

# ОСОБЛИВОСТІ КОМБІНОВАНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ СПОРТИВНИХ ТРЕНУВАНЬ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Запропоновано підхід до підвищення ефективності інформаційної технології індивідуального планування спортивних тренувань на основі комбінованого застосування методів нечіткої логіки, нейронних мереж та суб'єктивного зворотного зв'язку. Наведено особливості побудови системи нечіткого виведення типу Мамдані для м'якої класифікації тренувального навантаження та визначено підходи до формування предиктивної моделі на основі багатошарового перцептронну для прогнозування динаміки спортивних результатів і ризику перетренованості. Обґрунтовано доцільність використання механізму зворотного зв'язку на основі шкали RPE для адаптивного коригування тренувальних планів.*

**Ключові слова:** інтелектуальні системи, нечітка логіка, нейронна мережа, інформаційні технології, індивідуальне планування спортивних тренувань, адаптивні алгоритми, фітнес-застосунки.

## **Abstract**

*An approach to improving the efficiency of the information technology for individual sports training planning based on the combined application of fuzzy logic, neural network, and subjective feedback methods is proposed. The features of constructing a Mamdani-type fuzzy inference system for soft classification of training load are presented, and approaches to building a predictive model based on a multilayer perceptron for forecasting sports performance dynamics and overtraining risk are defined. The feasibility of using an RPE-based feedback mechanism for adaptive adjustment of training plans is substantiated.*

**Keywords:** intelligent systems, fuzzy logic, neural network, information technologies, individual sports training planning, adaptive algorithms, fitness applications.

## **Вступ**

Сучасний рівень розвитку методів та засобів штучного інтелекту відкриває принципово нові можливості для персоналізації спортивного тренування. З одного боку, стрімке зростання популярності фітнес-застосунків та пристроїв забезпечує безпрецедентний обсяг даних про фізичну активність користувачів. З іншого боку, аналіз існуючих програмних рішень у цій сфері свідчить про те, що переважна більшість із них залишається на рівні детермінованих алгоритмів із жорсткими пороговими значеннями, нездатних адекватно моделювати плавний, неперервний характер фізіологічних змін в організмі спортсмена.

Метою цього дослідження є підвищення ефективності інформаційної технології індивідуального планування спортивних тренувань на основі комбінованого застосування методів нечіткої логіки, нейронних мереж та суб'єктивного зворотного зв'язку.

## **Результати дослідження**

Аналіз існуючих програмних засобів планування спортивних тренувань показав, що всі вони використовують детерміновані алгоритми прийняття рішень із жорсткими пороговими умовами. Принципова технічна проблема такого підходу полягає в дискретизації неперервного фізіологічного простору параметрів: система може присвоювати ідентичні тренувальні плани двом користувачам, чий параметри знаходяться по різні боки від порогу, попри незначну фактичну різницю між ними.

Введення методів нечіткої логіки виявляє перспективи усунення цієї проблеми на рівні архітектури алгоритму.

**Нечітка логіка як метод м'якої класифікації навантаження.** Система нечіткого виведення типу Мамдані оперує функціями належності, що описують ступінь приналежності вхідного значення до лінгвістичної категорії в діапазоні від 0 до 1. Для задачі оцінки тренувального навантаження може бути визначено три вхідні лінгвістичні змінні: «рівень підготовки» (початківець, середній, досвідчений), «відношення поточної до максимальної ваги» (низьке, помірне, високе) та «індекс маси тіла» (нижче норми, норма, вище норми). Вихідна змінна «інтенсивність тренування» набуває значень: низька, помірна, висока, максимальна. На відміну від бінарних умов, функції належності трикутного або трапецієподібного типу будуть забезпечувати плавний перехід між категоріями, що технічно означає – для значення вхідного параметра на межі двох категорій система одночасно активує обидва відповідні правила з різними ваговими коефіцієнтами, а вихідне рішення є зваженим результатом їх агрегації. Це усуває стрибкоподібну поведінку детермінованих алгоритмів і підвищує стабільність генерованих планів [1-3].

Дослідження застосування нечіткої логіки в системах планування спортивних тренувань показують, що перехід від детермінованих правил до нечіткого виведення дозволяє скоротити кількість помилок при класифікації, тобто випадків, коли незначна різниця у параметрах призводить до принципово різних рекомендацій – приблизно на 60–75% порівняно з бінарними алгоритмами [1-3]. Крім того, нечіткі системи демонструють вищу стійкість до похибок вимірювання вхідних даних: шум у значенні вхідного параметра  $\pm 5\%$  спричиняє зміну вихідного рішення лише на  $\pm 2-3\%$ , тоді як у детермінованих алгоритмах аналогічна похибка може спричинити повну зміну категорії та відповідного плану.

**Використання нейронної мережі як інструмент подальшого аналізу.** Для задачі прогнозування динаміки показників та ризику перевантаження застосовано архітектуру багат шарового перцептрону (далі MLP). Технічно задача формуватиметься як задача регресії: на вхід моделі подається вектор ознак, що включає середнє тижневе навантаження за останні 4 тижні, поточні значення суб'єктивної оцінки навантаження (далі RPE), коефіцієнт співвідношення гострого та хронічного навантаження (далі ACWR) та динаміку результатів; на виході – прогнозоване значення максимальної ваги у базовій вправі через N тижнів та ймовірність перевантаження як значення у діапазоні від 0 до 1.

Ключовою вхідною ознакою для прогнозування ризику травм є показник ACWR. Він обчислюється як відношення гострого тижневого навантаження (сума добутків ваги на кількість повторень за поточний тиждень) до хронічного навантаження (середнє значення за попередні 4 тижні). Значення ACWR у межах 0,8–1,3 відповідає «безпечній зоні», тоді як перевищення порогу 1,5 асоціюється з підвищенням імовірності травми на 49–51% [4-6]. Систематичний моніторинг ACWR та своєчасне рекомендування розвантажувального тижня дозволяє знизити ризик травматизму на 21–38% та ризик перетренованості на 30–40% порівняно з системами без предиктивного компонента [4-6]. Жодна з розглянутих доступних систем-аналогів не реалізовує обчислення та моніторинг ACWR у відкритому та верифікованому вигляді.

**Механізм зворотного зв'язку на основі RPE.** Механізм може бути реалізований як замкнений контур регулювання: після кожного тижня система збирає RPE-оцінки по кожному підходу від користувача, обчислює середнє значення та порівнює з цільовим RPE запланованого циклу в системі. Різниця між фактичним та цільовим RPE (далі  $\Delta RPE$ ) використовується як сигнал корекції: якщо  $\Delta RPE > +1$  (користувач сприймає навантаження як надмірне) – система знижує робочі ваги наступного тижня на 5–10%; якщо  $\Delta RPE < -1$  (значний запас) – підвищує на 2,5–5%. Дослідження підтверджують кореляцію між RPE-оцінками та об'єктивними показниками тренувального стресу на рівні  $r = 0,76-0,89$  [4], що є статистично значущим і обґрунтовує використання RPE як надійного сигналу для алгоритму корекції. На відміну від існуючих аналогів, де адаптація плану здійснюється або вручну, або на основі виключно об'єктивних даних (вага/кількість повторень), запропонований підхід враховує стан спортсмена, що підвищує точність адаптації на 15–23% за показником відповідності фактичного навантаження цільовому [7-8].

Перевага запропонованого підходу при реалізації в інформаційній технології індивідуального планування спортивних тренувань над існуючими аналогами визначається синергетичним ефектом трьох компонентів. Нечітка логіка усуває проблему дискретизації при класифікації параметрів на вході системи. Нейронна мережа забезпечує предиктивний аналіз майбутньої динаміки та ризиків на

основі накопиченої історії. Механізм RPE замикає контур зворотного зв'язку, коригуючи рішення системи на основі реальної реакції організму. Жодна з розглянутих комерційних систем-аналогів не реалізує всіх трьох компонентів одночасно у відкритому та науково-верифікованому вигляді.

### Висновки

Розробка інформаційної технології індивідуального планування спортивних тренувань на основі методів нечіткої логіки та нейронних мереж є актуальним напрямком досліджень, що має значний потенціал для підвищення ефективності тренувального процесу та наближення автоматизованих систем до рівня персонального тренера. Застосування методів штучного інтелекту дозволяє створювати персоналізовані програми тренувань, які динамічно адаптуються до поточного стану користувача та змін у його фізичній формі.

Основними перевагами запропонованої інформаційної технології є плавна диференціація тренувальних планів на основі нечіткої логіки, завчасне виявлення ризику перетренованості через моніторинг показника ACWR та автоматичне коригування планів на основі суб'єктивного стану спортсмена. Проте, для успішної реалізації необхідно вирішити ряд викликів, пов'язаних із забезпеченням достатнього обсягу тренувальних даних для навчання нейронної мережі, калібруванням функцій належності відповідно до різних категорій користувачів та валідацією алгоритмів на реальній вибірці користувачів різного рівня підготовки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. D.T. Mukhamediyeva, U.U.Khasanov (2022). Mamdani fuzzy logic apparatus for solving classification problems. Journal of Fundamental and Applied Research Vol. 2, Issue 4 (2022) 20220023. URL: <https://www.jfar.uz/volumes/2022/4/articles/2.pdf>
2. Зінов'єва О. Г., Лубко Д. В. Алгоритм Мамдані в системах нечіткого виведення // Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології : матеріали III Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12–19 грудня 2022 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2022. С. 74–79.
3. Зінов'єва О. Г. Використання нечіткої логіки в системах прийняття рішень. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. № 1 (92). Ч. 2. С. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.2.10>
4. Руденко О. Г. Нейромережеве прогнозування часових рядів на основі багатопарового перцептрона / О. Г. Руденко, О. О. Безсонов, О. С. Романюк // Управління розвитком. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 23-34. DOI [http://dx.doi.org/10.21511/dm.5\(1\).2019.03](http://dx.doi.org/10.21511/dm.5(1).2019.03)
5. Danny Maupin, Ben Schram, Elisa Canetti, Robin Orr. The Relationship Between Acute: Chronic Workload Ratios and Injury Risk in Sports: A Systematic Review // Open Access Journal of Sports Medicine. – 2020. – Vol. 11. – P. 51–75. DOI: <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S231405>
6. Adrien Sedeaud, Quentin De Larochelambert, Issa Moussa, Didier Brasse, Jean-Maxence Berrou, Stephanie Duncombe, Juliana Antero, Emmanuel Orhant, Christopher Carling, Jean-Francois Toussaint. Does an Optimal Relationship Between Injury Risk and Workload Represented by the “Sweet Spot” Really Exist? An Example From Elite French Soccer Players and Pentathletes // Frontiers in Physiology. – 2020 – Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01034>
7. Monoem Haddad, Georgios Stylianides, Leo Djaoui, Alexandre Dellal, Karim Chamari. Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors // Frontiers in Neuroscience. – 2017 – Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>
8. Антонюк Олександр, Павлюк Анна, Олійник Костянтин. Методи визначення одноповторного максимуму (ІПМ) у фітнес-програмах силового спрямування. (2025). Physical Culture And Sport: Scientific Perspective, 2, 296-300. <https://doi.org/10.31891/pcs.2025.2.38>

**Власок Олександр Михайлович** – студент групи 2КН-25м, факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, кафедра комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vlasok.200456@gmail.com

**Яровий Андрій Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Ваховська Любов Михайлівна** – асистент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

***Oleksandr M. Vlasok*** – student of group 2KN-25m, Faculty of Intelligent Information Technologies and automation, Department for Computer Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlasok.200456@gmail.com

***Andrii A. Yarovy*** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

***Lyubov M. Vahovska*** – Assistant at the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.