoMLeT+DS 2023. 322-333.
- [4] T. Hovorushchenko, O. Pavlova, V. Shvaiko, A. Kuzmin, V. Kulbachnyi. Method and system for choosing kinds of sport based on human morphofunctional indicators. ITTAP 2023. 661-671.

- [5] Akan, S., & Varlı, S. (2022). Use of deep learning in soccer videos analysis: survey. *Multimedia Systems*, 29(3), 897–915. <https://doi.org/10.1007/s00530-022-01027-0>.
- [6] psico-smart.com. (28 August, 2024). Integration of artificial intelligence in health and wellness tracking systems. <https://psico-smart.com/en/blogs/blog-integration-of-artificial-intelligence-in-health-and-wellness-tracking-systems-163046>.
- [7] Lu, L., Xi, Y., & Zhang, X. (2023). Application of mobile sensors based on deep neural networks in sports psychological detection and prevention. *Preventive Medicine*, 173, 107613. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107613>.
- [8] Harper, G. (2025, February 7). AI in Sports: A Complete Guide. *TopDevelopers.co*. <https://www.topdevelopers.co/blog/ai-in-sports/>.
- [9] Seçkin, A. Ç., Ateş, B., & Seçkin, M. (2023). Review on Wearable technology in Sports: Concepts, challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 13(18), 10399. <https://doi.org/10.3390/app131810399>.
- [10] Peppas, K., Tsolakis, A. C., Krinidis, S., & Tzovaras, D. (2020). Real-Time physical activity recognition on smart mobile devices using convolutional neural networks. *Applied Sciences*, 10(23), 8482. <https://doi.org/10.3390/app10238482>.
- [11] Pashaie, S., Mohammadi, S., & Golmohammadi, H. (2024). Unlocking athlete potential: The evolution of coaching strategies through artificial intelligence. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P Journal of Sports Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.1177/17543371241300889>.
- [12] Lu, L., Yang, S., & Li, Q. (2024). The interaction of digital economy, artificial intelligence and sports industry development --based on China PVAR analysis of provincial panel data. *Heliyon*, 10(4), e25688. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25688>.
- [13] A. Orlando, "AI for Sport in the EU Legal Framework," 2022 IEEE International Workshop on Sport, Technology and Research (STAR), Trento – Cavalese, Italy, 2022, pp. 100-105, doi: 10.1109/STAR53492.2022.9860029.
- [14] C. Nieto-Jiménez, E. Baez-San Martin, D. Rojas-Valverde, R. Yáñez-Sepúlveda, & M. Tuesta (2025). Morpho-functional characterization of an elite Chilean mountain runner: Insights from a high-performance case study. *Journal of Human Sport and Exercise*, 20(2), 409-418. <https://doi.org/10.55860/7xs51s84>
- [15] G. Di Gioia, D. Polito, S. P. Crispino, V. Maestrini, A. Nenna, A. Segreti, M. R. Squeo, E. Lemme, & A. Pelliccia (2023). Influence of isometric versus isotonic exercise training on right ventricular morpho-functional parameters in Olympic athletes. *Echocardiography*, 41(1). <https://doi.org/10.1111/echo.15731>
- [16] M. Siroła, & J. E. Hulsund (2021). Machine-Learning Methods in Prognosis of Ageing Phenomena in Nuclear Power Plant Components. *International Journal of Computing*, 20(1), 11-21. <https://doi.org/10.47839/ijc.20.1.2086>
- [17] Roman Lynnyk, Victoria Vysotska, Yurii Matseliukh, Yevhen Burov, Lyubomyr Demkiv, Andriy Zaverbnyj, Anatoliy Sachenko, Inna Shylinska, Iryna Yevseyeva, Oksana Bihun. DDOS Attacks Analysis Based on Machine Learning in Challenges of Global Changes. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) MoMLeT+DS 2020 Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop 2020*, pp. 159-171. ISSN 1613-0073.
- [18] H. Lipyanina, V. Maksymovych, A. Sachenko, T. Lendyuk, A. Fomenko, I. Kit, (2020). Assessing the Investment Risk of Virtual IT Company Based on Machine Learning. In: Babichev, S., Peleshko, D., Vynokurova, O. (eds) *Data Stream Mining & Processing*. DSMP

2020. *Communications in Computer and Information Science*, vol 1158. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_11)
- [19] S. Shafi Bhat, V. Selvam, & G. A. Ansari (2023). Predicting Life Style of Early Diabetes Mellitus using Machine Learning Technique. *International Journal of Computing*, 22(3), 345-351. <https://doi.org/10.47839/ijc.22.3.3230>
- [20] Hayes, A. (2024, October 4). T-Test: What it is with multiple formulas and when to use them. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/t/t-test.asp>.

**ДОДАТОК Б**  
**(обов'язковий)**  
Презентація

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем



**Кіберфізична система  
персоналізованого підбору виду спорту  
на основі морфофункціональних  
показників людини**

Здобувачка: Швайко Валерія Костянтинівна  
Наукова керівниця: д.ф., доцентка, зав. кафедри  
Павлова Ольга Олександрівна  
Хмельницький - 2026

## МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

**Метою** кваліфікаційної роботи магістра є підвищення продуктивності та об'єктивності персоналізованого підбору виду спорту шляхом розроблення кіберфізичної системи на основі методів машинного навчання та статистичного моделювання морфофункціональних показників.

**Об'єктом дослідження** є процес підвищення продуктивності та об'єктивності персоналізованого підбору виду спорту шляхом розроблення кіберфізичної системи на основі методів машинного навчання та статистичного моделювання морфофункціональних показників.

**Предметом дослідження** є методи машинного навчання та статистичного аналізу для класифікації схильності до видів спорту в кіберфізичних системах.

## ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних завдань:

- проаналізувати сучасний стан кіберфізичних систем, носимих технологій та існуючих рішень у сфері спортивної аналітики;
- дослідити морфофункціональні показники людини та їх значення у задачах спортивної орієнтації;
- розробити алгоритм попередньої обробки та нормалізації морфофункціональних даних;
- дослідити можливості використання статистичних методів аналізу та методів машинного навчання для класифікації схильності до видів спорту;
- розробити структуру та програмно-апаратну архітектуру кіберфізичної системи персоналізованого підбору виду спорту;
- реалізувати інтелектуальну модель на основі ансамблевого методу випадкового лісу для аналізу морфофункціональних показників;
- провести експериментальні дослідження ефективності запропонованої системи та оцінити якість сформованих рекомендацій.

## НАУКОВА НОВИЗНА ТА ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Наукова новизна отриманих результатів:

- набув подальшого розвитку метод підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників, який використовує ансамблеві моделі машинного навчання випадкового лісу у поєднанні зі статистичним кореляційним аналізом, що дозволило алгоритмічно виявити приховані закономірності та надавати більш прозорі рекомендації

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні кіберфізичної системи, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та аналіз морфофункціональних показників людини з подальшим формуванням персоналізованих рекомендацій щодо вибору виду спорту. Запропонована система може бути використана у закладах освіти, спортивних школах, фітнес-центрах та системах підтримки прийняття рішень у сфері спортивної аналітики.



## АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ❑ Традиційні підходи до спортивної орієнтації переважно ґрунтуються на суб'єктивному оцінюванні тренерів або використанні окремих фізичних нормативів, що не завжди дозволяє комплексно враховувати індивідуальні морфофункціональні особливості дитини.
- ❑ Сучасний розвиток інформаційних технологій, методів аналізу даних та засобів автоматизованого вимірювання створює можливість побудови кіберфізичних систем, які поєднують процеси збору, обробки та інтерпретації морфофункціональних показників у єдиному інформаційному середовищі.
- ❑ Разом із цим виникає необхідність створення системи, здатної не лише накопичувати результати тестувань, але й виконувати обробку великої кількості показників, врахувати складні взаємозв'язки між фізичними характеристиками людини та аналізувати дані із використанням методів машинного навчання для визначення ймовірнісної схильності до певних спортивних дисциплін.



## АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ

- ❑ Встановлено, що ефективність сучасних систем спортивної орієнтації визначається комплексністю аналізу морфофункціональних показників, рівнем автоматизації процесу обробки даних та можливістю формування персоналізованих рекомендацій.
- ❑ Аналіз сучасних методів визначення спортивної схильності показав, що найбільш перспективними є багатофакторні та інтелектуальні підходи, які враховують взаємозв'язки між морфофункціональними характеристиками людини, рівнем розвитку фізичних якостей та вимогами різних спортивних дисциплін.

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ

- Особливе місце серед сучасних рішень займають кіберфізичні системи, які поєднують засоби збору фізіологічних показників, технології передачі даних, методи статистичного аналізу та алгоритми машинного навчання. Використання таких систем дозволяє реалізувати інтегрований підхід до оцінювання фізичного розвитку людини, забезпечити автоматизацію спортивного відбору та підвищити об'єктивність прийняття рішень.



Зображення розумного одягу, що передає отримані показники в застосунок

## МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ



Зображення моделі КФС в узагальненому вигляді

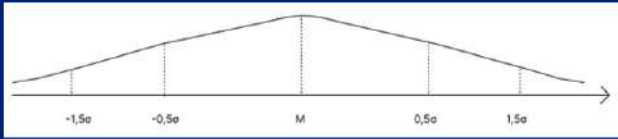
$$\bar{X}_j = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}, \quad (1)$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{14}), \quad (2)$$

- Формалізація вхідного вектора морфофункціональних показників включає антропометричні характеристики та показники фізичної підготовленості людини (1).

- Усього 14 показників представлених у вхідному векторі у вигляді виразу 2.

## МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ



Шкала розрахунку рівня розвитку учня для визначення схильності до певного виду спорту

- Низький рівень менше (-1,5 σ).
- Нижче середнього від [-1,5 σ] до (-0,5 σ).
- Середній рівень від [-0,5 σ] до (0,5 σ).
- Вище середнього від (0,5 σ) до (1,5 σ).
- Високий вище (1,5 σ).

Для перевірки статистичної гіпотези про те, що існують статистично значущі відмінності у морфофункціональних показниках осіб із різним рівнем схильності до обраного виду спорту застосовується t-критерій, який використовується для порівняння середніх значень двох груп та визначення того, чи є ця різниця статистично значущою.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (3)$$

## МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

Дослідження взаємозв'язків між окремими показниками необхідне у разі якщо характеристики можуть виявитись взаємозалежними, що впливає на якість побудови моделі та може призводити до дублювання інформації.

Коефіцієнт кореляції Пірсона визначає лінійну залежність між двома змінними та вираховується за формулою:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (4)$$

Кореляція Спірмена вимірює монотонну залежність між двома змінними шляхом ранжування даних перед розрахунком та обчислюється за формулою:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (5)$$

## МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

- Незважаючи на ефективність статистичних методів, вони мають обмеження у випадках, коли залежності між змінними є складними або нелінійними.
- Метод випадкового лісу є одним із найбільш ефективних алгоритмів класифікації, що поєднує простоту реалізації та високу точність.
- Ймовірність належності об'єкта до певного класу у моделі випадкового лісу визначається як усереднений результат прогнозів усіх дерев ансамблю. У формулі 2.6 описано математичний вираз обчислення ймовірності класифікації на основі агрегування результатів окремих дерев рішень.

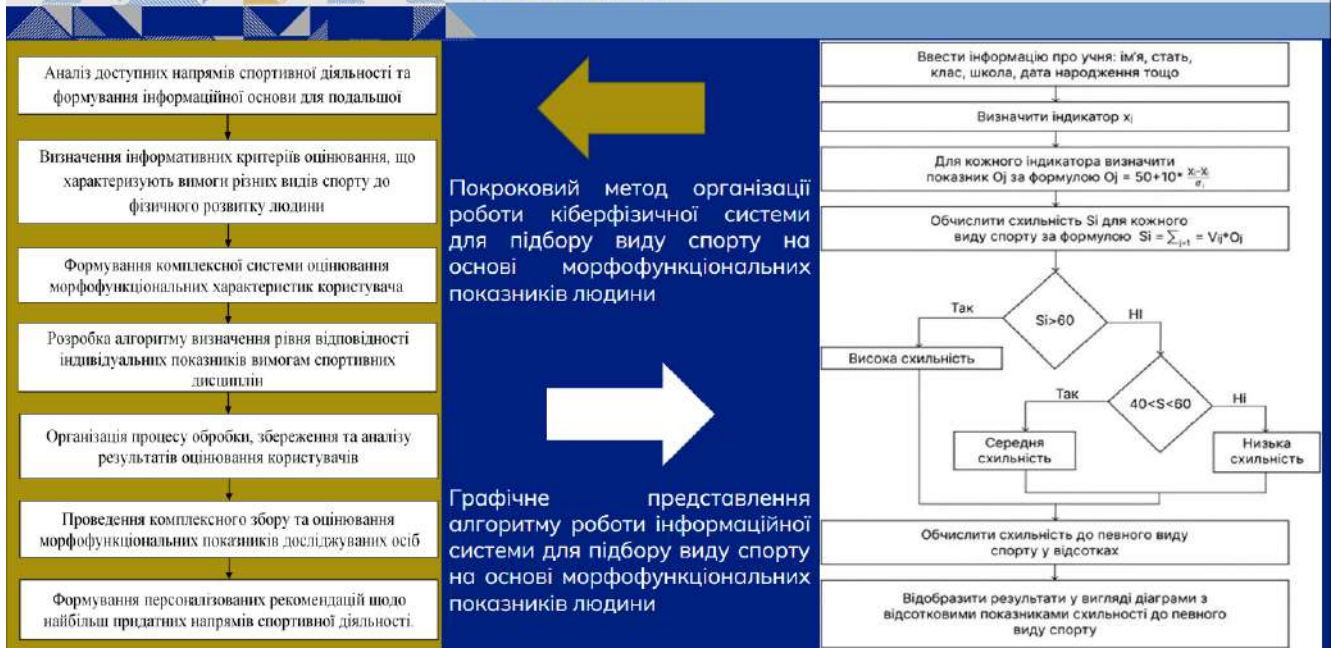
$$P(y|x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(x), \quad (6)$$

## МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

- Оцінка важливості ознак у випадковому лісі базується на аналізі зменшення неоднорідності, яке відбувається при розбитті даних у вузлах дерев рішень.
- Кожного разу, коли певна ознака використовується для поділу, обчислюється, наскільки вона зменшує невизначеність у даних.
- Сумарний внесок ознаки визначається як середнє значення такого зменшення по всіх деревах ансамблю відповідно до виразу:

$$FI_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{v \in \text{splits}(j)} \Delta I(v, t), \quad (7)$$

## МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ



## МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ

Nº	Індикатор	t статистика	Значення p
1	Висота, (см)	11.21	5.03·10 <sup>-21</sup>
2	Індекс маси тіла, вага (г)/зріст (см)	6.59	8.19·10 <sup>-7</sup>
3	Індекс м'язової маси	14.06	4.39·10 <sup>-23</sup>
4	Відношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	4.89	5.52·10 <sup>-6</sup>
5	Біг 30 м, (с)	10.79	1.1·10 <sup>-10</sup>
6	Стрибок у довжину, (см)	11.31	4.23·10 <sup>-21</sup>
7	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	21.65	2.93·10 <sup>-17</sup>
8	Присідання 60 с, (кількість)	12.59	4.62·10 <sup>-12</sup>
9	Віджимання від підлоги, (кількість)	13.48	1.09·10 <sup>-12</sup>
10	Нахил тулуба стоячи, (см)	19.19	4.58·10 <sup>-16</sup>
11	Човниковий біг 4x9 м, (с)	15.95	2.84·10 <sup>-14</sup>
12	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	26.05	4.12·10 <sup>-19</sup>
13	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	16.88	8.06·10 <sup>-15</sup>
14	Викрут мірної лінійки, (см)	80.00	1.19·10 <sup>-30</sup>

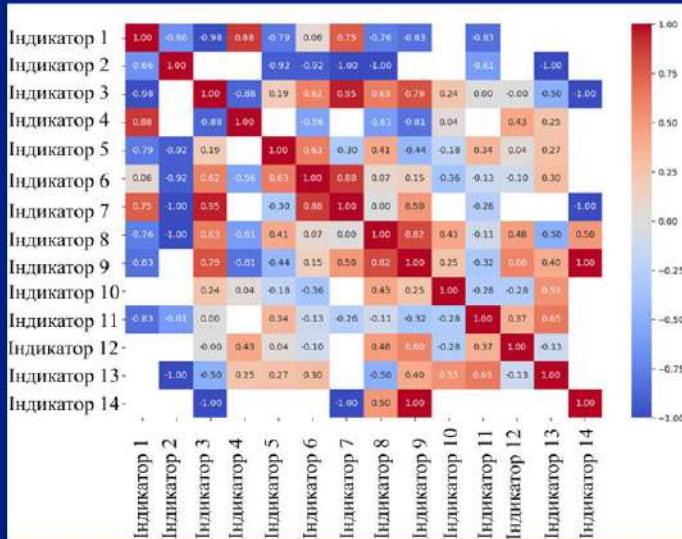
Результати роботи методу отримані за допомогою тесту t-критерію Стьюдента.

Найменше значення p для показника 14 свідчить про надзвичайно сильну різницю між групами. Проте має найвищу t-статистику (80,00).

Показники 7 і 12 також мають дуже малі значення p, що вказує на чіткі відмінності між групами. Проте мають високі t-статистики.

Показники 4 та 2 мають найнижчі t-статистики, але все одно демонструють значні відмінності.

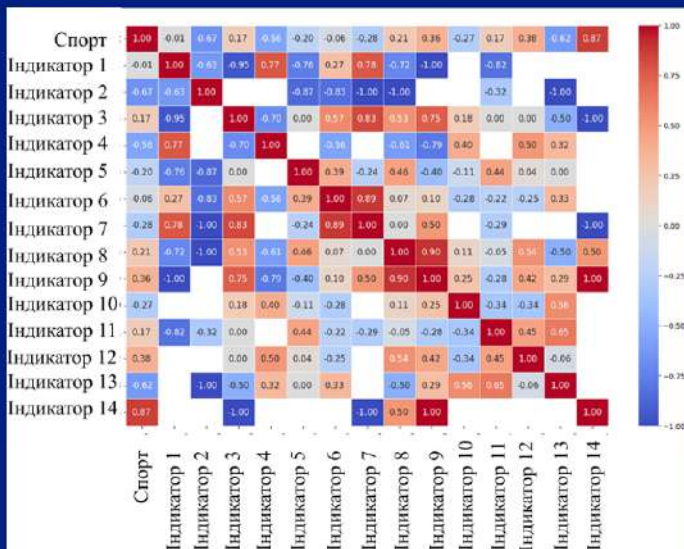
## МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ



Кореляційна матриця за Пірсоном

Згідно з цим підходом, лінійні взаємозв'язки між показниками вимірюються в діапазоні від -1 до 1, де 1 означає повну позитивну кореляцію, 0 – відсутність кореляції, а -1 – повну негативну кореляцію.

## МЕТОД ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ВИДУ СПОРТУ



Кореляційна матриця за Спірменом

Результати дослідження показали, наявність сильних позитивних так і негативних взаємозв'язків між окремими морфофункціональними показниками.

Зокрема, показники 7 та 14 демонструють сильну негативну кореляцію (-0,84), що свідчить про обернену залежність між ними: зі збільшенням одного показника інший має тенденцію до зменшення.

Показники 3 та 4 характеризуються сильною позитивною кореляцією (0,76), що вказує на їх узгоджену зміну.

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ

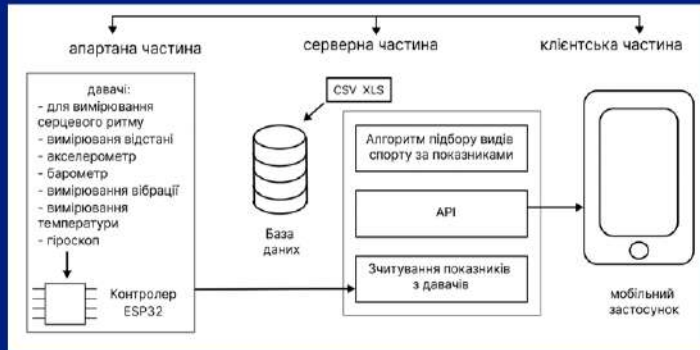
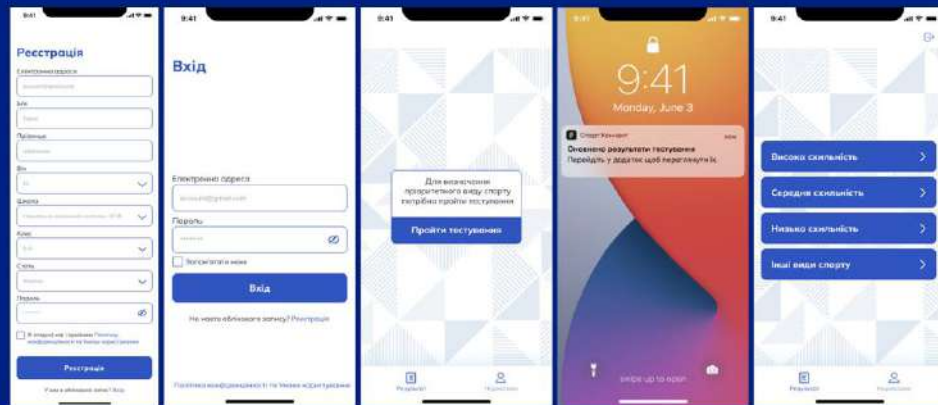


Схема програмно-технічного засобу для автоматизованого вимірювання морфофункціональних показників людини

Структура запропонованої інформаційної системи персоналізованого підбору виду спорту побудована за принципом кіберфізичної системи та складається з чотирьох основних компонентів:

- апаратної підсистеми збору даних,
- серверної підсистеми обробки інформації,
- бази даних,
- клієнтської підсистеми у вигляді мобільного застосунку.

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ



Інтерфейсні вікна мобільного застосунку

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ



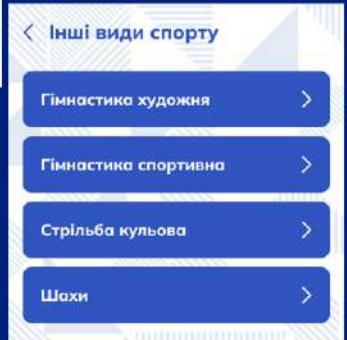
Зображення оцінки морфофункціональних показників користувача відносно нормативів



Відображення схильності видів спорту у вигляді діаграми

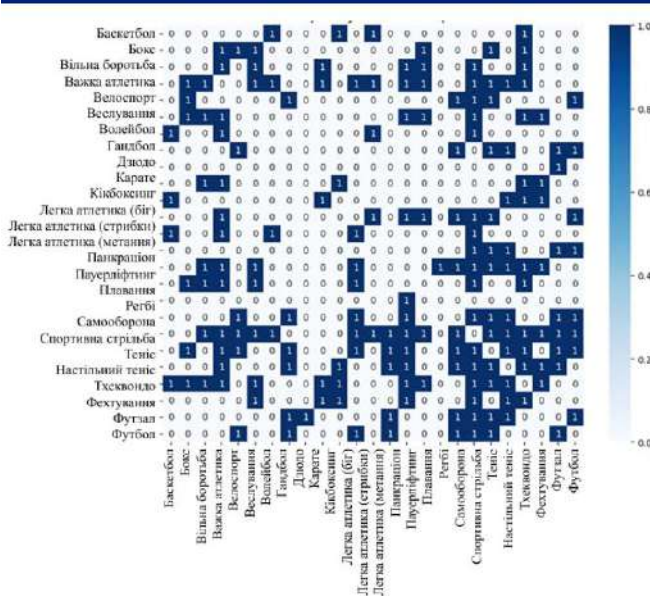
Дата	13.11.2021
Підтягування	11 разів
Біг 100 м	14,7 с
Віджимання	10 разів
Крос 1000 м	3,1 хв., с
Крос 2000м	5,54 хв., с

Таблична форма результатів тестів вимірювання за показниками



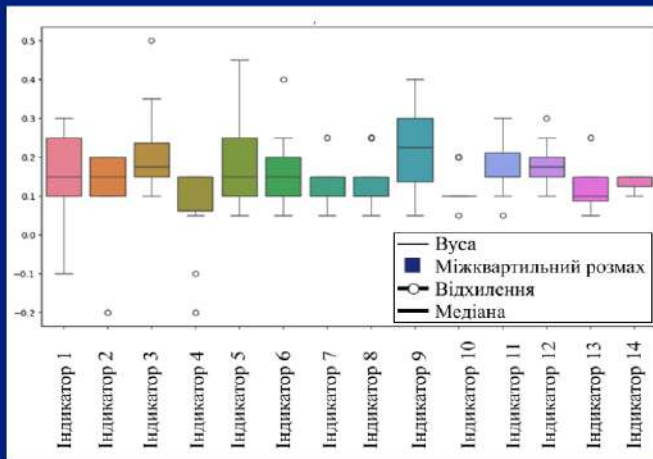
Перегляд інформації про види спорту, які не потребують нормативів

## ЕКСПЕРИМЕНТИ



- Для формування матриці суміжності було застосовано підхід бінарної класифікації ознак. У межах даного підходу кожен морфофункціональний показник оцінювався з точки зору його значущості для певного виду спорту.
- Значення «1» присвоювалося у випадку, якщо відповідний показник вважався важливим або інформативним для конкретного виду спорту, тоді як значення «0» означало відсутність суттєвого впливу даного показника на спортивну класифікацію.
- Якщо два види спорту мають подібний набір значущих показників, між ними спостерігається вищий рівень суміжності, що свідчить про схожість вимог до фізичного розвитку спортсменів.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ



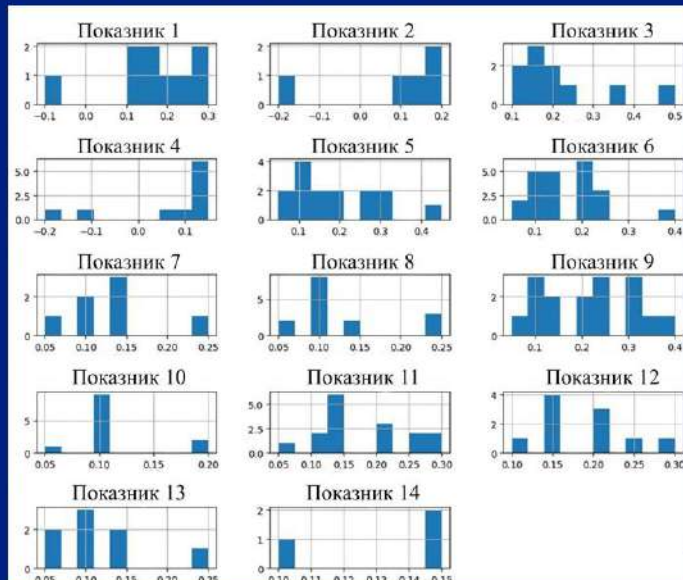
Бокс-плот морфологічнофункціональних показників

Показники 6 та 9 характеризуються більшою кількістю випадів у порівнянні з іншими параметрами. Це свідчить про підвищену неоднорідність значень для відповідних характеристик та наявність значних відхилень у частини досліджуваних об'єктів.

Показники, для яких характерні більші міжквартильні розмахи та довші вуса, зокрема показники 5, 6 та 9, мають вищу мінливість. Це означає, що значення таких параметрів суттєво відрізняються між різними учасниками вибірки.

Показники з меншими прямокутниками, як 10, характеризуються нижчим рівнем варіативності та більшою однорідністю даних. Отже, значення параметра є більш стабільними та послідовними серед досліджуваних осіб.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ



Гістограма морфофункціональних показників дозволяє проаналізувати частотний розподіл значень для кожного параметра.

Вісь X відображає діапазон значень конкретного показника, тоді як вісь Y характеризує кількість спостережень, що потрапляють у відповідний інтервал.

Надає можливість оцінювання форми розподілу даних, наявності концентрації значень у певних діапазонах та виявлення асиметрії розподілу.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ

№	Показник вимірювання	Значення
1	Зріст, (см)	170
2	Індекс маси тіла, вага (кг)/зріст (см)	494.1176471
3	Індекс м'язової маси	9.375
4	Співвідношення розмаху рук до довжини тіла стоячи, (см)	5
5	Біг 30 м, (с)	4,5
6	Стрибок у довжину, (см)	230
7	Метання стінного м'яча 1 кг на відстань, (м)	6,3
8	Присідання 60 с, (кількість)	55
9	Віджимання від підлоги, (кількість)	23
10	Нахил тулуба стоячи, (см)	12
11	Човниковий біг 4x9 м, (с)	8,5
12	Швидкість реакції ловлі палиці, яка має помітки, (см)	25
13	Стрибки на скакалці 60 секунд, (кількість)	76
14	Викрут мірної лінійки, (см)	5

Готові показники вимірювання для розрахунку схильності дитини до кожного виду спорту

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень:

- проаналізовано сучасний стан методів спортивного відбору, інформаційних систем підтримки прийняття рішень та підходів до використання технологій машинного навчання у сфері спортивної орієнтації;
- досліджено морфофункціональні показники людини та визначено найбільш значущі параметри для оцінювання схильності до різних видів спорту;
- розроблено структуру кіберфізичної системи, яка поєднує апаратні засоби збору даних, серверну підсистему обробки інформації, базу даних та мобільний застосунок;
- реалізовано програмне забезпечення системи із застосуванням алгоритмів машинного навчання для аналізу морфофункціональних характеристик та формування персоналізованих рекомендацій;
- проведено експериментальні дослідження роботи моделей штучного інтелекту та статистичний аналіз даних для оцінювання ефективності функціонування системи.

Розроблений метод забезпечує комплексний аналіз морфофункціональних характеристик для підбору видів спорту. Кіберфізична система може бути використана для підвищення обґрунтованості вибору виду спорту відповідно до індивідуальних особливостей людини.



## ПУБЛІКАЦІЇ

- Pavlova, O., Alekseiko, V., Shvaiko, V., Vusatyi, N. El Bouhissi, H., & Gakh, R. Analysis of key parameters for choosing a kind of sport based on human morphofunctional indicators using statistical and machine learning methods. Joint Proceedings of the Workshops «AI for Environmental and Social Sustainability Workshop» and «AI and Interdisciplinary Innovations for Sustainable Development» (YAISD-WS 2025) co-located with Second International Conference of Young Scientists on Artificial Intelligence for Sustainable Development (YAISD 2025). Ternopil-Skomorochy, May 8-9, 2025. CEUR-WS. Vol. 3974. 155-164.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Здобувач: Валерія ШВАЙКО

Тема: Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини.

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра:

Кількість листів креслень \_\_\_; кількість сторінок записки \_\_\_

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У кваліфікаційній роботі розглянуто актуальну задачу створення кіберфізичної системи для персоналізованого підбору виду спорту на основі аналізу морфофункціональних показників людини. Запропоновано метод обробки та аналізу фізіологічних параметрів із використанням сучасних підходів машинного навчання.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню.

Кваліфікаційна робота магістра повністю відповідає виданому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до оцінювання фізичного стану людини.

У другому розділі розроблено метод обробки морфофункціональних показників.

У третьому розділі запропоновано архітектуру кіберфізичної системи.

У четвертому розділі наведено результати експериментального дослідження.

4. Позитивні сторони роботи: Робота має високий рівень наукової та практичної значущості.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: \_\_\_

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка кваліфікаційної роботи магістра:

Робота заслуговує на оцінку «відмінно» 95 (А).

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Бершак Олександр Володимирович, д.т.н, проф., зав. кафедр ИИ ХНУ

“ 1 травня ” \_\_\_\_\_ 2026р.



Зав. кафедри КІС  
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Валерія ШВАЙКО

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-24-2

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



## РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

### КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

Автор Валерія ШВАЙКО

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: доктор філософії, доцент Ольга ПАВЛОВА

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

#### Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають палежним чином оформлені посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 8,04% і адресується до 29 першоджер; та системою Anti-Plagiarism складає 16%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

13.05.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис  
  
Підпис  
  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Олег САВЕНКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Ольга ПАВЛОВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Валерія ШВАЙКО

**Співавтор:**

**Назва:** Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини

**Експерт:** Ольга ПАВЛОВА

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:**8.04%

**Коефіцієнт подібності 2:**4.03%

**Мікропробіли:** 3

**Заміна букв:** 12

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 6

**Дата створення звіту:** 2026-05-13 08:29:35.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

**Обґрунтування:**

2026-05-13



Доцент Андрій Нічепорук

Дата

експерт

# Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 16.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 10%

ID: 271408 Назва: МКР Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини Додано в БД: 2026-05-13 Автора: Валерія ШВАЙКО Керівники: Ольга ПАВЛОВА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	129124	916	26595 (21%)	208 (23%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми
269890	Назва: Звіт НДП Кіберфізична система персоналізованого підбору виду спорту на основі морфофункціональних показників людини Додано в БД: 2026-03-20 Автора: В. К. Швайко Керівники: Гнатчук Є.Г Консультанти: Опоненти:	20883 (16.0%)	141 (15.0%)