

**Возможности биомеханического синтеза техники
тяжелоатлетических упражнений методами имитационного
моделирования:**

Воронович Ю.В.¹, Лавшук Д.А.², канд. пед. наук, доцент

Загревский В.И.², д-р пед. наук, профессор

¹*Могилевский высший колледж МВД Республики Беларусь*

²*МГУ им. А. А. Кулешова, Могилев, Беларусь*

В тяжелой атлетике уровень технического исполнения соревновательных упражнений является одним из решающих факторов, определяющих спортивный результат.

В настоящее время возросший уровень спортивных достижений повысил требования к технической подготовке спортсменов. Поиск и обоснование наиболее рациональных способов выполнения тяжелоатлетических упражнений является необходимым условием роста спортивного мастерства и залогом успеха спортсменов в соревновательной деятельности.

Одной из первых попыток коррекции техники выполнения тяжелоатлетических упражнений с использованием технических средств было использование тренажерных устройств. Но их использование в тренировочном процессе тяжелоатлетов не получило широкого распространения в связи с тем, что, с одной стороны, их конструктивные недостатки ограничивали диапазон применения в решении педагогических задач, а с другой, большинство тренажеров для совершенствования движений тяжелоатлетов обладали одним общим недостатком – они не позволяли получать текущую информацию о биомеханических характеристиках движения в ходе выполнения упражнения [5].

С 70-80 годов прошлого столетия с целью коррекции техники и получения количественной информации тяжелоатлетических упражнений стали использоваться технические средства срочной информации в виде компактных электрических устройств [6]. В частности, широкое распространение получили датчики ускорений, тензометрические датчики, датчики скорости и перемещения, с помощью которых непосредственно прямым измерением можно

было получать требуемую характеристику или величину. Однако во время проведения соревнований пользоваться подобными устройствами оказалось проблематично из-за невозможности установки на используемых снарядах.

Параллельно с развитием электрических устройств начали развиваться бесконтактные методы регистрации спортивных движений [3].

Стробоскопическая стереофотограмметрия являлась первым методом биомеханической регистрации, представляющая собой промежуточную стадию между фотографированием и киносъемкой. При съемке одной камерой, оптическая ось которой перпендикулярна плоскости движения, определялись две координаты базовых точек тела человека в плоской прямоугольной инерциальной системе координат, а при съемке двумя камерами с помощью специального алгоритма фиксировались все три пространственные координаты указанных точек. Однако стереофотограмметрические системы оказались достаточно дорогими, требовали длительной и трудоемкой обработки исходного материала и могли применяться лишь в лабораторных условиях.

Кинематографический метод пришел на замену фотограмметрии как недорогой метод, обеспечивающий меньшую, но, после появления высокоскоростных кинокамер, приемлемую точность регистрации. Именно в процессе развития кинематографических методов решались актуальнейшие задачи сглаживания исходных данных регистрации, без которых невозможно рассчитать биомеханические характеристики движений с минимально допустимой погрешностью. Однако все равно процедура получения информации была трудоемкой. Этапы проявки пленки, выполнения промера через фотоувеличитель отнимали массу времени.

Развитие современной электроники, связанное с появлением видеокамер, сперва аналоговых, а затем цифровых, позволило ускорить процедуру получения биомеханических характеристик. С 90-х годов прошлого столетия стали активно развиваться программно-аппаратные видеокомплексы регистрации движений. В частности, в работе А.Н. Фураева [4] описывается автоматизированная система контроля за биомеханическими

характеристиками техники рывка в тяжелой атлетике. Этот комплекс позволяет выявить до 20 различных ошибок в технике движений тяжелоатлетов и выдать рекомендации по их исправлению непосредственно во время тренировки. Вместе с тем, использование этого комплекса также ограничено рамками тренировочного процесса, так как требуется использование специальной лаборатории.

В настоящее время весьма перспективной представляется технология безмаркерной оптической регистрации. Данная технология основана на теории распознавания образов и позволяет регистрировать пространственные движения человека, не прикрепляя к суставам никаких меток. Вместе с тем для анализа технических действий спортсменов возможно использование аппаратуры и меньшего класса точности с несколькими скоростными видеокамерами.

Нами разработана методика для первичного биомеханического анализа техники тяжелоатлетических упражнений, основанная на использовании бытовой цифровой видеокамеры с последующей обработкой видеоматериалов на ЭВМ [1]. При этом для автоматизации обработки массива данных используется собственная компьютерная программа, составленная на языке Visual Basic 6.0. Программа прошла тестирование и в настоящее время готовится к регистрации.

Возрастающий уровень спортивных достижений требует создания комплексов, обеспечивающих расчет биомеханического синтеза техники спортивных упражнений методами имитационного моделирования.

Анализ научной литературы указывает на то, что синтез как метод биомеханики недостаточно освещен исследователями. Ввиду этого целесообразно придерживаться основных этапов, предложенных Ю.П. Поповым [2], по которым следует выстраивать содержание алгоритма:

1) *построение математической модели.* На сегодняшний день имитационное моделирование является наиболее эффективным методом в исследовании сложных систем, к которым относятся и биомеханические системы. Задача исследователя – определить уровень абстракции. Даже если рассматривать тело человека только

как механическую систему, уже на данном уровне абстракции необходимо ответить на вопросы о числе звеньев модели и ее разветвленности на плоскостные или пространственные модели. В настоящее время 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 предшествующей работе мы предложили математическую модель движения N-звенной неразветвленной биомеханической системы [1]:

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

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

В зависимости от способа задания управляющих функций и моделирующего алгоритма управления движением, 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

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

$$\ddot{\varphi}_i = \ddot{\varphi}_1 + \sum_{z=1}^{p-1} \ddot{u}_z, \quad (2)$$

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

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

Записав уравнения (1) в нормальном виде и приняв обозначения

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

можно получить следующую математическую модель:

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

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

2) *организация 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, и адекватность результатов моделирования реальным

движениям. На современном этапе развития вычислительных алгоритмов наиболее часто используется метод интегрирования Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

3) *создание компьютерной программы.* Для вычисления биомеханических характеристик движений с использованием разработанных математических моделей возможно использовать специализированные математические пакеты. 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.

4) *собственно вычислительный эксперимент,* первая фаза которого направлена на проверку 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 необходимо 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:

- совершенствование технического мастерства тяжелоатлетов с использованием традиционного эмпирического метода «проб-ошибок» до настоящего времени является основным методом обучения, что в значительной мере снижает эффективность освоения рациональной спортивной техники;

- современная практика спорта требует использования новых методов исследования техники тяжелоатлетических упражнений базирующихся на достижениях современной спортивной науки;

- использование предлагаемого алгоритма биомеханического анализа позволит оперативно контролировать ошибки в технике соревновательных упражнений, а внедрение синтеза методами математического моделирования приблизит к обоснованию индивидуальной рациональной техники тяжелоатлетических упражнений.

1. Воронович, Ю.В. Методика организации промера тяжелоатлетических упражнений по материалам видеосъемки / Ю.В. Воронович, Д.А. Лавшук // Ученые записки : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т физ. Культуры ; редкол. : М.Е. Кобринский (гл. ред.) [и др.]. – 2011. – Вып. 14. – С. 142–151.

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.

3. Сучилин, Н.Г. Оптикоэлектронные методы измерения движений человека / Н.Г. Сучилин, Н.Г. Соловьев, Г.И. Попов. – М. : ФОН, 2000. – 126 с.

4. Фураев, А.Н. К вопросу о компьютеризации анализа выполнения спортивных упражнений / А.Н. Фураев // Теория и практика физ. культуры. - 1996, № 11, с. 50–52.

5. Фураев, А.Н. Оперативное регулирование тренировочного процесса тяжелоатлетов с использованием автоматизированной системы контроля биомеханических параметров : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / А.Н. Фураев ; МОГИФК. - Малаховка, 1988. - 23 с.

6. Жеков, И.П. Биомеханика тяжелоатлетических упражнений / И.П. Жеков. – М. : Физкультура и спорт, 1976. – 192 с.