DOI https://doi.org/10.15407/csc.2022.01.064
УДК 517.7

Є.А. САВЧЕНКО-СИНЯКОВА, к.т.н., с.н.с., Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України,
м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 40, ORCID: 0000-0003-4851-9664,
savchenko_e@meta.ua

К.Ю. САВЧЕНКО, магістр, Національний університет фізичного виховання і спорту України,
м. Київ, вул. Фізкультури, 1, ORCID: 0000-0003-3552-2717
constantine.savchenko@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТРЕНУВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ВІТРИЛЬНОМУ СПОРТІ

Проведено огляд методів математичного моделювання, які можуть бути застосовані для моделювання оптимального фізичного навантаження в спорті. Показано, що не дивлячись на велике коло застосувань, задача підбору оптимального фізичного навантаження спортсменів залишається актуальною. Наведено ряд показників, що характеризують підбір оптимального фізичного навантаження у вітрильному спорті. Запропоновано підхід до побудови математичної моделі для підбору оптимального фізичного навантаження молодих яхтсменів.

Ключові слова: *математична модель, моделювання, оптимальне навчальне навантаження, вітрильний спорт, індуктивне моделювання, МГУА.*

ВСТУП

Вітрильний спорт є видом спорту, що висуває високі вимоги до фізичної підготовки спортсмена. Не дивлячись на те, що цим спортом займаються в світі досить давно, не так багато уваги фахівців приділено впливу навантаження спортсмена при заняттях вітрильним спортом на фізичну втому спортсмена, наприклад, на такі показники, як тести на силу хвата, час плавання проти вітру та ін. [1-3].

Застосування методів математичного моделювання на етапі підготовки спортсменів для підбору оптимального фізичного навантаження, може дозволити зробити підготовку спортсменів до змагань більш ефективною.

Для визначення методу моделювання, який дозволить досить просто та легко знаходити залежність оптимального фізичного навантаження від фізіологічних показників спортсменів, проведено огляд найбільш популярних методів моделювання, що використовуються в спорті.

Таким чином, метою роботи є дослідити задачу моделювання оптимального тренувального навантаження у вітрильному спорті та запропонувати ефективний метод побудови моделей залежності показників, що характеризують фізичне навантаження від показників, що характеризують стан спортсменів.

Постановка задачі моделювання оптимального тренувального навантаження

Спортивна підготовка — це педагогічно організований безперервний процес взаємодії між спортсменом та його тренером, де роль тренера — бути вчителем і організатором, який бере на себе керівництво діяльністю спортсмена та

організацією його тренувальних занять [4, 5]. Тренувальні вправи це точно визначені завдання, які вимагають фізичних зусиль і мають певним чином покращити спортивні результати спортсмена. Кінцевою метою тренувального заняття є вдосконалення здібностей спортсмена, іншими словами, максимального використання його природного потенціалу [6-8].

Навантаження – це зовнішнє завдання, параметри якого не залежать від конкретного спортсмена, що виконує роботу. В той же час робота – активність, що проявляється як реакція на навантаження і залежить від індивідуальних особливостей спортсмена [9-15].

Напруження, яке зазнає організм спортсмена під час виконання певної роботи, відображається у змінах фізіологічних функцій. У теорії спорту роботу визначають як зовнішній, а напруження, як внутрішній бік навантаження. Зовнішній бік навантаження характеризують показниками сумарного обсягу роботи, що виконується спортсменом. До таких показників відносяться загальний обсяг роботи (у годинах або кілометрах), потужність роботи (у вагах), якість тренувальних занять, кількість змагальних стартів.

Для оцінки зовнішнього боку навантаження у веслувальників використовують показники інтенсивності: потужність, швидкість пересувань, темп рухів, швидкість їх виконання, час подолання тренувальних відрізків та дистанцій, кількість підходів, величину обтяжень, відстань відрізків і дистанцій.

До показників внутрішнього боку навантаження відносять інформацію про терміновий ефект навантажень за частотою серцевих скорочень, споживання кисню, виділення проміжних продуктів обміну речовин (лактат, сечовина крові), а також інформацію про характер та тривалість відновлення.

Таким чином, до спеціалізованих показників, які відображують відновлення яхтсменів після навантаження, можна віднести фізіологічні характеристики рівня споживання кисню, частоти серцевих скорочень та реакції легеневої вентиляції, а також співвідношення вагомих показників працездатності зі споживанням кисню, яке розвивається в процесі подолання змагальної дистанції, а також результати комплексного контролю працездатності, реакції кардіореспіраторної системи й енергозабезпечення роботи м'язів шляхом утилізації молочної кислоти (лактату).

Огляд методів моделювання тренувального навантаження в спорті

Для того, щоб запропонувати один із методів моделювання оптимального навантаження у вітрильному спорті, дослідимо, які методи та засоби застосовуються при моделюванні тренувального навантаження у спорті загалом.

В [16] запропоновано методологію узагальнення моделей, яка охоплює агрегацію даних на основі фізіологічних показників та здійснює перевірку моделей при розрахунку прогнозів. Дані для моделювання зібрано у семи елітних ковзанярів з шорт-треку за тримісячний період навчання (наприклад, психологічні фактори, фактори харчування, навколишнє середовище, специфічні фактори тренувань).

Для того, щоб визначити оптимальну програму тренувань, треба розуміти фізіологічні ефекти кожного тренування та знати його наслідки для фізичної працездатності. Для узагальнення побудованих моделей змінної дозивідповіді, порівнювались моделі, побудовані за різними методами: регресійні моделі, отримані за допомогою машинного навчання та методом головного компонента, а також моделі отримані за допомогою нейромережі.

Автори [17] порівнюють статистичні моделі та моделі машинного навчання, адаптовані до кожного спортсмена. Збільшення розміру вибірки шляхом обчислення моделей на всій групі спортсменів призвело до більш ефективних моделей, ніж при індивідуальному обчисленні. Отриманий результат продемонстрував більш узагальнюючі можливості статистичних лінійних моделей.

Зроблено висновок, що використовуючи багатоваріантне моделювання, можна краще зрозуміти співвідношення тренувального на-

вантаження та результативності для майбутніх прогнозів.

Нелінійні моделі машинного навчання показали нижчу здатність до узагальнення ніж лінійні, навіть коли моделі поєднують дані декількох спортсменів. Моделювання залежності показника «втома» від «здібностей» спортсменів дозволить тренерам моделювати зміни продуктивності після об'єктивних і суб'єктивних вимірювань тренувальних навантажень, і будь-які фактори продуктивності, які контролюються.

Для оптимізації розподілу навантаження та інтенсивності тренувань у мультиспортивній діяльності запропоновано методологію та концепцію, яка може бути застосована до будь-якої мультиспортивної діяльності [18]. Отримано оптимальний розподіл тренувального навантаження з метою досягнення найкращого співвідношення між тренуванням і продуктивністю та спробувати запобігти травмам. Запропоновано модель, здатну реагувати на об'єкт дослідження за певних умов обмежень, які накладаються. Обмеження можуть стосуватися загального часу, доступного для тренування, відсотка тренувань за фізіологічними зонами або відсотка розподілу за дисциплінами, які потрібно тренувати (плавання, їзда на велосипеді та біг). Розподіл навчального навантаження вважають стратегічним аспектом продуктивності.

Досліджено застосування методів машинного навчання, а саме поєднання нечіткого моделювання з імунним алгоритмом для моделювання спортивних тренувань, зокрема в галузі плавання [19]. Запропонований алгоритм збирає доступні дані та надає результати у формі набору нечітких правил: «ЯКЩО (нечіткі умови), ТО (клас)».

Дані були зібрані протягом двох місяців серед плавців за сім років тренувань. Мета проведених експериментів полягала в тому, щоб знайти правила, що відповідають на питання — як тренувальна одиниця впливає на відчуття плавця під час перебування у воді на наступний день. Нечіткі правила було виведено для двох різних масштабів класу, який потрібно передбачити.

Продемонстровано, що навіяні природою алгоритми є корисними в сфері спорту, зокрема для отримання безпечних і ефективних планів тренувань, спрямованих на різні аспекти ефективності [20]. Підкреслено переваги та можливості застосування обчислювального інтелекту в спорті, а також показано підводні камені та виклики для майбутнього розвитку цієї нової дослідницької області.

У [21] досліджено методи, які застосовувалися для вирішення проблем у командних видах спорту. Проведено дослідження щодо використання засобівштучного інтелекту та машинного навчання в командних видах спорту. Штучний інтелект використано для прогнозування результатів матчів з метою допомогти командам покращити прийняття стратегічних і тактичних рішень.

Досліджено застосування засобів штучного інтелекту для моделювання процесів в індивідуальних видах спорту, таких як гольф і скелелазіння [22], що дає можливість краще розуміти кінематичні й фізіологічні показники, може покращити спортивні результати. Штучний інтелект, обчислювальний інтелект, інтелектуальний аналіз даних, Інтернет речей та машинне навчання все частіше використовуються в галузі спорту.

Проведено дослідження як суб'єктивні стресові ситуації пов'язані з адаптацією до тренувань у спортсменів університету [23]. З'ясовано, коли такі стреси є найбільш шкідливими (тобто певний час навчального року чи сезон спортивних тренувань). Побудовано логістичну регресію, яка вказала на зниження рівня настрою, що може дати можливість передбачити можливу травму у спортсменів. Періоди обстеження збігалися з найвищим рівнем стресу та підвищеною вірогідністю захворювання. На основі розрахунків показано, що раптове й високе збільшення тренувального навантаження під час передсезонної підготовки може призводити до збільшення кількості травм і захворювань. Моніторинг і розуміння цих факторів стресу може допомогти тренерам і допоміжному персоналу в управлінні загальним стресом у спортсменів.

Одним з ефективним методів моделювання, який може бути використаний навіть для невеликих обсягів даних, але дозволяє знаходити приховані в даних залежності, є метод групового урахування аргументів (МГУА) [24-26]. Оскільки цей метод за більше ніж п'ятдесят років застосування в різних галузях людської діяльності добре зарекомендував себе на практиці, цей метод обрано для побудови моделей залежності оптимального фізичного навантаження у вітрильному спорті. Він дає змогу автоматично, за мінімальним втручанням людини у процес побудови моделі отримати залежність між залежною та незалежними змінними.

Побудова математичної моделі для оптимального фізичного навантаження у вітрильному спорті

На основі проведено аналізу задачі моделювання оптимального фізичного навантаження у вітрильному спорті можна зробити висновки, що, не дивлячись на широке коло застосувань різних алгоритмів, задача підбору оптимального навантаження залишається актуальною. Огляд показав, що частіше для побудови моделей застосовуються методи регресійного аналізу та машинного навчання.

Одним з ефективних алгоритмів інтелектуального моделювання можна назвати метод індуктивного моделювання — МГУА, який є методом синтезу моделей з автоматичним вибором структури та параметрів лінійних, нелінійних, різницевих на основі короткої вибірки даних в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації з метою виявлення невідомої закономірності функціонування досліджуваного об'єкта або процесу, інформація про яку неявно міститься у вибірці даних [24].

В алгоритмах МГУА поділ вибірки неявно (автоматично) забезпечує дотримання відомого принципу компромісу між складністю моделі та її точністю при побудові моделі оптимальної складності. Це дозволяє віднести МГУА до найефективніших методів обчислювального інтелекту. Тому цей метод планується використати для моделювання оптимального фізичного навантаження у вітрильному спорті.

Висновки

У роботі здійснено дослідження підходів до моделювання процесів, що відбуваються при підборі тренувального навантаження в спорті. На основі проведеного огляду існуючих методів обрано індуктивний підхід для побудови моделей підбору оптимального навантаження у вітрильному спорті. За допомогою приведеного підходу будуть отримані моделі залежності показників, які характеризують фізичне навантаження від показників, характеризуючих стан спортсменів. Планується, що дослідження буде проводитись серед молодих яхтсменів одного з Київських яхтклубів. Результати збору даних та моделювання оптимального фізичного навантаження на основі цих даних буде подано в наступних роботах.

REFERENCES

1. *Bateup, B., Compton, H., Withers, S., Duthie, G.M.* (2016). The influence of training load on markers of fatigue in junior male semi-elite sailors. Australian Strength and Conditioning Association. At: Melbourne, Australia. DOI: 10.13140/RG.2.2.30398.48966.
2. *Matveev, L.P.; Zdornyj, A.P.* (1981). Determination of the Notion: "Training an Athlete" and "Sports Training"; Progress: St. Columbus, OH, USA, pp. 21–25.
3. *Fister, I.; Fister, I., Jr.; Fister, D.* (2019). Computational Intelligence in Sports. Springer: Cham, Switzerland.
4. *Kostyukevych, V. M., Shynkaruk, O. A., Voronova, V. I. et all.* (2017). Metody kontrolyu za trenuval nymy i zmahal nymy navantazhennyamy. Kyyiv: KNT. https://www.researchgate.net/publication/323365800 [Костюкевич, В. М., Шинкарук, О. А., Воронова, В. І. та ін. (2017). Методи контролю за тренувальними і змагальними навантаженнями. Київ: КНТ. https://www.researchgate.net/publication/323365800 (In Ukrainian)].

5. *Lacour, J. R., Messonnier, L., Bourdin, M.* (2007). The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. European Journal of Applied Physiology. 101. pp. 241– 247. DOI: 10.1007/s00421-007-0487-7.
6. *McKay B.R., Paterson D.H., Kowalchuk J.M.* Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. Journal of Applied Physiology. 107, 2009, pp. 128-138. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.90828.2008.
7. *D'yachenko A.Yu.* (2004). Sovershenstvovaniye spetsial'noy vynoslivosti kvalifitsirovannykh sportsmenov v akademicheskoy greble. Kyiv: NPF "Slavutich-Del'fin". 338 p. [Лысенко Е.Н., Мищенко В.С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы в процессе напряженной физической нагрузки и после нее // Спортивная медицина. 2016. № 1. pp. 11-19].
8. *Wang, V, Mayer, F, Bonaventura, K et al.* (2017). Intrinsic And Extrinsic Injury Risk Factors Of Elite Winter Sports Athlete In Training. British Journal of Sports Medicine. 51, 406 p. http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-097372.309.
9. *Castagna, O., Brisswalter, J.* (2007). Assessment of energy demand in Laser sailing: influences of exercise duration and performance level. European Journal of Applied Physiology, 99 (2), pp. 95-101.
10. Sportyvna fiziolohiya u skhemakh i tablytsyakh: posibnyk dlya studentiv instytutiv fizychnoyi kul tury. (2013). / Yezhova O.O. Sumy: Sum DPU im. A. S. Makarenka, 164 p. [Спортивна фізіологія у схемах і таблицях: посібник для студентів інститутів фізичної культури / Єжова О. О. Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2013. 164 p. (In Ukrainian)].
11. Sportyvna fiziolohiya. Navch.-metodychnyy posib. L viv: SPOLOM, 2006. 160 p. [Спортивна фізіологія. Навч.-методичний посіб. Львів: СПОЛОМ, 2006. 160 p. (In Ukrainian)].
12. *Imbach, F., Perrey, S., Chailan, R., Meline, T., Candau, R.* (2020). Training load responses modelling in elite sports: how to deal with generalisation?. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-128940/v1.
13. *Pandelo, D.* (2019). Establishment of an Optimal Training Load in Multisport. https://www.researchgate.net/publication/335313361.
14. *Me, E., Unold, O.* (2011). Machine learning approach to model sport training. Computers in human behavior, 27(5), pp. 1499-1506.
15. *Fister Jr, I., Ljubi , K., Suganthan, P. N., Perc, M., & Fister, I.* (2015). Computational intelligence in sports: challenges and opportunities within a new research domain. Applied Mathematics and Computation, 262, pp. 178-186. https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.04.004
16. *Beal, R., Norman, T. J., & Ramchurn, S. D.* (2019). Artificial intelligence for team sports: a survey. The Knowledge Engineering Review, 34.
17. *Araujo, D., Couceiro, M., Seifert, L., Sarmento, H., Davids, K.* (2021). Artificial Intelligence in Sport Performance Analysis (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003163589.
18. *Hamlin, M. J., Wilkes, D., Elliot, C. A., Lizamore, C. A., Kathiravel, Y.* (2019). Monitoring training loads and perceived stress in young elite university athletes. Frontiers in physiology, 10, p. 34.
19. *Ivakhnenko, A.G.*, 1968. "Group method of data handling as competitor for the method of stochastic approximation", Soviet Automatic Control, n3, pp. 58-72 (In Ukrainian) [Збірник лекцій з дисципліни «Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту» для підготовки бакалаврів спеціальності 014.11 Середня освіта «Фізична культура» / Прокопенко Ю.С.; Кременчуцький педагогічний коледж імені А.С. Макаренка. – Кременчук, 2018. 74 p. (In Ukrainian)].
20. *Ivakhnenko, A.G., Stepashko, V.S.*, 1985. Noise-immunity of modeling. Kiev: Naukova dumka, 216 p. (In Russian) [Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наук. думка, 1985. 216 p.].
21. *Madala H.R., Ivakhnenko A.G.* Inductive learning algorithms for complex systems modeling. New York: Boca Raton, CRC Press, 1994. 384 p.

Received 23.08.2022

Ye.A. Savchenko-Syniakova , PhD (Eng.), Senior Research Associate, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems NAS and MES of Ukraine, Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-4851-9664, savchenko_e@meta.ua
K.Yu. Savchenko, Master, National University of Ukraine on Physical Education and Sport, str. Fizkultury, 1, 03150, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-3552-2717, constantine.savchenko@gmail.com

MATHEMATICAL MODELING OF THE OPTIMAL TRAINING LOAD IN SAILING

Introduction. Sailing is a sport that places high demands on the physical fitness of an athlete. Despite the fact that this sport has been practiced for a very long time, experts have not paid due attention to assessing the impact of the athlete's load during training on his physical fatigue. The use of mathematical modeling methods at the stage of training athletes to select the optimal load will make training more effective. In order to determine the modeling method, which will allow quite simply and easily to find the dependence of the optimal physical load on the physiological indicators of athletes, a review of the most popular modeling methods in sports was carried out.

The purpose of this article is to study the problem of modeling the optimal training load in sailing in order to find an effective method for building models of the dependence of the athlete's fatigue indicators on the indicators characterizing the athlete's condition.

Results. A number of indicators characterizing the choice of optimal physical activity in sailing are given. An approach to the construction of a mathematical model for choosing the optimal physical load for yachtsmen during training is proposed.

Conclusions. The article explores approaches to modeling the processes that occur during the selection of a training load in sports. Based on a review of existing methods, an inductive approach was chosen to build models for choosing the optimal load in sailing. It is planned that with the help of this approach, models of the dependence of indicators characterizing physical activity on indicators characterizing the state of athletes will be obtained, which will be given in subsequent works.

Keywords: *mathematical model, modeling, optimal training load, sailing, inductive modeling, GMDH.*