

УДК 796.012

Воронович Ю.В., Лавшук Д.А., Шахдади А.Н.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОТОРНОГО КОМПОНЕНТА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ СПОРТСМЕНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

*В статье описывается технология биомеханического синтеза техники спортивных упражнений с использованием N-звенной неразветвленной математической модели опорно-двигательного аппарата тела человека.*

**Ключевые слова:** математическая модель движений, биомеханический синтез, имитационное моделирование спортивных движений.

**Постановка проблемы. Анализ основных исследований и публикаций.** На современном этапе развития спортивной науки становится очевидным, что одним из перспективных путей совершенствования системы управления спортивной деятельностью как спортсменов высокой спортивной квалификации, так и новичков, является внедрение в учебно-тренировочный процесс новых информационных технологий, служащих тренеру инструментом получения информации о спортсмене. Наличие объективной информации о технике спортивных упражнений является одним из факторов, способствующих повышению эффективности учебно-тренировочного процесса.

В биомеханических исследованиях спортивных упражнений преимущественное значение имел метод киносъемки, который постепенно был заменен видеосъемкой. В результате видеосъемки полученные данные траекторных положений звеньев тела спортсмена используются в дальнейшем для получения цифровой информации о кинематических и биодинамических характеристиках техники исследуемых спортивных упражнений [3, 5, 7].

Еще до недавнего времени процедура непосредственной видеорегистрации и последующего биомеханического анализа по данным этой регистрации была отставлена во времени, так как выполнение промера занимало много времени. Современные программно-аппаратные комплексы биомеханической регистрации позволяют возложить операцию выполнения промера – получения координат точек тела спортсмена – на персональный компьютер, что во много раз повышает скорость биомеханического анализа. На сегодняшний день, в случае использования таких комплексов, корректно вести речь об оперативном биомеханическом контроле техники спортивных упражнений. Лидирующие позиции в этом сегменте у таких компаний как "Ariel Dynamics, Inc", "Motion Analysis Corp", "BioVision Technologies, Inc". К сожалению, отечественному потребителю они практически недоступны в силу высокой стоимости. Однако существуют и российские, более доступные аналоги. Наиболее перспективные разработки у компаний UltraMotion и BioSoft.

Однако, как справедливо отмечает ряд авторов [1, 4, 6], использование дорогих видео-анализирующих систем все равно не в состоянии дать ответа на вопросы о параметрах индивидуальной оптимальной техники. Недостаточно констатировать особенности реального выполнения спортивных движений, актуальнейшая задача – разработка техники движений с заранее планируемыми качествами. Единственный эффективный способ – синтез различных вариантов двигательных действий с использованием математических моделей движений спортсмена в вычислительном эксперименте на ЭВМ. И, несмотря на декларативную успешность реализации данного подхода, до сих пор данная проблема разработана достаточно фрагментарно.

**Цель исследования** – теоретическое обоснование и практическая реализация технологии совершенствования техники спортивных упражнений с использованием персонального компьютера. Мы стремились объединить преимущества обоих подходов – биомеханического анализа и биомеханического синтеза. Нами была разработан комплекс компьютерных программ, позволяющих как анализировать различные варианты реальных двигательных действий спортсменов, зарегистрированных с помощью бытовой цифровой видеокамеры, так и синтезировать в вычислительном эксперименте на ЭВМ спортивные движения с заданными свойствами.

**Результаты исследования.** Технология использования персонального компьютера в биомеханическом анализе разработана достаточно подробно и на сегодняшний день представлена многими программно-аппаратными комплексами. Однако их использование – дорогостоящая процедура. Впрочем, оперативностью проведения биомеханического анализа можно иногда и пожертвовать. Тогда появляется возможность использования недорогих устройств для его организации. Нами разработана компьютерная программа биомеханического анализа техники спортивных упражнений на основе видеорегистрации движений с помощью бытовой цифровой видеокамеры и персонального компьютера.

Однако, как мы уже отмечали, недостаточно ограничиваться изучением уже реально исполняемых движений. Спортивная практика требует от науки обоснования возможности построения движений с наперед заданными свойствами. Для данных целей нами разработана компьютерная программа синтеза двигательных действий на ЭВМ.

Технологию использования математических моделей движений спортсменов с целью совершенствования техникой действий спортсменов можно представить следующей методологической цепочкой:

1) построение математической модели. Имитационное моделирование является наиболее эффективным, а зачастую и единственным методом исследования 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 это или пространственная модель. На текущем этапе наших исследований нам представляется проблематичным создание универсальной математической модели синтеза произвольных пространственных движений спортсмена, которая могла бы описать весь класс спортивных движений. Однако модели, позволяющие описать определенные подклассы движений, уже разработаны. В частности, рассмотрим математическую модель движения  $N$ -звенной неразветвленной биомеханической системы [2]:

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

Здесь  $N$  – количество звеньев моделируемой системы,  $\varphi$  – 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. Несмотря на ограничения предложенной модели, с ее помощью можно описать довольно обширный подкласс спортивных движений. Так, в спортивной гимнастике для анализа оборотовых движений на перекладине можно ограничиться трехзвенной моделью, где первое звено – руки, второе туловище, а третье – ноги (рис. 1А). В тяжелой атлетике число звеньев модели возрастает, как минимум, до шести сегментов, ибо необходимо предусмотреть подвижность в большем числе суставов (рис. 1В). Индексная запись уравнений модели позволяет формализовать процесс вывода уравнений для произвольной биомеханической системы из  $N$  звеньев. Вследствие этого появляется возможность автоматизированного построения уравнений модели для произвольной биосистемы.

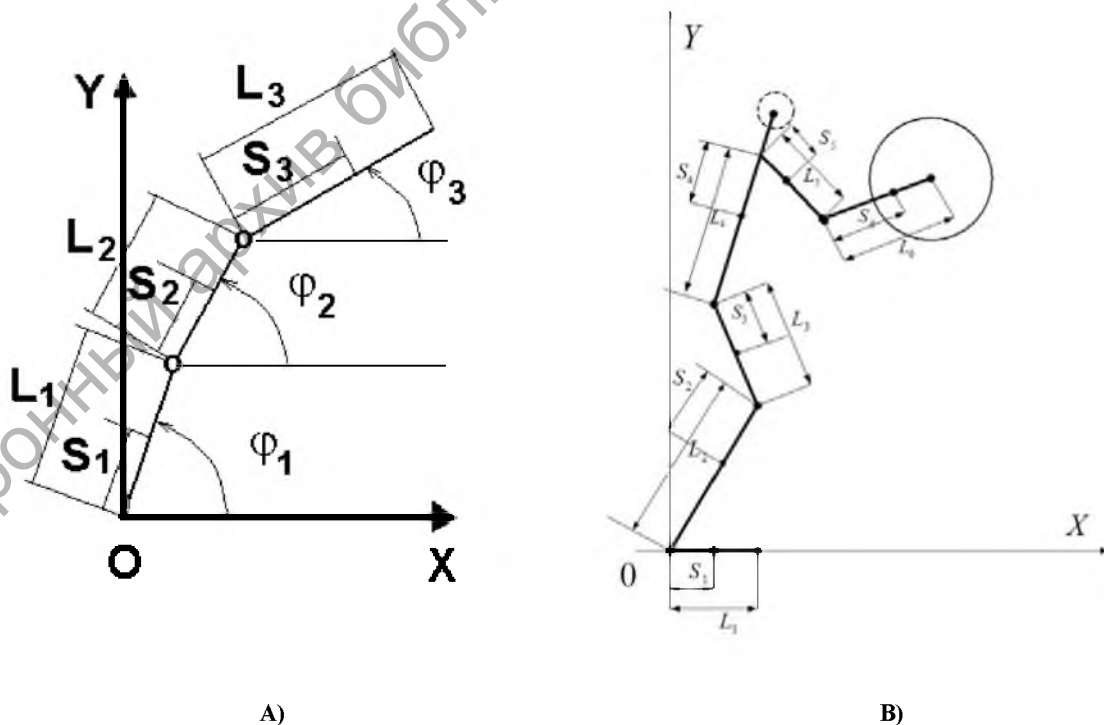


Рис. 1. Кинематическая схема трехзвенной (А) и шестизвенной (В) модели опорно-двигательного аппарата тела человека

В зависимости от способа задания управляющих функций и моделирующего их 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

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

$$\dot{\varphi}_i = \dot{\varphi}_1 + \sum_{z=1}^{i-1} \dot{u}_z,$$

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:

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

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

2) 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, 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. 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.

4) собственно вычислительный эксперимент на ЭВМ. Причем можно выделить две фазы вычислительных экспериментов. Первая фаза, которую можно назвать предварительным вычислительным экспериментом, направлена на решение еще одной важной задачи при использовании математических моделей – 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.

Кроме того, формализация движений спортсмена посредством математической модели позволяет использовать методы теории оптимизации для поиска оптимального управления. В зависимости от способа задания управляющих функций – кинематического либо динамического – возможно применение оптимизационных процедур как через поиск оптимальных моментов мышечных сил спортсмена, так и в пространстве кинематического управления – например, по суставным углам спортсмена.

**Выводы.** Вычислительные эксперименты показали перспективность использования интегрального подхода в использовании персонального компьютера для исследования техники спортивных упражнений – объединение возможностей видеоанализа с последующим синтезом технических действий спортсмена на ЭВМ. Вместе с тем, остаются пока нерешенными следующие задачи, которые являются предметом нашего дальнейшего научного поиска:

– создание универсальных математических моделей движений спортсмена, которые возможно сравнительно легко алгоритмизировать. В этом случае будет возможным математическое описание любых спортивных движений, а не только определенного подкласса.

– создание универсальных алгоритмов оптимизации движений биомеханических систем, не зависящих от способов задания программного управления. В этом случае исследователь сможет сам выбирать, какой оптимизационный алгоритм выбрать для поиска рациональной техники соревновательного упражнения.

Однако реальное использование математических моделей движений спортсменов в практике учебно-тренировочной работы сдерживается тем, что тренерский состав не обладает достаточными знаниями в области имитационного моделирования. Вследствие этого актуален вопрос о создании таких компьютерных программ, с помощью которых возможно проведение вычислительных экспериментов по моделированию двигательных действий спортсменов даже специалистами, которые не обладают в достаточной степени знаниями по синтезу двигательных действий на ЭВМ.

### Использованные источники

1. Воронович, Ю.В. Методика организации промера тяжелоатлетических упражнений по материалам видеосъемки / Ю.В. Воронович, Д.А. Лавщук // 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. Загrevский, В.И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В.И. Загrevский. – Томск: Томск. гос. пед. ун-т, 1999. – 156 с.
3. Носко, М.О. Біометрія рухових дій людини. Монографія / М.О. Носко, О.А. Архипов. – К.: Видавничий Дім "Слово", 2011. – 216 с.
4. Попов, Г.И. Биомеханика: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Г.И. Попов. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 256 с.
5. Сучилин, Н.Г. Оптикоэлектронные методы измерения движений человека / Н.Г. Сучилин, Н.Г. Соловьев, Г.И. Попов. – М.: ФОН, 2000. – 126 с.
6. Сучилин, Н.Г. Педагогико-биомеханический анализ техники спортивных движений на основе программно-аппаратного видеокомплекса / Н.Г. Сучилин, Л.Я. Аркаев, В.С. Савельев // Теория и практика физической культуры, 1996. – № 4 – С. 12-20.
7. Фураев, А.Н. Оперативное регулирование тренировочного процесса тяжелоатлетов с использованием автоматизированной системы контроля биомеханических параметров: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Малаховка, 1988. – 23.

Voronovich U.V., Laushuk D.A., Shaldadi A.N.

### IMPROVING OF MOTOR COMPONENT OF SPORT EXERCISES USING COMPUTER

*In the article the technology of biomechanical synthesis of sport exercises techniques, based on the using N-linked unbranched mathematical model of the musculoskeletal system of the human body, is described.*

**Key words:** *mathematical model of movements, biomechanical synthesis, sport movements simulation.*

Стаття надійшла до редакції 20.09.2012