

КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЗАДАНИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКОМ УРОВНЕ

В. И. Загревский^{1,2}, Д. А. Лавшук¹, О. И. Загревский^{2,3}

⁽¹⁾Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова,
Могилев, Беларусь;

⁽²⁾Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия;

⁽³⁾Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия)

В статье рассматривается один из методов биомеханики – синтез техники спортивных упражнений. Показано, что метод позволяет на основе математической модели движения биомеханической системы, по заданным начальным условиям движения и динамике управляющих моментов мышечных сил, синтезировать траекторию биосистемы.

Представление спортсмена о технике упражнения формируется обычно в виде модели кинематической структуры: поз и положений биомеханической системы (БС) на границах фаз двигательного действия [1, 2]. Кинематическое управление движением биомеханической системы реализуется ансамблем сгибательно-разгибательных движений спортсмена в суставах. За экстремальные значения кинематического управления в отдельных фазах упражнения можно принять соответствующие разности ориентации звеньев тела спортсмена (обобщенные координаты – φ_i) в узловых точках границы фаз упражнения. Управляющие воздействия (U_i), формируемые в вычислительном эксперименте

на компьютере в виде разности обобщенных координат ($U_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$), отражают процесс сгибательно-разгибательных движений спортсмена в суставах и представляют собой подкласс управлений на *кинематическом уровне* [2].

Способ формирования программного управления в виде управляющих моментов мышечных сил, заданных на всей синтезируемой траектории движения биосистемы, имеет название – синтез управляющих воздействий на *динамическом уровне* [2]. В практике биомеханических исследований задание программного управления в виде функций силового воздействия спортсмена на биомеханику сгибательно-разгибательных движений в суставах является менее распространенным, чем синтез движений в вычислительном эксперименте с программным управлением на кинематическом уровне. В биомеханике спорта известно несколько работ, в которых реализована идея синтеза движений спортсмена на динамическом уровне [2, 3, 4].

В выполненном нами исследовании проведена серия вычислительных экспериментов на компьютере с формированием управляющих воздействий на динамическом уровне. Для динамического уровня задания программного управления использовался математический аппарат и математическая модель движения трехзвенной неразветвленной биомеханической системы в условиях опоры, в которой управляющими функциями являлись программные законы изменения управляющих моментов мышечных сил в суставах спортсмена [2].

Содержательно-смысловая трактовка целевой направленности вычислительных экспериментов сводилась к решению задачи определения адекватности методов кинематического и динамического уровня формирования управляющих воздействий в конструировании движений в вычислительном эксперименте на компьютере. План экспериментов включал следующие условия их проведения и этапы:

1. Синтезировать в условиях опоры (гриф перекладины) вращательное движение спортсмена из исходного положения «Вис на перекладине» в конечное положение «Стойка на руках» с сохранением выпрямленного положения на всей траектории движения.

2. Поставлена двигательная задача – сохранить взаимное положение звеньев тела спортсмена (звенья тела атлета располагаются на одной прямой) на всей траектории моделируемого упражнения. Кинематический уровень формирования программного управления реализует эту двигательную задачу управляющими функциями вида: $U_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i = 0$.

Для начальных условий движения математическая формулировка ориентации и угловой скорости звеньев модели заключается в их соответствующей формализации:

$$\begin{cases} \varphi_1 = 270^\circ, & \varphi_2 = 270^\circ, & \varphi_3 = 270^\circ; & \text{Обобщенные координаты,} \\ \dot{\varphi}_1 = 6 \text{ рад / с,} & \dot{\varphi}_2 = 6 \text{ рад / с,} & \dot{\varphi}_3 = 6 \text{ рад / с;} & \text{Обобщенная скорость.} \end{cases}$$

3. Решить задачу синтеза движения трехзвенной модели биомеханической системы с условиями пунктов 1, 2 с использованием кинематического уровня организации управляющих воздействий.

4. Определить, по материалам решения задачи 3 требуемые для сохранения выпрямленного положения тела спортсмена управляющие моменты мышечных сил в плечевых и тазобедренных суставах гимнаста.

5. Решить задачу синтеза движения трехзвенной модели биомеханической системы с условиями пунктов 1, 2 с использованием динамического уровня организации управляющих воздействий по материалам 4-го этапа вычислительных экспериментов.

6. Сопоставить траектории движения БС в экспериментах с кинематическим и динамическим уровнем формирования управляющих воздействий, дать им биомеханическую и педагогическую оценку.

В проведенной серии вычислительных экспериментов шаг интегрирования математической модели равнялся 0,001 с. Программное управление обеспечивало неизменное взаимное расположение звеньев модели для каждого момента времени, в том числе и для каждой временной точки шага интегрирования. Результаты вычислений подавались на лист выдачи через каждые 0,06 с. Количество точек траектории заранее не указывалось, так как их число было неизвестным. Для обеспечения требований условия конечного положения звеньев модели («Стойка на руках») последний шаг интегрирования был переменным и подбирался в соответствии с выполнением краевых условий движения на правом конце траектории. Момент силы трения был положен равным нулю на всей траектории движения.

Результаты вычислительных экспериментов положительно ответили на вопрос о соответствии траекторий БС, полученных различными методами синтеза движения биомеханической системы. Доказана адекватность применения кинематического и динамического уровней формирования программного управления в синтезе движений биомеханических систем.

Список использованной литературы

1. Гавердовский, Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К. Гавердовский. – М.: Физкультура и Спорт, 2007. – 912 с.
2. Загrevский, В.И. Формализм Лагранжа и Гамильтона в моделировании движений биомеханических систем : монография / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский, Д.А. Лавшук. – Могилев : МГУ имени А.А. Кулешова, 2018. – 296 с.
3. Зинковский, А.В. Проблема оптимального построения техники спортивных упражнений в спорте / А.В. Зинковский, И.А. Трофимова, В.А. Чистяков // Вопросы физического воспитания студентов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – С. 101–110.
4. Лавшук, Д.А. Оптимизация техники гимнастических упражнений на основе имитационного моделирования двигательных действий: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04, 01.02.08 / Д.А. Лавшук; РГУФК. – Москва, 2007. – 23 с.