

УДК 796.015.68:612.017

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СПОРТЕ (АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ЗА 2010-2016 ГГ.)

Корягина Ю.В.<sup>1,2</sup>, Салова Ю.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Научно-методический центр Аналитик», Омск, e-mail: koru@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», Омск

---

Целью работы явился анализ современных инновационных разработок и технологий ведущих научных лабораторий мира, посвященных моделированию биологических процессов в спорте. Компьютерное моделирование биологических систем предполагает использование компьютерного моделирования биологических систем, включая клеточные подсистемы, анализ и визуализацию сложных соединений этих процессов. Результаты исследований показывают, что в направлении моделирования биологических процессов современные ученые работают над моделированием спортивных движений и преодоления соревновательных дистанций, созданием моделей прогноза игровых ситуаций в командных видах спорта, факторов, лимитирующих работоспособность, а также прогноза спортивной одаренности. Для этих целей наиболее эффективно используют следующий математический аппарат: нейронные сети, математический аппарат нечеткой логики, скрытые марковские модели, метод опорных векторов и множественную линейную регрессию.

---

Ключевые слова: моделирование, спорт, прогноз, нейронные сети, управление движением.

## COMPUTER SIMULATION OF BIOLOGICAL PROCESSES IN SPORTS (ANALYSIS OF INNOVATION FOREIGN RESEARCH LABORATORIES FOR PERIOD 2010-2016)

Koriagina J.V.<sup>1,2</sup>, Salova J.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific and Methodological Center "Analyst", Omsk, e-mail: koru@yandex.ru;

<sup>2</sup>Siberian state university of physical education and sports, Omsk

---

The aim of the work was to analyze the modern innovations and technologies of the leading research laboratories in the world dedicated to the modeling of biological processes in sport. Computer modeling of biological systems involves the use of computer simulation of biological systems, including cellular subsystem, analysis and visualization of complex compounds of these processes. The research results show that the biological process modeling direction, modern scientists are working on modeling of sports movements and to overcome competitive distances, the creation of models of forecasting of game situations in team sports, the factors limiting the performance and prediction sports endowments. For these purposes, the most effective use of the following mathematical apparatus: neural networks, fuzzy logic, mathematics, hidden Markov models, support vector machines, and multiple linear regression.

---

Keywords: simulation, sports, forecast, neural networks, motor control.

Компьютерное моделирование биологических систем предполагает использование компьютерного моделирования биологических систем, включая как клеточные подсистемы (например, сети метаболитов и ферментов, которые содержат обмен веществ, сигнальные пути и генные регуляторные сети), так и анализ и визуализацию сложных соединений этих процессов. В самом общем смысле моделью называют преднамеренно созданное или найденное подобие чего-то рассматриваемого в качестве оригинала.

### Цель

Анализ современных инновационных разработок и технологий ведущих научных

лабораторий мира, посвященных моделированию биологических процессов в спорте.

**Методы и организация исследования.** Осуществлялись поиск и сбор источников информации за 2010-2016 гг. (статьи, материалы конференций, тезисы докладов, журналы). Найденные материалы подвергались переводу на русский язык, научному редактированию и анализу.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ работ зарубежных ученых последних лет показал, что разработка моделей биологических процессов в спорте в настоящее время связана с моделированием – процессом построения, изучения и использования моделей для уточнения параметров и оптимизации спортивной подготовки. Модели могут оформляться в виде модельных характеристик. В качестве моделирования биологических процессов в спорте может осуществляться разработка отдельных характеристик состояния морфофункциональных систем организма человека, моделирование биологических ритмов систем организма, лимитирующих работоспособность, модели тренировочных характеристик, вызывающих соответствующие физиологические ответы организма спортсмена. К моделированию можно отнести и процесс освоения новых двигательных актов либо их создание.

**Моделирование движений человека.** Способность мысленно имитировать действия (моделирование движений) является теорией, дающей представление о том, как мы интерпретируем действия других. Процесс генерирования моделей движения зависит от контекста движения и сенсорной обратной связи. В настоящее время нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе моделирования движений, еще не раскрыты. Разрабатываются устройства, опирающиеся на модели для распознавания и классификации движений. Для этой цели оказались применимы различные методы и модели, такие как нейронные сети, скрытые марковские модели или метод опорных векторов [3].

Целью работы ученых Технологического института Джорджии (США) [5] является понимание нейрофизиологического процесса моделирования движения при кодировании действий. Авторы предположили наличие различных стратегий моделирования действий у праворуких и леворуких лиц. Данное направление исследований тесно связано с проблемой функциональных асимметрий в спорте. Высказанное предположение свидетельствовало о том, что праворукие лица полагаются на моторную доминантность левого полушария для кодирования действий и моделирования движений, в то время как леворуких характеризует симметричный рисунок в доминантном правом полушарии. Праворукие лица имели ярко выраженную моторную латерализацию со стороны видимых изображений действия. Леворукие имели различный характер двигательной латерализации, и независимо от конечности они всегда

показывали двусторонние модели латерализации. Исследователи оценили кортико-мышечную когерентность с целью выявления причин латеральности моделей и предложили нейрофизиологическую модель понимания действий на основе нейронных сетей и соответствующих нервно-мышечных стратегий во время выполнения движений и их моделирования.

В работе исследователей университета «Джорджа Баризиу» рассматриваются тенденции использования искусственного интеллекта в спортивной биомеханике [12]. Авторы излагают возможные способы использования экспертных систем в качестве диагностических инструментов для оценки нарушений в спортивных движениях (технике) и представляют некоторые правила использования знаний для такой экспертной системы. Рассмотрено использование искусственных нейронных сетей в спортивной биомеханике, в первую очередь на самоорганизующихся картах Кохонена, которые наиболее широко используются при анализе техники. Многослойные нейронные сети гораздо более широко используются в биомеханике в целом.

В работе специалистов Венского университета [9] реализованы элементы искусственного интеллекта для автоматической оценки упражнений в тренировке с отягощением. Автором предложено внедрение системы обратной связи на основе интеграции таких факторов, как характеристики длительности, перемещения и силы движения, тем самым предлагаются наиболее подходящие упражнения. Конечная цель данной работы состояла в том, чтобы интегрировать методы автоматизации в мобильные устройства тренерской системы, обеспечивая спортсменов автоматизированной системой, дающей оценки и обратную связь.

**Моделирование преодоления соревновательных дистанций.** Исследователи университета Амстердама (Нидерланды) и университета Висконсина занимаются проблемой моделирования прохождения дистанции в циклических видах спорта [5]. Авторы пытаются показать, что различия в достижении мировых рекордов в различных видах спорта можно объяснить с помощью очень простого процесса математического моделирования. Стратегия прохождения дистанции в значительной степени связана с продолжительностью соревнований: «все сразу» при более коротких дистанциях и, как правило, «быстро-медленно-быстро» по мере увеличения дистанции. Однако стратегия прохождения дистанции может также изменяться в зависимости от вида спорта. Так как время мирового рекорда на дистанции 200 м в плавании, 800 м в беге, 1500 м в беге на коньках почти идентично (102,00, 101,01, 101,04 сек соответственно), что указывает на очень похожую модель энергетических потребностей, условия, в которых проводятся соревнования, значительно отличаются. Факторами,

определяющими модель скорости прохождения дистанции, по мнению авторов, являются: а) трудность ускорения в начале гонки, б) величина замедления в результате потери мощности из-за утомления, в) потери мощности, связанные с окружающей средой, и г) количество потери кинетической энергии в конце гонки. В любом соревновании принятая стратегия прохождения дистанции представляет собой оптимальное решение изменения этих факторов, а также энергетические возможности и умения (например, двигательная эффективность) спортсмена. Разработанная авторами простая модель, основанная на соотношении между минимизацией расхода кинетической энергии в конце гонки и потерь энергии на трение, позволяет предположить, что мировые рекорды являются следствием просчитанного риска раннего использования мощности для оптимизации потерь энергии, при этом не вызывая «энергетическую катастрофу».

Цель исследования ученых научно-исследовательского центра спорта, здоровья и развития человека (Португалия) заключалась в моделировании латентной кривой показателей техники плавания молодых пловцов в течение двух соревновательных сезонов [8]. Результаты исследования показывают, что моделирование латентной кривой роста результативности показывает высокую внутреннюю и внешнюю изменчивость испытуемых в росте достижений во всех моделях. Пол оказал значительное влияние на рост достижений для моделей, включающих длину шага, индекс хода, активное сопротивление и коэффициент активного сопротивления. В первом сезоне основным фактором, определяющим улучшение производительности, было активное сопротивление; во втором сезоне - скорость плавания. Все модели имели достаточные настройки. Модель хорошей рабочей позы колеблется между  $x^2 / df = 2,01$  (модель коэффициента активного продвижения) и  $x^2 / df = 4,71$  (модель скорости плавания).

Специалисты политехнического университета Картахены и университета Виго (Испания) предлагают динамический программный подход для интеллектуальных платформ в беговых дисциплинах на основе марковских процессов принятия решений [13]. Они представили прототип системы для получения данных о спортсмене, окружающей среде на основе беспроводной сенсорной сети для их одновременного анализа. На основе записанных данных система управляет тренировкой спортсменов для выполнения конкретных целей. Дальнейшая работа концентрируется на внедрении интеллектуальных процедур для уведомлений через автоматически сгенерированные сообщения обратной связи. Для моделирования взаимозависимости нагрузки и эффективности спортивной деятельности будут использоваться метамоделли и анализ временных рядов.

В Мидлсекском университете Великобритании разработана система планирования спортивных тренировочных сессий с помощью алгоритма ВАТ [4]. Планирование спортивной тренировки всегда было очень сложной задачей для тренеров. В соответствии с этим они должны иметь две специфические способности: во-первых, иметь богатый опыт спортивной тренировки и, во-вторых, очень хорошо знать возможности своих спортсменов. Авторы вводят новый интеллектуальный метод планирования спортивных тренировок, где тренировочные планы генерируются на цифровых компьютерах с использованием алгоритма ВАТ согласно достоверным данным, полученным от интеллектуальных спортивных часов.

Ученые университета Оулу (Финляндия) реализовали возможность автоматического распознавания двигательной активности на смартфонах на основе данных акселерометра [10]. В отличие от большинства других исследований, были собраны не только данные, используя акселерометр смартфона, но и были реализованы модели распознавания активности в телефоне, также программно был реализован весь процесс классификации (первичная обработка, выделение признаков и систематизация). Система обучается, используя ориентацию отдельных компонентов телефона, чтобы распознать пять повседневных действий: ходьба, бег, езда на велосипеде, вождение автомобиля и сидение / стояние, когда телефон находится в кармане брюк субъекта. Были сопоставлены два алгоритма для автоматической классификации объектов: К ближайших соседей и квадратичный дискриминантный анализ.

**Модели прогноза в спорте.** Ученые университета Сплита (Хорватия) разработали экспертную систему для выявления спортивных талантов [11]. Система использует математический аппарат нечеткой логики и предназначена для отбора и определения предрасположенности детей к занятиям определенным видом спорта. Экспертные знания хранятся в базе данных, которая сформирована из знаний, полученных от 97 экспертов по кинезиологии. Результаты оценочной системы показали высокую надежность и корреляцию с показателями, полученными от ведущих специалистов в этой области. Текущая структура системы является модульной, что делает реализацию различных модификаций довольно простой. Имеется возможность доступа к системе через Интернет.

Специалисты технического университета Чалмерса и университета Гетеборга (Швеция) занимаются проблемой вероятностного моделирования в спорте [7]. Они строят математические и статистические модели для широкого спектра реальных приложений. Для спортивных приложений авторы определили функции для оценки ситуаций в командных видах спорта с точки зрения стратегии игры. Следствие принятых установок заключается в том, что концепция игрового интеллекта конкретизирована и можно предложить оптимальные стратегии в

различных ситуациях принятия решений. Специалисты анализировали специфические примеры в хоккее с шайбой и гандболе и показали, что эти оптимальные стратегии не всегда применяются на практике, что указывает на неоптимальное игровое поведение даже профессионалами.

Специалисты университета Чукурова (Турция) и университета Монтаны (США) [2] применили метод опорных векторов в сочетании с выбором компонентов для определения характерных предикторов мощности верхней части тела для лыжников-гонщиков. Мощность верхней части тела (МВТ) является одним из основных параметров, влияющих на результативность в лыжных гонках. Авторы разработали модели прогнозирования на основе выбора 10-сек. МВТ (МВТ 10) и 60-сек. мощности верхней части тела (МВТ 60) лыжников-гонщиков с помощью метода опорных векторов, используя различные ядерные функции. Согласно полученным результатам, самые низкие стандартные ошибки регрессии и высшие коэффициенты корреляции для наиболее точных МВТ 10 и МВТ 60 моделей прогноза были получены с помощью метода опорных векторов, использующих радиальную базисную ядерную функцию метода опорных векторов. Наиболее важными факторами в прогнозах МВТ 10 и МВТ 60 были предикторы пола и возраста. Авторы констатировали, что модели прогноза на основе метода опорных векторов обладают гораздо более низкой стандартной ошибкой регрессии и более высокими коэффициентами корреляции, чем модели прогноза, разработанные с помощью других методов регрессии.

Специалисты университета Чукурова (Турция) использовали методы машинного обучения и статистические методы для прогноза максимального потребления кислорода (МПК) [1]. В работе сравнивалась эффективность различных моделей прогнозирования МПК, а именно множественного коэффициента корреляции и множественной линейной регрессии. Результаты исследования показывают, что в отношении методов регрессии, используемых для разработки моделей прогнозирования, метод опорных векторов в основном показывает более высокую эффективность по сравнению с другими методами, в то время как множественная линейная регрессия показывает худшую эффективность.

Таким образом, в направлении моделирования биологических процессов современные ученые работают над моделированием спортивных движений и преодоления соревновательных дистанций, созданием моделей прогноза игровых ситуаций в командных видах спорта, факторов, лимитирующих работоспособность, а также прогноза спортивной одаренности. Для этих целей наиболее эффективно используют следующий математический аппарат: нейронные сети, математический аппарат нечеткой логики, скрытые марковские модели, метод опорных

векторов и множественную линейную регрессию.

*Основанием для выполнения настоящей работы явился Государственный контракт с Министерством спорта РФ на выполнение НИР № 484 от 25.09.2016 г.*

### Список литературы

1. Abut F. Machine learning and statistical methods for the prediction of maximal oxygen uptake: recent advances / F. Abut, M.F. Akay // *Medical Devices (Auckland, NZ)*. – 2015. – Т. 8. – P. 369.
2. Akay M.F. Identifying the discriminative predictors of upper body power of cross-country skiers using support vector machines combined with feature selection / M.F. Akay et al. // *Neural Computing and Applications*. – 2016. - V. 27. – I. 6. – P. 1785–1796.
3. Baca A. Methods for recognition and classification of human motion patterns—a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities // *IFAC Proceedings*. - 2012. - V. 45.2. - P. 55-61.
4. Fister I. Planning the sports training sessions with the bat algorithm / I. Fister, S. Rauter, X.S. Yang, K. Ljubič // *Neurocomputing*. - 2015. – V. 149. – P. 993-1002.
5. De Koning J.J. Using modeling to understand how athletes in different disciplines solve the same problem: swimming versus running versus speed skating / J.J. de Koning [et al.] // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2011. - № 6. –P. 276-280.
6. Kelly R.L. Understanding the neurophysiology of action interpretation in right and left-handed individuals. – 2015. - 154 p.
7. Lennartsson J. Probabilistic modeling in sports, finance and weather. – 2014. – 28 p.
8. Morais J.E. Modeling performance and biomechanics in young swimmers / J.E. Morais [et al.] // *International congress of exercise and sports performance*. - CIDESD. - 2014. – P. 26.
9. Novatchkov H. Artificial intelligence in sports on the example of weight training // *Journal of sports science & medicine* / H. Novatchkov, A. Baca. - 2013. – 12 (1). – P. 27-37.
10. Taylor K. Activity classification with smart phones for sports activities / K. Taylor, U.A. Abdulla, R. J. Helmer, J. Lee, I. Blanchonette // *Procedia Engineering*. - 2011. - V. 13. – P. 428-433.
11. Papić V. Expert system for identification of sport talents: Idea, implementation and results. INTECH Open Access Publisher / V. Papić, N. Rogulj, V. Pleština. - 2011. - <http://cdn.intechopen.com/pdfs/21253.pdf>
12. Ratiu O.G. Artificial intelligence (AI) in sports / O.G. Ratiu, D. Badau, C.G. Carstea, A. Badau, F. Paraschiv // *Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Artificial intelligence, knowledge engineering and data bases*. World Scientific and Engineering Academy and Society

(WSEAS). - 2010. – P. 93-97.

13. Vales-Alonso J. Ambient intelligence systems for personalized sport training / J. Vales-Alonso, P. López-Matencio, F.J. Gonzalez-Castaño, H. Navarro-Hellín, P.J. Baños-Guirao, F.J. Pérez-Martínez, R. Duro-Fernández // Sensors. - 2010. – 10 (3). - P. 2359-2385.