

Отметим, что отличительной особенностью содержания учебных занятий фитнес-боксом со студентами явилось построение занятия по раундам с перерывами между ними; длительность раундов соответствует от 1 мин до 1 мин 30 с + 1 мин отдыха, придерживаясь традиционной структуры урочного занятия (подготовительная, основная и заключительная части) при использовании музыкального сопровождения.

#### Литература

1. Григорьев, В. И. Фитнес-культура студентов: теория и практика: учеб. пособие / В. И. Григорьев, Д. Н. Давиденко, С. В. Малинина. – СПб. : СПбГУЭФ, 2010. – 228 с.
2. Рока, Г. Фитнес-бокс: все мужчины в нокауте! / Г. Рока, Б. Сильверглейд; пер. с англ. В. М. Боженков. – Минск : Попурри, 2008. – 336 с.
3. O'Donnell, R. The Ultimate Fitness; Boxing & Kickboxing Workout [Electronic resource] / R. O'Donnell [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.amazon.com/Ultimate-Fitness-Boxing-Kickboxing-Workout/dp>. – Дата доступа : 21.01.2023.
4. Родригес С. Фитнес-бокс / С. Родригес; пер. с фр. С. Э. Борич. – Минск : Попурри, 2019. – 96 с.
5. Позняк, Ж. А. Методика организации занятий фитнес-боксом в рамках учебной дисциплины «Физическая культура» со студентами первого курса медицинского университета / Ж. А. Позняк // Педагогическая наука и образование. – 2022 – № 1 (38). – С. 72–79. – Режим доступа : <https://rep.vsu.by/handle/123456789/39538>. – Дата доступа : 03.10.2023.

УДК 51-73; 531.3; 796.01

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ПО УПРАВЛЯЮЩЕМУ МОМЕНТУ МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**А.Е. Покатилов\*, С.В. Шкуратов\*, Ю.В. Воронович\*\***

\* *Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,  
г. Могилев, Республика Беларусь*

\*\* *Государственное учреждение образования «Средняя школа № 22 г. Могилева»,  
г. Могилев, Республика Беларусь*

e-mail: pokatilov-a@mail.ru

**Аннотация.** В работе предложено новое понятие в биомеханическом анализе: динамическая скорость по управляющему моменту мышечной системы. Оно позволяет на материале биомеханического анализа упражнения оценить скорость изменения динамических характеристик. Методика заключается в дифференцировании по времени управляющих моментов, возникающих при движении звеньев биомеханической системы. Такой подход значительно расширяет и упрощает исследования скоростно-силовых качеств мышечной системы.

**Ключевые слова:** биомеханический анализ, динамическая скорость, моделирование, спортивная гимнастика, управляющий момент.

### THE STUDY OF DYNAMIC VELOCITY BY THE CONTROL MOMENT OF THE MUSCULAR SYSTEM

**A.E. Pokatilov\*, S.V. Shkuratov\*, Yu.V. Voronovich\*\***

\* *Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus*

\*\* *State educational Institution "Secondary School No. 22 of Mogilev", Republic of Belarus*

**Abstract.** The paper proposes a new concept in biomechanical analysis: dynamic velocity according to the control moment of the muscular system. It allows you to estimate the rate of change of dynamic characteristics based on the biomechanical analysis of the exercise. The technique consists in differentiating in time the control moments that arise during the movement of the links of the

biomechanical system. This approach significantly expands and simplifies the research of the speed and strength qualities of the muscular system.

**Keywords:** biomechanical analysis, dynamic speed, modeling, gymnastics, control moment.

В результате биомеханического анализа движения в спорте исследователь получает огромный массив данных по кинематике и динамике спортивного упражнения. Это позволяет качественно и количественно выполнить анализ движения биомеханической системы [1, 2]. При этом ряд вопросов при таком подходе не ставится и не рассматривается, так как их решение требует специального оборудования и специальных же методик исследования. Например, это касается скоростно-силовых качеств мышечной системы [3]. Целью данной работы является предложить и исследовать новую характеристику для оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы на основании дифференцирования по времени управляющих моментов мышечной системы. И тем самым значительно расширить и упростить исследования в области динамического анализа спортивных упражнений.

**Материал и методы.** В качестве исходных материалов предстают механико-математические модели целенаправленного движения спортсмена на динамическом уровне, и прежде всего, динамические уравнения движения, записанные относительно моментов управляющих сил мышечной системы. Для их исследования использовались знания по тригонометрическим функциям. Также для анализа взяты результаты вычислительного эксперимента по биомеханическому анализу большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике.

**Результаты и их обсуждение.** Ранее нами была предложена гипотеза о возможности оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы спортсмена на основе математического анализа данных по динамике движения биомеханической системы. Для этого были введены понятия динамической скорости и динамического ускорения по моменту управляющих сил мышечной системы спортсмена [4].

Динамическая скорость по управляющему моменту  $M_{i,i-1}$  отличается от понятия кинематической скорости, связанной с изменением координат биомеханической системы (БМС) по времени. Динамическая скорость по управляющему моменту есть первая производная управляющего момента по времени, или третья производная от обобщенных координат по времени. В общем виде уравнение имеет вид

$$V_{M_{i-1,i}} = \frac{dM_{i,i-1}}{dt} \text{ (Н}\cdot\text{м/с)}, \quad (1)$$

где  $V_{M_{i-1,i}}$  – динамическая скорость управляющего момента.

Отметим, что динамическая скорость по управляющему моменту по уравнению (1) имеет размерность мощности. Но это не мощность, а только совпадение размерностей у мощности и динамической скорости.

На рисунках 1-3 представлены графики управляющих моментов мышечной системы (рис. 1), мощности (рис. 2) и динамических скоростей (рис. 3).

Расчеты для рисунков 1-3 выполнялись на примере большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике. Аналогичные графики получаются и для рывка штанги в тяжелой атлетике.

Таким образом, вычислительный эксперимент на ПЭВМ для упражнений в различных видах спорта показал два важных момента:

- несмотря на совпадение размерностей мощности и динамической скорости по управляющему моменту, это разные величины, не совпадающие как по значению, так и по характеру изменения;

- наличие новой, ранее неизвестной закономерности изменения динамической скорости по отношению к управляющему моменту.

Это требует дополнительных исследований на уровне биомеханического анализа и педагогического эксперимента.

Рассмотрим более подробно графики на рисунках 1-3. На рисунке 1 показано изменение управляющего момента при выполнении большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике. Здесь БМС представлена трехзвенной моделью. Таким образом, на рисунке показаны изменения управляющих моментов в тазобедренном и плечевом суставах, а также движущего момента.

На рисунке 2 показано изменение мощности при движении спортсмена относительно перекладины, плечевого и тазобедренного суставов, вместе с указанием положения БМС на кинетограмме.

На рисунке 3 представлено изменение динамической скорости по управляющему моменту, полученной в вычислительном эксперименте по уравнению (1) для того же упражнения в спортивной гимнастике.

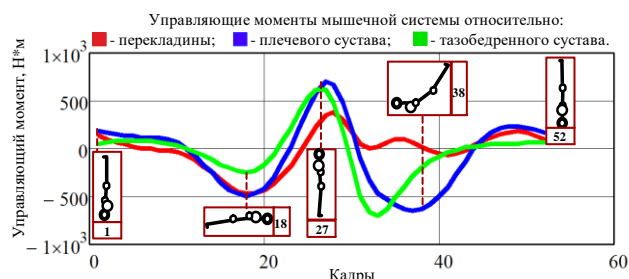


Рисунок 1 – Управляющие моменты мышечной системы при выполнении большого оборота назад на перекладине (Н·м)

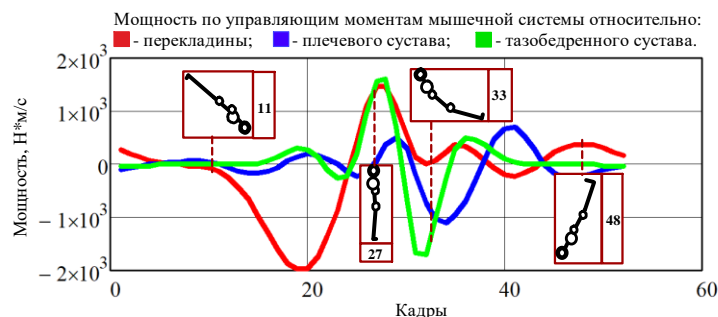


Рисунок 2 – Мощность управляющих моментов (Н·м/с)

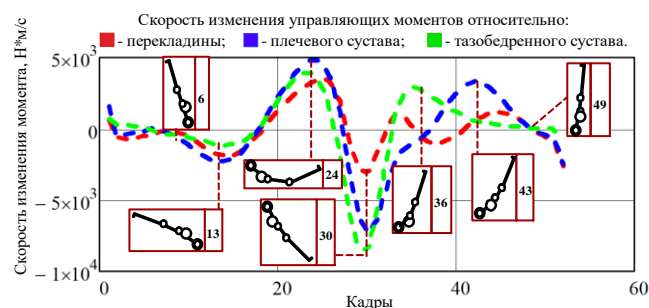


Рисунок 3 – Динамическая скорость в спортивной гимнастике (Н·м/с)

Сравнение рисунков 2 и 3 показывает несовпадение понятий мощности и динамической скорости по управляющему моменту при совпадении размерности.

Для более углубленного анализа на рисунке 4 совмещены графики изменения управляющего момента и его динамической скорости для тазобедренного сустава при выполнении большого оборота назад.

Здесь выявлена закономерность опережения локальных экстремумов динамической скорости по отношению к управляющему моменту. То есть, вначале достигает пиковых значений по абсолютной величине динамическая скорость, потом она начинает уменьшаться, и в этот момент достигает пика управляющий момент. Разность по времени составляет величину  $\Delta t_i$  в каждом  $i$ -ом сечении.

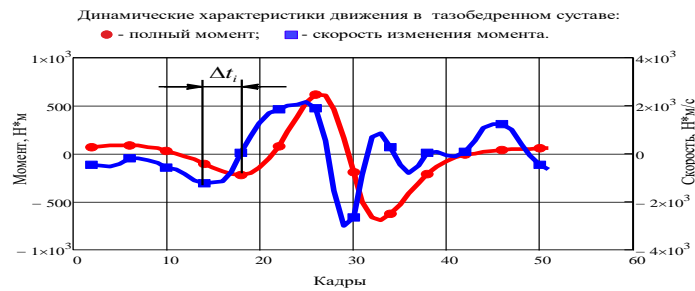


Рисунок 4 – Динамика полной БМС относительно тазобедренного сустава в спортивной гимнастике

Обнаруженная закономерность в изменении динамических характеристик движения спортсмена не зависит от вида спорта. На рисунке 5 показана подобная же закономерность на примере рывка штанги весом 100 кг для управляющего момента относительно тазобедренного сустава, как и в спортивной гимнастике.

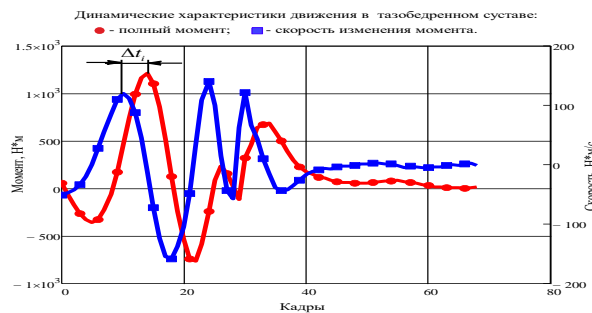


Рисунок 5 – Динамическая скорость управляющего момента относительно тазобедренного сустава (рывок, штанга 100 кг)

Отметим, что на графиках рисунка 5 имеем по 7 четко выраженных пиков изменений динамических характеристик движения. Есть еще один, 8-ой пик, но он проявляется в конечной фазе упражнения, и выражен слабо.

Эти закономерности выявлены на уровне вычислительного эксперимента для всех суставов и независимо от принятой модели биомеханической системы, и требуют теоретического осмысления и поиска причин такого явления.

Теоретический анализ динамических уравнений движения биомеханической системы [4] и др. показывает наличие тригонометрических функций, которые в общем виде можно записать как  $\sin(x)$  и  $\cos(x)$ . Первые производные по времени этих сложных функций равны

$$\frac{d[\sin(x)]}{dt} = \dot{x} \cos(x), \quad (2)$$

$$\frac{d[\cos(x)]}{dt} = -\dot{x} \sin(x). \quad (3)$$

Анализ формул (2) и (3) показывает, что после дифференцирования перед тригонометрическими функциями появляются множители, которые не влияют на сдвиг функций, а только меняют графики по высоте. На сдвиг влияет переход функций  $\cos(x) \rightarrow \sin(x)$ ,  $\sin(x) \rightarrow \cos(x)$  и изменение знака при переходе функции  $\cos(x) \rightarrow -\sin(x)$ . Еще один возможный вариант изменение знака тригонометрической функции на противоположный, это изменение знака множителя  $\dot{x}$  ( $\dot{x} < 0$  при  $\cos(x) > 0$  или  $\sin(x) > 0$ ;  $\dot{x} > 0$  при  $\cos(x) < 0$  или  $\sin(x) < 0$ ).

Рассмотрим основные возможные варианты сдвига функций более подробно. На рисунке 6 а) показано смещение функций  $\sin(x)$  и  $\cos(x)$  относительно друг друга. Это осуществляется при переходе  $\cos(x) \rightarrow \sin(x)$  или  $\sin(x) \rightarrow \cos(x)$ . Отметим важный момент: направление смещения  $\Delta$ , т.е. влево или вправо происходит это смещение, или другими словами, что опережает – пик динамической скорости, или пик управляющего момента, на данном этапе исследования не рассматривается, так как указанный факт зависит от ряда условий, которые необходимо проанализировать отдельно, увязывая с техникой выполнения упражнения.

Здесь и далее по оси ординат показано значение  $a\pi$ , где коэффициент  $a$  меняется в пределах  $a=0; 0,1; \dots; 2,0$ .

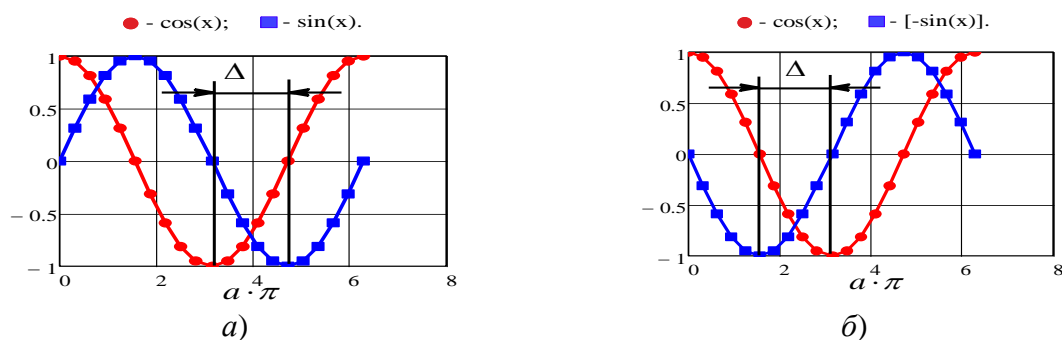


Рисунок 6 – Сравнение графиков  $\cos(x)$ ,  $\sin(x)$  и  $-\sin(x)$

На рисунке 6 б) показано смещение локального экстремума графика  $-\sin(x)$  по отношению к  $\cos(x)$ . Сдвиг  $\Delta$  происходит влево, т.е. с опережением.

Таким образом, мы рассмотрели факторы, влияющие на сдвиг графиков, с точки зрения математики. На уровне биомеханического анализа необходимо исследовать все силовые факторы, входящие в динамические уравнения движения, записанные относительно управляющих моментов мышечной системы.

**Заключение.** Констатируем, что уравнения движения БМС на уровне механико-математических моделей описывают закономерности движения, но реализуются они за счет физиологических процессов тела спортсмена и, несомненно, влияют на технику упражнения и тренировочную программу спортсмена [5]. Это требует отдельного биомеханического анализа моделей управляющего момента и динамической скорости с учетом общих зависимостей, изученных в данной работе. Опережение по времени скоростных динамических параметров движения над силовыми, носят закономерный характер и с математической точки зрения объясняются преобразованием тригонометрических функций при их дифференцировании.

#### Литература

1. Бегун, П. И. Биомеханика: учеб. для вузов / П. И. Бегун, Ю. А. Шукейло. – СПб. : Политехника, 2000. – 463 с.
2. Покатилов, А. Е. Исследование динамических уравнений целенаправленного движения спортсмена / А. Е. Покатилов, Ю. В. Воронович, А. В. Евдокимов, С. Н. Ходакова // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы X Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Москва, 24-25 ноября 2022 г. / Московская государственная академия физической культуры ; под ред. А. Н. Фураева. – Малаховка, 2022 : МГАФК. – С. 222–228.

3. Захарова, В. В. Развитие скоростно-силовых качеств в учебном процессе студентов 1-го курса : учебное пособие / сост.: В. В. Захарова, И. В. Данилова, А. Ю. Галныкин. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 106 с.
4. Покатилов, А. Е. К вопросу оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы спортсмена / А. Е. Покатилов, М. А. Киркор, Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте: материалы VII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, 21–22 ноября 2019 г., Москва / Рос. гос. акад. физ. культуры, спорта и туризма, Моск. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост. А. Н. Фураев. – М. ; Малаховка, 2019. – С. 108–112.
5. Скоростно-силовые качества [Электронный ресурс] / Спорт-вики – википедия научного бодибилдинга. – 2011. – Режим доступа: <http://sportwiki.to>. – Дата доступа: 05.11.2018.

УДК 51-73; 531.3; 796.01

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ В БИОМЕХАНИКЕ СПОРТА В СФЕРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

**А.Е. Покатилов\*, С.В. Шкуратов\*, Ю.В. Воронович\*\***

*\* Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,  
Республика Беларусь*

*\*\* Государственное учреждение образования «Средняя школа № 22 г. Могилева»,  
Республика Беларусь*

e-mail: pokatilov-a@mail.ru

**Аннотация.** В работе проанализирована техника рывка штанги, и показано, что движение спортсмена при выполнении упражнения является пространственным. Предложена методика расчета пространственных характеристик движения биомеханической системы с использованием сферической системы координат и показаны проблемы ее применения. При этом исходными данными для биомеханического анализа спортивного упражнения является запись с одной видеокамеры. Предложены модели расчета моментов управляющих сил мышечной системы.

**Ключевые слова:** биомеханическая система, моделирование, сферические координаты, управляющий момент, штанга.

## **MOTION MODELING IN SPORTS BIOMECHANICS IN A SPHERICAL COORDINATE SYSTEM**

**A.E. Pokatilov\*, S.V. Shkuratov\*, Yu.V. Voronovich\*\***

*\* Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus*

*\*\* State educational Institution "Secondary School No. 22 of Mogilev", Republic of Belarus*

**Abstract.** The paper analyzes the technique of the barbell jerk, and shows that the movement of the athlete during the exercise is spatial. A method for calculating the spatial characteristics of the movement of a biomechanical system using a spherical coordinate system is proposed and the problems of its application are shown. At the same time, the initial data for the biomechanical analysis of a sports exercise is a recording from a single video camera. Models for calculating the moments of the governing forces of the muscular system are proposed.

**Keywords:** biomechanical system, modeling, spherical coordinates, control moment, barbell.

Во многих видах спорта движение спортсмена является пространственным. При этом сложилось несколько вариантов проведения исследования такого движения: при одном разрабатывают сложные методики изучения техники спортивного упражнения, привлекая различные технологии захвата движения, например, технологию компьютерного зрения или маркерные технологии и пр. При другом варианте движением