

# **ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИКИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЭВМ**

**Д.А. Лавшук**

Могилевский государственный университет им. А.А.Кулешова, dmrl@tut.by

**Введение.** Постоянный рост результатов во всех видах спорта требует поиска новых методов подготовки спортсменов. Интенсификация технической подготовки – особенно актуальная задача в таких видах спорта, где техника упражнений является предметом соревновательной оценки (гимна-

стика, прыжки в воду, на батуте). Традиционные методы технической подготовки зачастую уже не удовлетворяют запросам практиков тренерско-преподавательского состава. Возможность прогнозирования рациональной техники соревновательных упражнений для конкретного исполнителя, указания путей построения биомеханически целесообразных и эффективных структур новых двигательных действий крайне ограничена. Сегодняшний уровень спортивных достижений настоятельно требует предварительного обоснования возможности исполнения еще не реализованных на практике элементов соревновательных упражнений. Весьма часто тренер ставит перед собой следующие вопросы: «А что было бы, если бы спортсмен обладал бы силовым потенциалом на 10, 20, 30% большим, чем сейчас, как могла бы трансформироваться его техника?», либо «Каков бы был спортивный результат, если бы спортсмен изменил кинематическую структуру упражнения?». Ответ на данный вопрос может быть получен методами математического моделирования, через организацию вычислительного эксперимента на ЭВМ. Более того, формализовав задачу исследования технического компонента подготовки спортсмена посредством перехода к математической модели движений, возможно применение методов теории оптимального управления для поиска рациональной индивидуальной рациональной техники упражнений.

**Цель** нашего исследования заключалась в теоретическом обосновании применения математических моделей движений для поиска оптимальной техники соревновательных упражнений.

**Методы исследования.** В нашем исследовании использовались следующие методы:

1. Видеосъемка соревновательных упражнений.
2. Компьютерная обработка видеоматериалов регистрации движений спортсменов и построение видеogramм упражнений на ЭВМ.
3. Аналитический расчет кинематических и динамических характеристик движения.
4. Механико-математический метод моделирования динамических систем
5. Математические методы оптимизации движения управляемых биомеханических систем.
6. Вычислительные эксперименты на ЭВМ.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В технологической цепочке проведения имитационного моделирования в вычислительном эксперименте на ЭВМ можно выделить следующие этапы [2]:

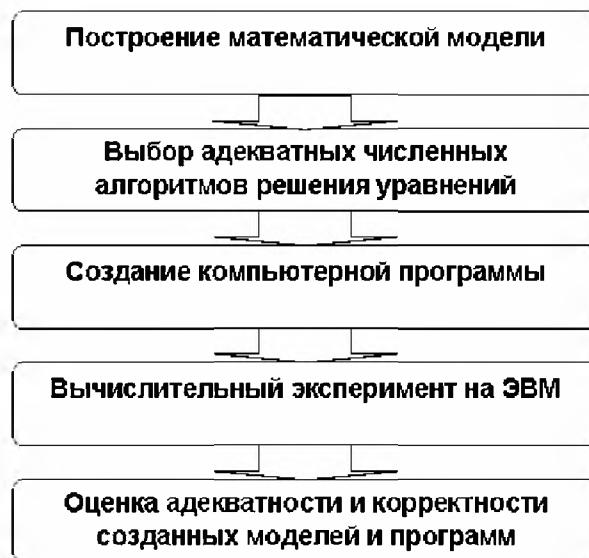


Рисунок – Этапы организации вычислительного эксперимента на ЭВМ

Укажем специфику организации вычислительного эксперимента в исследовании техники соревновательных упражнений.

Первый этап – построение математической модели. Механическое движение любого физического объекта – это процесс изменения пространственных характеристик объекта с течением времени. Любые процессы с точки зрения математики можно описать дифференциальными уравнениями. Если модель позволяет воспроизвести процесс функционирования исследуемой системы, получить по исходным данным информацию о состоянии процесса в определенные моменты времени, то данный вид моделирования называется имитационным. На сегодняшний день имитационное моделирование является наиболее эффективным, а зачастую, и единственным методом ис-

следования сложных систем, к которым относятся и биомеханические системы. Задача исследователя – определить степень упрощения реальной, моделируемой системы, иначе говоря, уровень абстракции. Даже если рассматривать тело человека только как механическую систему, уже на данном уровне абстракции необходимо ответить на вопросы о числе звеньев модели, ее разветвленности, плоскостная или пространственная модель. На сегодняшний день нам представляется проблематичным создание универсальной математической модели синтеза произвольных пространственных движений спортсмена вследствие огромного разнообразия спортивных движений. Однако модели, позволяющие описать определенные подклассы движений, уже разработаны. В частности, рассмотрим математическую модель движения N-звенной неразветвленной биомеханической системы [1]:

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

Здесь  $N$  - количество звеньев моделируемой системы,  $\Phi$  - вектор обобщенных координат биомеханической системы,  $A_{ij}$  - матрица динамических характеристик, определяемая масс-инерционными характеристиками звеньев тела спортсмена,  $\dot{\Phi}, \ddot{\Phi}$  - соответственно первая и вторая производная вектора обобщенных координат по времени,  $Y$  - вектор обобщенных сил,  $M$  - вектор управляющих моментов мышечных сил в суставах.

Назовем математическую модель, описываемую уравнениями (1), как *базовую математическую модель движения биомеханической системы*.

В зависимости от способа задания управляющих функций и моделирующего их алгоритма управления движением, базовая математическая модель движения биомеханической системы трансформируется в подкласс *конструктивных математических моделей синтеза целенаправленных движений человека*.

Управляющие воздействия биомеханической системы формируются на двух уровнях – кинематический уровень формирования программного управления (если управляющие функции заданы в форме кинематических характеристик) и динамический уровень формирования программного управления (при задании управляющих функций в форме управляющих моментов мышечных сил).

Соответственно это определяет два класса конструктивных математических моделей. Выделяя в качестве кинематического управления суставные углы спортсмена на всей траектории движения, уравнения (1) трансформируются в следующую математическую модель

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{M_1 - \sum_{i=1}^N [Y_i \cos \varphi_i + \sum_{j=2}^N A_{ij} \ddot{\varphi}_j \cos(\varphi_j - \varphi_i) - \sum_{k=1}^N A_{i,k} \dot{\varphi}_k^2 \sin(\varphi_k - \varphi_i)]}{\sum_{i=1}^N A_{i,1} \cos(\varphi_1 - \varphi_i)}, \quad \ddot{\varphi}_i = \ddot{\varphi}_1 + \sum_{z=1}^{p-1} \ddot{u}_z, \quad (2)$$

где  $i=2, 3, \dots, N$ ;  $u_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$  - суставные углы исполнителя.

Второй класс уравнений получим, если в качестве управления принимаются значения моментов мышечных сил на всей траектории движения.

Записав уравнения (1) в нормальном виде и приняв обозначения

$$A = \left\| A_{ij} \cos(\varphi_j - \varphi_i) \right\|, \quad f = \left\| \sum_{j=1}^N A_{ij} \dot{\varphi}_j^2 \sin(\varphi_j - \varphi_i) - Y_i \cos \varphi_i + M_i - M_{i+1} \right\|,$$

получим следующую математическую модель:

$$\ddot{\Phi} = A^{-1} f, \quad (3)$$

где  $A^{-1}$  - обратная матрица по отношению к исходной матрице  $A$ .

Получив конструктивные модели движений биомеханической системы, возможно применение к ним аппарата оптимального управления динамическими системами. Результат оптимизации – такие значения управляющих функций, которые доставляют максимум или минимум функционалу – заранее избранному критерию качества процесса, описываемого уравнениями. В случае решения уравнений движения в качестве такого критерия может выступать любая формализованная цель движения.

Наши эксперименты показали, что для представленных моделей движения наиболее эффективны следующие методы оптимизации:

- первое направление основано на построении оптимального управления в движениях биомеханических систем на основе принципа максимума Понтрягина;
- второе направление базируется на поиске оптимального управления движениями биомеханических систем методом локальных вариаций в пространстве управлений.

Второй этап в организации вычислительного эксперимента – выбор адекватных численных алгоритмов решения уравнений. Математическая модель позволяет определить положение спортсмена в любой момент времени. Для этого необходимо решить систему дифференциальных уравнений. Аналитическое решение данной системы не всегда возможно, поэтому пользуются численными методами решения дифференциальных уравнений. На данном этапе исследования необходимо определиться с методами решения, ибо от их корректности зависит и точность решения уравнения, адекватность результатов моделирования реальным движениям. На современном этапе развития вычислительных алгоритмов наиболее часто используется метод интегрирования Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

Третий этап – создание компьютерной программы. Конечно, для вычисления биомеханических характеристик движений с использованием разработанных математических моделей возможно использование специализированных математических пакетов. Однако данный способ, на наш взгляд, неприемлем с точки зрения эффективности использования имитационного моделирования. В этом случае моделировать спортивные движения сможет лишь специалист, обладающий серьезной математической подготовкой. В случае же создания конечного программного продукта, позволяющего в удобной форме задать начальные условия моделирования и предоставляющего развитые средства анализа расчетных биомеханических характеристик, возможно использование таких программ широким кругом пользователей, в том числе тренерами, спортсменами, студентами.

Четвертый этап – собственно вычислительный эксперимент на ЭВМ. Причем можно выделить две фазы вычислительных экспериментов. Первая фаза, которую можно назвать предварительным вычислительным экспериментом, направлена на решение задачи пятого этапа – проверки адекватности и корректности созданных моделей и программ. Созданные математические модели и компьютерные программы обязательно должны быть проверены на адекватность реальным спортивным движениям. После создания программы мы должны построить траектории реально исполнявшихся упражнений для разных исполнителей и сравнить результаты имитационного моделирования с данными регистрации этих движений. Только после данной процедуры возможно применение разработанных моделей и программ для дальнейших исследований.

**Выводы.** Имитационное моделирование двигательных действий позволяет рационализировать процесс поиска оптимальных двигательных действий спортсменов. Благодаря имитационному моделированию можно не только определять рациональные формы известных упражнений, но и исследовать технику новых, еще никогда не исполнявшихся спортивных движений.

### **Литература:**

1. Загrevский, В.И. Модели анализа движений биомеханических систем / В.И.Загrevский. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 124 с.
2. Попов, Ю. П. Вычислительный эксперимент / Ю. П. Попов, А. А. Самарский // Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования. – М.:Наука, 1988. – С.16-78.