

УДК 796.01

**ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ИМИТАЦИОННОМ  
МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНА НА ПЭВМ**

**И.Л.Лукашкова**

Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, [fire83@yandex.ru](mailto:fire83@yandex.ru)

В настоящее время основными способами познания закономерностей двигательных действий спортсменов в биомеханике физических упражнений являются биомеханический анализ и синтез. Однако, более востребован-

ный на современном этапе, в силу своей доступности, метод анализа техники двигательных действий зачастую не в состоянии ответить на актуальные вопросы практики спорта.

Получить научно-обоснованные ответы позволяет активно развивающийся, в последнее время в республике Беларусь, один из перспективных способов теоретического синтеза техники соревновательных упражнений – метод имитационного моделирования движений человека на ПЭВМ.

Сущность метода имитационного моделирования движений человека на ПЭВМ заключается в том, что эволюция многозвенной биомеханической системы в пространстве и во времени описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка, в частности уравнениями Лагранжа второго рода. Принципиальное преимущество данного подхода, выделяющее его прикладную ценность среди имеющихся технологий исследования соревновательных упражнений, заключается в возможности осуществления прогностического построения техники двигательных действий на основе математических моделей синтеза движений биомеханических систем.

В серии планируемых вычислительных экспериментов на ПЭВМ, предполагается использовать базисную математическую модель многозвенной биомеханической системы.

Уравнения целенаправленного движения многозвенной биомеханической системы в компактной записи имеют вид [1]

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} \ddot{\varphi}_j \cos(\varphi_j - \varphi_i) - \sum_{j=1}^n A_{ij} \dot{\varphi}_j^2 \sin(\varphi_j - \varphi_i) + Y_i \cos \varphi_i = M_i - M_{i+1}.$$

Здесь  $n$  - количество звеньев моделируемой системы,  $\varphi$  - вектор обобщенных координат биомеханической системы,  $\dot{\varphi}$ ,  $\ddot{\varphi}$  - соответственно первая и вторая производная вектора обобщенных координат по времени.

В уравнениях движения коэффициенты  $A_{ij}$  характеризуют масс-инерционные и кинематические параметры отдельных звеньев биомеханической системы  $L_i$ ,  $S_i$ ,  $J_i$ ,  $m_i$ . Здесь:  $L_i$  – длина  $i$ -го звена;  $S_i$  – расстояние от оси вращения до центра масс  $i$ -го звена;  $J_i$  – центральный момент инерции  $i$ -го звена;  $m_i$  – масса  $i$ -го звена. Так, в численных значениях динамических коэффициентов ( $A_{ij}$ ) учитываются антропометрические особенности сегментов и звеньев опорно-двигательного аппарата тела спортсменов.

Содержательный смысл коэффициентов  $Y_i$ , содержащихся в левой части уравнений, заключается в том, что они представляют собой выражения для определения обобщенных сил. При условии моделирования упражнения без учета действия силы тяжести все  $Y_i = 0$  Кг/м, в противном случае они вычисляются предварительно и остаются постоянными на всей траектории биосистемы.

В правой части уравнений движения  $N$ -звенной биомеханической системы заключаются сведения об управляющих моментах мышечных сил в суставах спортсмена ( $M_i$ ), записываемых для  $i$ -го уравнения системы в виде алгебраической суммы слагаемых  $M_i - M_{i+1}$ , где

$$M_{i+1} \neq 0, \quad \text{если } i < n \quad \text{и} \quad M_{i+1} = 0, \quad \text{если } i = n.$$

Следовательно, синтез движений человека на ПЭВМ позволяет, посредством варьирования определенных факторов, получить количественную информацию об их влиянии на формирование той или иной траектории биомеханической системы и тем самым установить общие закономерности построения двигательных действий спортсменов в условиях опоры в зависимости от:

- начальных условий движения,
- траектории программного управления,
- масс-инерционных характеристик моделируемой биосистемы.

Таким образом, предварительная разработка методики планирования и проведения вычислительного эксперимента позволит исследовать разнообразные варианты синтеза движений, которые трудно, а порой и невозможно реализовать спортсменам в реальном исполнении.

Литература