

Министерство спорта Российской Федерации  
Департамент по молодежной политике, физической культуре, спорту Томской  
области  
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский Томский государственный  
университет”  
Факультет физической культуры

# **ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА, ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ**

**Материалы XII Международной научно-практической  
конференции, посвященной памяти В.С. Пирусского,  
г. Томск, 15 ноября 2018 г.**

*Под редакцией профессора Е.Ю. Дьяковой*

Scientific & Technical Translation



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2018

## **БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ В ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА**

Загревский В.И.<sup>1,3</sup>, Загревский О.И.<sup>2,3</sup>, Иванчиков Н.В.<sup>4</sup>, Загревская Л.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова, г. Могилев

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, г. Тюмень

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

<sup>4</sup>Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь,  
г. Могилев

<sup>5</sup>МБОУ СОШ № 12, г. Анжеро-Судженск

### **Актуальность**

В структуре учебно-тренировочного процесса техническая подготовка спортсменов занимает наибольший удельный вес в тех видах спорта, в которых техника упражнений является предметом оценки соревновательной деятельности (спортивная и художественная гимнастика, прыжки на батуте, прыжки с трамплина и вышки в воду, акробатика, борьба, бокс и т.д.). В этих видах спорта до 80% времени отводится на техническую подготовку атлетов и разработка таких вариантов технических действий спортсмена, которые позволят улучшить спортивный результат, достигнуть более высокой оценки за технику соревновательного упражнения — актуальнейшая задача теории и практики спорта, в частности, биомеханики физических упражнений.

### **Базовые положения проекта исследования**

В основу проекта использования средств компьютерной техники в технической подготовке спортсменов положены инновационные технологии в области механики управляемого тела, робототехники, биомеханики физических упражнений, педагогики. В настоящей статье рассматриваются узловые положения следующих компонентов исследования:

- 1) кинематическая структура спортивных упражнений;
- 2) прямая задача механики;
- 3) прямая задача в робототехнике;
- 4) биомеханическая интерпретация прямой и обратной задач механики и робототехники в движениях человека.

**1. Кинематическая структура спортивных упражнений.** Биомеханика спорта, одной из ключевых задач которой является анализ и оценка эффективности двигательных действий спортсменов, рассматривает структуру соревновательного упражнения как цепочку двигательных задач, постановка которых в отдельных час-

тях упражнения соответствует его фазовой структуре. Разделение соревновательного упражнения на более мелкие составные единицы интегрируется в дальнейшем целевой направленностью движения, представляемой конечным результатом выполняемого двигательного действия. Педагогическое структурирование упражнения выполняется на основе данных о его кинематической структуре и содержит сведения о таких структурных единицах упражнения как фаза, стадия, период [1–5].

На наш взгляд, объективно оправданным делением упражнения на фазы по биомеханическому принципу является выделение в фазовой структуре двигательного действия кинематических элементов сгибания и разгибания в суставах спортсмена, реализующих функцию управляющих воздействий в системе управления движением.

**2. Прямая и обратная задачи механики.** При определении кинематической структуры упражнения обычно решаются два типа задач: прямая задача кинематики и обратная задача (рис. 1).

Здесь следует отметить, что в механике постановка и решение прямой и обратной задач относится не только к кинематике, но и к задаче динамики.

**Прямая задача кинематики.** В механике задачу определения характеристик движения по известному закону движения называют прямой задачей кинематики. Если известен закон движения, то дифференцируя исходные выражения по времени получают компоненты скорости и ускорения.

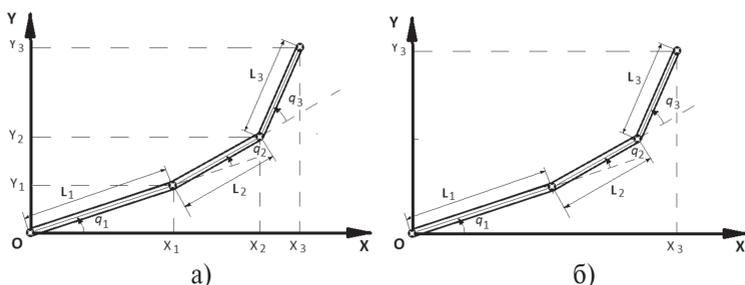


Рис. 1. Прямая и обратная задачи кинематики для трехзвенного манипулятора: а) прямая задача: ( $L_1, L_2, L_3$ ); ( $q_1, q_2, q_3$ ) – известные данные; ( $x_3, y_3$ ) – необходимо определить; б) обратная задача: ( $L_1, L_2, L_3$ ); ( $x_3, y_3$ ) – известные данные; ( $q_1, q_2, q_3$ ) – необходимо определить

*Прямая задача динамики.* Задача нахождения результирующей силы по заданному движению точки, тела или системы тел называется прямой задачей динамики. Следовательно, в прямой задаче динамики по известной зависимости изменения координат точки, тела, системы тел по времени определяются силы, необходимые для перемещения исследуемых объектов по заданной траектории. Прямая задача всегда решается дифференцированием исходных данных.

**3. Прямая и обратная задачи в робототехнике.** В робототехнике прямую задачу кинематики называют прямой кинематикой, обратную задачу кинематики – обратной кинематикой (инверсной кинематикой). И трактуются эти задачи по постановке, содержанию и решению несколько иначе, чем в механике, не связывая напрямую их решение с дифференцированием и интегрированием функций.

*Прямая задача кинематики.* Механический манипулятор рассматривают как разомкнутую цепь, состоящую из нескольких твердых тел (звеньев), последовательно соединенных вращательными или поступательными сочленениями, приводимыми в движение силовыми приводами.

Общепринято, что в прямой кинематике манипуляционных роботов (МР) известными считаются: массив геометрических параметров звеньев –  $(L_1, L_2, \dots, L_k)$ ,  $k$  – количество звеньев манипулятора, вектор присоединенных углов – обобщенных координат  $\mathbf{q}(t) = (q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t))^T$ ,  $n$  – число степеней свободы. Требуется определить пространственное положение и ориентацию характерной точки (схват) МР относительно абсолютной системы координат.

Для рассматриваемого трехзвенного манипулятора прямая задача кинематики решается достаточно просто и следует из его кинематической схемы. При условии, что  $x_0=0, y_0=0$  (шарнир расположен в начале системы координат), последовательно находим

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + L_1 \cos q_1, & y_1 &= y_0 + L_1 \cos q_1, \\ x_2 &= x_1 + L_2 \cos(q_1 + q_2), & y_2 &= y_1 + L_2 \cos(q_1 + q_2), \\ x_3 &= x_2 + L_3 \cos(q_1 + q_2 + q_3), & y_3 &= y_2 + L_3 \cos(q_1 + q_2 + q_3). \end{aligned} \quad (1)$$

#### 4. Биомеханическая интерпретация прямой задачи механики и робототехники в движениях человека.

Прямая задача кинематики в биомеханике физических упражнений по материалам оптической регистрации движений. Исходными данными промера упражнения (рис. 2) являются данные координат суставов, получаемые по их проекциям на оси декартовой системы координат [2].

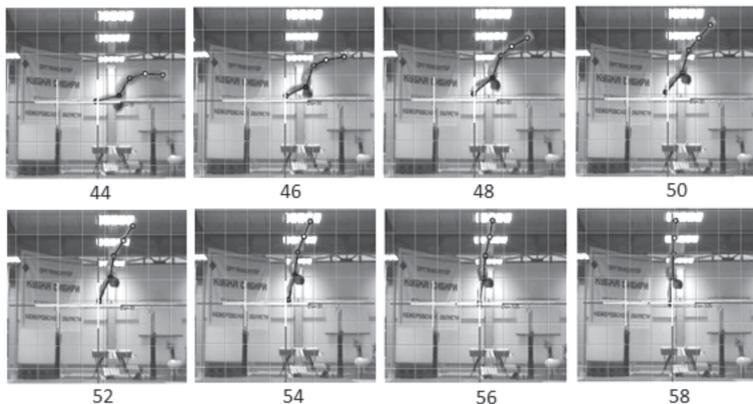


Рис. 2. Фрагмент промера большого оборота назад на брусьях

Составленная по результатам промера таблица чисел координат суставов по оси  $Ox$  ( $x_{k,i}$ ) и оси  $Oy$  ( $y_{k,i}$ ) для  $i$ -го сустава ( $i=1, 2, \dots, N$ ) в  $k$ -м видеокадре, отражает закон движения  $N$ -звенной биомеханической системы (БС). Так как исходные данные представлены в табличном виде, то, для получения первой и второй производных от функции по времени, выполняется численное дифференцирование координат суставов. Линейная скорость и ускорение маркерных точек (суставов) определяются из уравнений:

$$\dot{x}_{k,i} = \frac{x_{k+1,i} - x_{k-1,i}}{2h}, \quad \dot{y}_{k,i} = \frac{y_{k+1,i} - y_{k-1,i}}{2h}, \quad \dot{r}_{k,i} = \sqrt{\dot{x}_{k,i}^2 + \dot{y}_{k,i}^2}. \quad (2)$$

$$\ddot{x}_{k,i} = \frac{x_{k+1,i} - 2x_{k,i} + x_{k-1,i}}{h^2}, \quad \ddot{y}_{k,i} = \frac{y_{k+1,i} - 2y_{k,i} + y_{k-1,i}}{h^2}, \quad \ddot{r}_{k,i} = \sqrt{\ddot{x}_{k,i}^2 + \ddot{y}_{k,i}^2}. \quad (3)$$

Здесь  $k$  – номер видеокadra;  $i$  – номер сустава;  $\dot{x}_{k,i}$ ,  $\dot{y}_{k,i}$ ,  $\dot{r}_{k,i}$  – линейная скорость  $i$ -го сустава в  $k$ -м видеокadre;  $\ddot{x}_{k,i}$ ,  $\ddot{y}_{k,i}$ ,  $\ddot{r}_{k,i}$  – линейное ускорение  $i$ -го сустава в  $k$ -м видеокadre;  $h$  – шаг между двумя ближайшими видеокadрами по времени.

Угол ( $Q_{k,i}$ ), образуемый  $i$ -м звеном биомеханической системы в  $k$ -м видеокadre с осью  $Ox$  декартовой системы координат, угловая скорость и угловое ускорение звеньев биомеханической системы вычисляются по алгоритмам

$$Q_{k,i} = \arccos\left(\frac{x_{k,i} - x_{k,i-1}}{L_i}\right), \quad \dot{Q}_{k,i} = \frac{Q_{k+1,i} - Q_{k-1,i}}{2h}, \quad \ddot{Q}_{k,i} = \frac{Q_{k+1,i} - 2Q_{k,i} + Q_{k-1,i}}{h^2}. \quad (4)$$

Уравнения (2–4) являются расчетными моделями пространственно-временных характеристик кинематической структуры упражнения при решении прямой задачи кинематики в биомеханике физических упражнений и используются для определения фазового состава изучаемого двигательного действия. Так как рассматриваемые уравнения выполняют функцию численного дифференцирования, то определение пространственно-временных характеристик спортивных упражнений по материалам оптической регистрации движений тесным образом сопрягается с решением прямой задачи кинематики в механике. На уровне решения прямой кинематики МР прямая задача кинематики в биомеханике реализуется по материалам оптической регистрации движений на этапе выполнения промера: при считывании координат суставов.

*Прямая задача динамики в биомеханике физических упражнений по материалам оптической регистрации движений* заключается в получении численных значений динамических характеристик (кинетическая энергия, кинетический момент, управляющий момент мышечных сил в суставах и т.п.) биомеханической системы. Эта задача решается с использованием расчетных моделей анализа движений биомеханических систем в результате предварительного решения прямой задачи кинематики.

### **Заключение**

Прямая задача в биомеханике физических упражнений возникает в результате необходимости получения данных о декартовых координатах маркерных точек, в качестве которых выступают суставы биомеханической системы и центр масс сегментов тела спортсмена. Необходимые сведения могут быть получены в результате:

- 1) выполнения промера по материалам оптической регистрации спортивных упражнений;
- 2) использования расчетных моделей пространственно-временных характеристик по материалам компьютерного синтеза техники спортивных упражнений.

Так как координаты маркерных точек представлены в виде табличных данных, то, для получения первой и второй производных от функции по времени, выполняется численное дифференцирование координат суставов. Следовательно, для получения информации о линейной скорости и линейном ускорении маркерных точек тела спортсмена применяются математические методы численного дифференцирования.

### **Литература**

1. Гавурдовский Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика. – М. : Физкультура и спорт, 2007. – 912 с.
2. Загrevский О.И., Загrevский В.И. Техника «Большого оборота назад из стойки на руках в стойку на руках на параллельных брусьях» на этапе формирования умения и навыка // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 7. – С. 23–25.
3. Загrevский В.И., Загrevский В.О., Шилько В.Г. Влияние фазового состава биомеханических событий в спортивных упражнениях на структурный компонент двигательных действий // Теория и практика физической культуры. – 2012. – № 12. – С. 33–37.
4. Загrevский В.И., Шерин В.С. Биомеханические параметры стартовых условий полетной части перелетовых упражнений «Ткачев» на перекладине // Теория и практика физической культуры. – 2008. – № 10. – С. 6–11.
5. Загrevский В.О., Шилько В.Г. Биомеханические показатели фазовых двигательных действий в перелете «Ткачев» // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 31 мая 2012 г.: в 5 частях. Ч 3. – Тамбов : Бизнес-Наука-Общество, 2012. – С. 41–42.