

Л. І. КУБЛІЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри цифрових технологій в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1015-3209

А. Ю. ХОЛОДНИЦЬКА

магістрант кафедри цифрових технологій в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0007-1482-232X

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ АНАЛІЗУ ТРЕНУВАЛЬНИХ ФАКТОРІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ СПОРТИВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У статті досліджено проблему оцінки впливу тренувальних факторів на спортивні результати із застосуванням статистичних методів аналізу даних. Основна мета роботи полягає в розробці та практичній апробації методики, яка включає: проведення кореляційного аналізу для відбору найбільш значущих факторів, що впливають на спортивні результати; побудову моделі множинної лінійної регресії з оцінкою параметрів методом найменших квадратів; перевірку статистичної значущості коефіцієнтів регресії та адекватності побудованої моделі за допомогою критеріїв Стюдента і Фішера-Снедекора відповідно. Для демонстрації методики використано експериментальний набір даних обсягом 50 спостережень, який включає такі тренувальні фактори, як кількість спожитої води, тривалість сну, кількість занять на тиждень, тривалість одного заняття, місце проведення тренування, часовий індекс. Цільовою змінною виступає час подолання дистанції 1000 м. Практична реалізація запропонованої методики виконана у вигляді веб-застосунку з клієнт-серверною архітектурою. Користувач вводить дані про фактори й результати, після чого система автоматично виконує статистичний аналіз – вибирає значущі фактори, оцінює параметри моделі, перевіряє їхню статистичну достовірність, робить прогноз на вказану майбутню дату. Запропонований підхід забезпечує можливість здійснювати персоналізований аналіз тренувального процесу. Використання статистичних методів дає змогу підвищити обґрунтованість управлінських рішень у спортивній підготовці, сприяє досягненню більш стабільних і прогнозованих результатів.

Ключові слова: статистичні моделі, кореляційний аналіз, множинна лінійна регресія, метод найменших квадратів, критерій Стюдента, критерій Фішера-Снедекора, прогнозування, тренувальні фактори, спортивні результати, персоналізація тренувального процесу, веб-застосунок.

L. I. KUBLII

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Digital Technologies in Energy
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-1015-3209

A. YU. KHOLODNYTSKA

Master's Student at the Department of Digital Technologies in Energy
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0007-1482-232X

STATISTICAL MODELS FOR ANALYSING TRAINING FACTORS AND PREDICTING SPORTS RESULTS

The article examines the problem of assessing the impact of training factors on sports results using statistical methods of data analysis. The main objective of the work is to develop and test a methodology that includes: conducting a correlation analysis to select the most significant factors that influence sports results; building a multiple linear regression model with parameter estimation using the least squares method; checking the statistical significance of regression coefficients and the adequacy of the constructed model using Student's and Fisher-Snedecor criteria, respectively. To demonstrate

© Кублій Л. І., Холодницька А. Ю., 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

the methodology, an experimental data set of 50 observations was used, which includes the following training factors: amount of water consumed, duration of sleep, number of sessions per week, duration of one session, training location, time index. The target variable Y is the time taken to cover a distance of 1000 m. The practical implementation of the proposed methodology is carried out in the form of a web application with client-server architecture. The user enters data on factors and results in the form of a table, after which the system automatically performs statistical analysis – selects significant factors, evaluates model parameters, checks their statistical reliability, and calculates a forecast for a specified future date. The proposed approach provides the opportunity to perform a personalized analysis of the training process. The use of statistical methods makes it possible to improve the validity of management decisions in sports training and contributes to achieving more stable and predictable results.

Key words: statistical models, correlation analysis, multiple linear regression, least squares method, Student's criterion, Fisher-Snedecor criterion, forecasting, training factors, sports results, personalization of the training process, web application.

Постановка проблеми

У сучасних умовах дедалі більше людей долучаються до занять спортом. Основними мотивами є прагнення до здорового способу життя, підвищення витривалості й сили. Проте навіть за подібних умов – однакових програм, навантажень і тривалості тренувань – результати можуть істотно відрізнятися між окремими людьми. За даними дослідників приблизно 80 % цих відмінностей пояснюються генетичними особливостями організму [1]. Тобто, та сама програма тренувань може по-різному впливати на індивідуальний результат спортсмена. У зв'язку з цим зростає потреба в персоналізованому аналізі факторів, які можуть впливати на результативність занять. До таких чинників можна віднести тривалість сну, рівень гідратації, прийом харчових добавок, кількість занять на тиждень, застосування певного тренувального обладнання тощо.

З метою виявлення закономірностей і побудови моделей прогнозування доцільним є використання статистичних методів. Одним із найбільш поширених інструментів для оцінки впливу кількох незалежних змінних на один результативний показник є множинна лінійна регресія, яка дає можливість кількісно визначити силу впливу кожного фактора і побудувати модель прогнозу спортивного результату. Перед застосуванням регресійного аналізу доцільно провести кореляційне дослідження, яке допоможе встановити силу і напрямок зв'язку між змінними і попередньо відібрати ті змінні, які найбільше впливають на результат. Для оцінки статистичної значущості впливу кожного з факторів на результативний показник можна додатково використати дисперсійний аналіз, у якому порівнюються факторна і залишкова дисперсії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У [2] викладено базові теоретико-методичні засади побудови статистичних моделей у спортивній підготовці. Зокрема, розглянуто загальні підходи до моделювання процесу підготовки спортсменів, детально проаналізовано метод регресійного аналізу, наведено приклад його застосування на основі даних тесту швидко-силового навантаження. Окрему увагу приділено методу екстраполяції, який дає можливість здійснювати прогнозування майбутньої динаміки спортивних результатів на основі виявлених статистичних закономірностей, зокрема світових рекордів.

У [3] обґрунтовано застосування факторного аналізу як математичного інструмента для формування латентних змінних, які описують ключові компоненти тренувального процесу в жіночому гандболі.

У [4] проведено множинний регресійний аналіз показників, які впливають на результати у спринтерському бігу. Дослідження ґрунтувалося на даних світового рейтингу, які після фільтрації становили 1278 записів із початкових 3000. До моделі було включено сім незалежних змінних, для кожної з яких визначався вплив на результативний показник. Отримані результати підтвердили доцільність використання регресійного підходу для кількісної оцінки значущості факторів, водночас автори підкреслюють потребу в пошукові додаткових чинників, здатних більшою мірою визначати кінцевий спортивний результат.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка і практична реалізація статистичних моделей, які дають можливість оцінити вплив тренувальних факторів на спортивні результати і здійснювати прогнозування на індивідуальному рівні.

Викладення основного матеріалу дослідження

Основою дослідження є застосування статистичних моделей для аналізу тренувальних факторів і прогнозування спортивних результатів.

Будується лінійна регресійна модель. Перед її побудовою виконується кореляційний аналіз, який дає змогу виявити взаємозв'язки між змінними та уникнути мультиколінеарності (існування кореляційного зв'язку між факторними змінними). На цьому етапі відбираються найбільш релевантні й незалежні фактори, які справді можуть впливати на спортивний результат, виключаючи другорядні або надлишкові фактори.

Для кількісної оцінки впливу різних факторів на спортивні показники використовується алгоритм, який реалізує такі етапи:

1) одержання параметрів моделі. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії здійснюється методом найменших квадратів, який мінімізує суму квадратів відхилень прогнозованих значень від фактичних експериментальних. Це

дає змогу отримати параметри, які найбільш точно описують залежність спортивного результату від сукупності тренувальних факторів;

2) перевірка статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії. Для кожного параметра побудованої моделі проводиться оцінка за критерієм Ст'юдента [5, с. 65]. Це дає змогу визначити, чи є вплив відповідного фактора на результат випадковим чи статистично достовірним;

3) оцінка адекватності моделі (перевірка статистичної значущості рівняння в цілому). Загальна якість побудованої регресійної моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера-Снедекора [5, с. 64]. Цей етап дає можливість оцінити, чи є модель придатною для прогнозування. Якщо модель не проходить перевірку, це сигналізує про необхідність зміни набору факторів або використання більш складної статистичної методики.

Розглянемо приклад побудови регресійної моделі. Щоб наочно продемонструвати застосування описаної методики, використано експериментальний набір даних, який включає такі тренувальні фактори: X_1 – кількість спожитої води (л/добу); X_2 – тривалість сну (години); X_3 – кількість занять на тиждень; X_4 – тривалість одного заняття (хвилини); X_5 – місце проведення тренування (0 – свіже повітря, 1 – спортивний зал); X_6 – часовий індекс (порядковий номер тижня виміру). Цільовою змінною Y є час подолання дистанції 1000 м (хвилини). Фрагмент вхідних даних (обсяг вибірки $n = 50$) подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальний набір даних

№ з/п	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y	№ з/п	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
1	2,10	7,40	2	60	1	1	6,60	26	2,20	7,70	2	60	1	26	5,35
2	2,30	7,80	3	75	0	2	6,95	27	2,10	7,60	3	60	1	27	5,34
3	2,20	7,60	3	75	1	3	6,58	28	2,00	7,80	3	60	1	28	5,29
4	1,90	8,00	4	90	0	4	6,89	29	1,90	7,90	3	120	1	29	5,29
5	2,00	7,70	4	90	1	5	6,36	30	2,20	7,60	2	90	1	30	5,24
6	2,10	7,60	3	60	0	6	6,85	31	2,10	7,70	2	120	1	31	5,18
7	2,00	7,80	3	60	1	7	6,24	32	2,00	7,60	3	120	1	32	5,16
8	2,30	7,50	3	90	0	8	6,79	33	1,90	7,80	4	75	0	33	5,70
9	2,20	7,60	2	90	1	9	6,12	34	2,10	7,90	4	75	1	34	5,12
10	2,10	7,70	2	120	1	10	6,10	35	2,20	8,00	4	60	0	35	5,63
11	2,00	7,60	3	120	1	11	6,00	36	2,30	7,70	4	60	1	36	5,08
12	1,90	7,80	4	75	0	12	6,65	37	2,00	7,30	2	90	0	37	5,55
13	2,10	7,90	4	75	1	13	5,90	38	2,10	7,40	2	90	1	38	5,05
14	2,20	8,00	4	60	0	14	6,61	39	2,20	7,50	3	75	0	39	5,45
15	2,30	7,70	4	60	1	15	5,93	40	2,00	7,60	3	75	1	40	4,98
16	2,00	7,30	2	90	0	16	6,58	41	2,10	7,70	4	90	0	41	5,38
17	2,10	7,40	2	90	1	17	5,78	42	2,20	7,50	4	90	0	42	5,31
18	2,20	7,50	3	75	0	18	6,55	43	1,90	7,90	4	120	0	43	5,28
19	2,00	7,60	3	75	1	19	5,65	44	2,20	8,00	2	120	0	44	5,25
20	2,10	7,70	4	90	0	20	6,50	45	2,30	7,60	2	75	0	45	5,20
21	2,20	7,50	4	90	1	21	5,61	46	2,00	7,50	2	75	0	46	5,19
22	1,90	7,90	4	120	1	22	5,49	47	2,20	7,70	2	60	0	47	5,17
23	2,20	8,00	2	120	1	23	5,42	48	2,10	7,60	3	60	1	48	4,72
24	2,30	7,60	2	75	1	24	5,43	49	2,00	7,80	3	60	0	49	5,12
25	2,00	7,50	2	75	1	25	5,37	50	1,90	7,90	3	120	1	50	4,70

Зауважимо, що серед факторів є номінативна змінна X_5 , але її значення оцифровані (0 і 1), тому замість точкового бісеріального коефіцієнта кореляції Пірсона (його обчислюють у випадку, якщо одна змінна є кількісною, а інша номінативною), формула якого є алгебраїчним спрощенням формули коефіцієнта лінійної парної кореляції Пірсона, всі розрахунки можна виконувати за формулою коефіцієнта лінійної парної кореляції. Також оцифровані значення змінної X_5 можна використовувати при побудові рівняння лінійної регресії.

Перед побудовою регресійної моделі треба виявити найсильніші зв'язки між цільовою змінною Y і факторами $X_1, X_2, \dots, X_6$, а також дослідити існування кореляційного зв'язку між факторними змінними для уникнення мультиколінеарності (у множинній регресійній моделі не можна використовувати змінні, кореляції між якими за модулем близькі до 1). Для цього знайдемо значення коефіцієнтів лінійної парної кореляції Пірсона. Одержану кореляційну матрицю подано в таблиці 2.

З таблиці 2 видно, що найбільший вплив на цільову змінну Y має фактор X_6 (часовий індекс) із коефіцієнтом кореляції $-0,8711$, а також помірний вплив чинить фактор X_5 (місце проведення тренування) $-0,3007$. Кореляційний зв'язок між факторами X_5 і X_6 дуже слабкий $-0,1839$. Тому для побудови моделі методом найменших квадратів доцільно включити тільки два фактори ($m = 2$) – X_5, X_6 .

Таблиця 2

Кореляційна матриця

Змінна	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Y	1	0,0849	-0,0446	0,1811	-0,1509	-0,3007	-0,8711
X_1	0,0849	1	-0,1582	-0,1790	-0,3155	-0,0464	-0,0720
X_2	-0,0446	-0,1582	1	0,4488	0,1540	-0,0481	0,0418
X_3	0,1811	-0,1790	0,4488	1	-0,1126	-0,1706	-0,0913
X_4	-0,1509	-0,3155	0,1540	-0,1126	1	0,1331	0,0683
X_5	-0,3007	-0,0464	-0,0481	-0,1706	0,1331	1	-0,1839
X_6	-0,8711	-0,0720	0,0418	-0,0913	0,0683	-0,1839	1

Коефіцієнти моделі множинної лінійної регресії обчислюють за формулою методу найменших квадратів:

$$B = (U^T \cdot U)^{-1} \cdot U^T \cdot Y,$$

де: U – матриця факторів (у першому стовпчику матриці розміщуються тільки 1); U^T – транспонована матриця U ; Y – вектор спостережуваних значень цільової змінної.

Рівняння регресії записується у вигляді:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_m \cdot x_m.$$

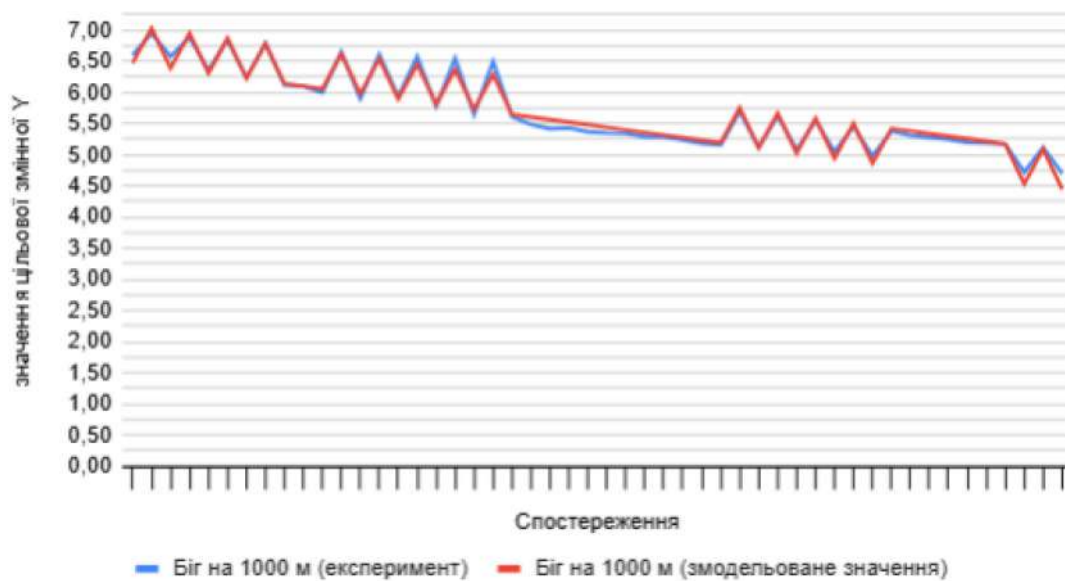
У результаті обчислень отримано такі значення коефіцієнтів:

$$b_0 = 7,1157, \quad b_1 = -0,6010, \quad b_2 = -0,0413.$$

Отже, побудована модель прогнозування часу подолання дистанції 1000 м має вигляд:

$$y = 7,1157 - 0,6010 \cdot X_5 - 0,0413 \cdot X_6.$$

Порівняння експериментальних і прогнозованих значень продемонстровано на рис. 1.

Рис. 1. Порівняння експериментальних і прогнозованих значень Y

Середня похибка прогнозу обчислюється за формулою:

$$\delta_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_i^p|}{y_i} \cdot 100 \%,$$

де y_i – експериментальне значення цільової змінної, y_i^p – прогнозоване значення, n – кількість спостережень.

Максимальна похибка визначається так:

$$\delta_{\text{макс}} = \max_{i=1..n} \frac{|y_i - y_i^p|}{y_i} \cdot 100 \%.$$

За наведеними даними середня похибка прогнозу становить 1,28 %, а максимальна – 5,34 %.

Значущість коефіцієнтів регресійної моделі перевіряється за допомогою критерію Стюдента; t-статистики обчислюються за формулами:

$$t_0 = |b_0| \frac{\sqrt{(n-m-1)}}{\sigma_0}, \quad t_i = |b_i| \frac{\sqrt{(n-m-1)}}{\sigma_0} \sigma_i, \quad i=1, \dots, m,$$

де:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - y_j^p)^2}, \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j^i - x_{сеп}^i)^2}.$$

Тут b_0, b_i – оцінки коефіцієнтів регресії, n – кількість спостережень, m – кількість факторів, y_j^p – прогнозоване значення залежної змінної для j -го спостереження, x_j^i – значення i -го фактора для j -го спостереження, $x_{сеп}^i$ – середнє значення i -го фактора.

Для коефіцієнтів побудованої регресійної моделі отримано такі розрахункові значення t-статистик:

$$t_0 = 536,3578, \quad t_1 = 22,3599, \quad t_2 = 44,9407.$$

Оскільки всі значення при рівні значущості $\alpha = 0,05$ (двобічна критична область) і кількості ступенів свободи $n - m - 1 = 47$ перевищують критичне значення $t_{кр}(0,05; 47) = 2,0117$, можна зробити висновок про статистичну значущість відповідних коефіцієнтів моделі.

Адекватність побудованої моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера-Снедекора, емпіричне значення якого розраховують як відношення факторної і залишкової дисперсій:

$$F_{розрах} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^p - y_{сеп})^2 (n-m-1)}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2 m},$$

де n – кількість проведених експериментів; m – кількість факторів у моделі.

Розраховане значення $F_{розрах} = 1074,9956$ перевищує критичне $F_{кр}(0,05; 2; 47) = 3,1951$ для рівня значущості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи чисельника $m = 2$ і знаменника $n - m - 1 = 47$, що свідчить про адекватність моделі.

Середньоквадратична похибка прогнозу розраховується за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}$$

і для наведених даних становить 0,0919.

Враховуючи результати проведеного аналізу, можна стверджувати, що побудована модель є статистично надійною, тобто придатною для прогнозування.

Коефіцієнт детермінації (величина достовірності апроксимації)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^p - y_{сеп})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}$$

вказує, наскільки побудована регресійна модель відповідає конкретним експериментальним даним – чим ближче його значення до 1, тим кращою є апроксимація. Для одержаної двофакторної моделі $R^2 = 0,9786$.

Чим більше факторів буде використано в моделі, тим значення R^2 буде більшим, навіть якщо ці фактори не мають значного впливу на цільову змінну. Крім того, додаючи фактори, можна одержати складнішу модель, яка буде узагальнювати дані гірше, ніж простіша модель. Нормований коефіцієнт детермінації

$$R_{норм}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-m}$$

враховує кількість використовуваних факторів і, якщо доданий фактор не покращує модель, то нормований коефіцієнт зменшиться. Для побудованої моделі $R_{норм}^2 = 0,9777$.

У побудованій вище моделі використано фактори X_5 і X_6 . Якщо проаналізувати кореляційну матрицю (таблиця 2), то можна виділити ще два фактори X_3 і X_4 (відповідні коефіцієнти кореляції – 0,1811 і –0,1509), які гіпотетично можуть покращити модель. Кореляційні зв'язки для всіх можливих пар змінних X_3, X_4, X_5, X_6 незначні – за модулем далекі від 1 (найсильнішим, як і в попередньому випадку, є зв'язок між X_5 і X_6 – 0,1839).

Побудуємо рівняння множинної лінійної регресії для чотирьох факторів:

$$y = 7,1366 + 0,0084 \cdot X_3 - 0,0006 \cdot X_4 - 0,5942 \cdot X_5 - 0,0412 \cdot X_6.$$

Середня похибка прогнозу становить $\delta_{\text{сер}} = 1,21 \%$, а максимальна – $\delta_{\text{макс}} = 5,69 \%$ (у двофакторній моделі відповідно 1,28 % і 5,34 %) – отже, в чотирифакторній моделі середня похибка трохи зменшилася, а максимальна трохи зросла. t-статистики коефіцієнтів рівняння регресії відповідно рівні: $t_0 = 83,7049$, $t_1 = 0,4981$, $t_2 = 0,9882$, $t_3 = 20,9885$, $t_4 = 43,1839$; критичне значення $t_{\text{кр}}(0,05; 45) = 2,0141$; тому статистично значущими є коефіцієнти моделі тільки при змінних X_5 і X_6 . Проте $F_{\text{розрах}} = 529,9704$ перевищує критичне $F_{\text{кр}}(0,05; 4; 45) = 2,5790$, що підтверджує адекватність чотирифакторної моделі. Середньоквадратична похибка прогнозу становить $\Delta = 0,0906$ (для двофакторної моделі – 0,0919). Для чотирифакторної моделі $R^2 = 0,9792$ (трохи збільшився порівняно з 0,9786), $R^2_{\text{норм}} = 0,9774$ (трохи зменшився порівняно з 0,9777). Отже, із двох побудованих моделей перевагу надамо двофакторній. Щодо трифакторної моделі – треба провести дослідження.

Описану вище методику розрахунків реалізовано у веб-застосунку, який надає користувачам інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс для введення та аналізу даних.

Спершу користувач заповнює таблицю, вказуючи тренувальні фактори і відповідні спортивні результати. Аналіз може здійснюватися як за стандартними показниками – силою, гнучкістю, швидкістю, витривалістю, спритністю, так і за власними показниками, назви яких користувач задає самостійно (наприклад, тривалість стійки на руках без опори на стіну).

На основі введених даних застосунок виконує статистичний аналіз із використанням вказаного вище алгоритму. Крім оцінки впливу факторів, система реалізує прогнозування спортивних результатів на обрану користувачем майбутню дату, з урахуванням внеску кожного фактора на основі побудованої моделі.

Для гнучкішого контролю тренувального процесу у веб-застосунку передбачено можливість ведення щоденника тренувальних програм, що дає змогу фіксувати кількість повторень, час виконання вправ та інші параметри. Завдяки цьому можна відслідковувати прогрес і коригувати план тренувань відповідно до отриманих результатів.

Архітектуру веб-застосунку реалізовано за клієнт-серверною моделлю. Клієнтську частину розроблено з використанням фреймворку Angular [6], який спеціалізується на створенні односторінкових додатків (SPA). Серверну частину побудовано на базі фреймворку NestJS [7], призначеного для розробки застосунків на платформі Node.js. Вибір фреймворків Angular і NestJS зумовлений їхньою схожою компонентною архітектурою і використанням мови TypeScript, що сприяє підвищенню якості коду, полегшує його підтримку і дає можливість виявляти помилки на ранніх етапах розробки. Для забезпечення зберігання даних використано об'єктно-реляційну систему керування базами даних PostgreSQL [8]. Взаємодія між серверною частиною і базою даних здійснюється через бібліотеку TypeORM [9], яка базується на технології об'єктно-реляційного відображення.

Висновки

У рамках дослідження здійснено аналіз статистичних підходів, які застосовуються для оцінки впливу тренувальних факторів на спортивні результати. Запропоновано методику побудови регресійної моделі із застосуванням методу найменших квадратів для оцінки параметрів, а також застосування критеріїв Стюдента і Фішера-Снедекора відповідно для перевірки статистичної значущості коефіцієнтів та адекватності моделі.

Практична апробація розробленої моделі на основі експериментальних даних підтверджує її здатність адекватно описувати залежність спортивних показників від факторів тренувального процесу, що свідчить про доцільність використання запропонованого підходу.

Для забезпечення зручності й доступності використання методики створено веб-застосунок, який надає можливість інтерактивно вводити тренувальні фактори і відповідні результати, здійснювати статистичний аналіз і виконувати прогнозування спортивних показників на задану майбутню дату.

Список використаної літератури

1. Старостенко І. А., Деменко М. М. Сучасне бачення генетики у спорті. *Світ наукових досліджень* : матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції, м. Тернопіль, Україна, м. Переворськ, Польща, 16–17 березня 2023 р. Тернопіль : ФОП Шпак В. Б., 2023. Вип. 17. С. 210–211. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/94601> (дата звернення: 19.08.2025).
2. Костюкевич В. М., Войтенко С. М., Вознюк Т. В. Моделювання та прогнозування в спорті : навч. посібник. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2024. 122 с. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/62557715-16a3-4510-85fc-9e914a144402> (дата звернення: 19.08.2025).
3. Андронов В., Тищенко В. Факторний аналіз як інструмент оптимізації тренувального процесу в жіночому гандболі. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15*. 2024. Вип. 7(180). С. 1620. URL: <https://spppc.com.ua/index.php/journal/article/view/2012/1985> (дата звернення: 19.08.2025).
4. Множинний регресійний аналіз показників, що впливають на спортивний результат у спринтерському бігу / Чухловіна В. та ін. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова*.

Серія 15. 2024. Вип. 5(178). С. 215–219. URL: <https://spppc.com.ua/index.php/journal/article/view/1951/1923> (дата звернення: 19.08.2025).

5. Бідюк П. І., Данилов В. Я., Жиров О. Л. Прикладна статистика : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 186 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/678e0b39-a61d-4b34-9c61-f275eb358ed8/content> (дата звернення: 19.08.2025).

6. Angular : веб-сайт. URL: <https://angular.io/> (дата звернення: 19.08.2025).

7. NestJS : веб-сайт. URL: <https://docs.nestjs.com/> (дата звернення: 19.08.2025).

8. PostgreSQL : Documentation : веб-сайт. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 19.08.2025).

9. TypeORM : веб-сайт. URL: <https://typeorm.io/> (дата звернення: 19.08.2025).

References

1. Starostenko, I. A., & Demenko, M. M. (2023). Modern view of genetics in sports. *World of Scientific Research : Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific Online Conference*, Ternopil, Ukraine; Przeworsk, Poland, March 16–17, 2023 (Vol. 17, pp. 210–211). Ternopil: FOP Shpak V. B. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/94601> (in Ukrainian).

2. Kostiukevych, V. M., Voitenko, S. M., & Vozniuk, T. V. (2024). Modeling and forecasting in sports [Textbook]. Vinnytsia: Nilan-LTD. 122. <https://dspace.vspu.edu.ua/items/62557715-16a3-4510-85fc-9e914a144402> (in Ukrainian).

3. Andronov, V., & Tyshchenko, V. (2024). Factor Analysis as a Tool for Optimizing the Training Process in Women's Handball. *Scientific Journal of Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University, Series 15*, 7(180), 16–20. <https://spppc.com.ua/index.php/journal/article/view/2012/1985> (in Ukrainian).

4. Chukhlovina, V., Dolbysheva, N., Stepanenko, D., Pechko, H., & Pirogova, K. (2024). Multiple regression analysis of indicators influencing the sports result in sprinting. *Scientific Journal of Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University, Series 15*, 5(178), 215–219. <https://spppc.com.ua/index.php/journal/article/view/1951/1923> (in Ukrainian).

5. Bidiuk, P. I., Danylov, V. Ya., & Zhyrov, O. L. (2023). Applied statistics [Textbook]. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/678e0b39-a61d-4b34-9c61-f275eb358ed8/content> (in Ukrainian).

6. Angular. (2010–2025). <https://angular.io/> (in English).

7. NestJS. (2017–2025). <https://docs.nestjs.com/> (in English).

8. PostgreSQL Documentation. (1996–2025). <https://www.postgresql.org/docs/> (in English).

9. TypeORM. (2025). <https://typeorm.io/> (in English).

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025