

# КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНИКИ СПОРТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ОБРАЗА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ОПОРНЫХ ТОЧКАХ ДВИГАТЕЛЬНОЙ МЕТАПРОГРАММЫ

В.И. Загrevский<sup>1</sup>, В.О. Загrevский<sup>2</sup>, О.И. Загrevский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, Республика Беларусь,  
[zvi@tut.by](mailto:zvi@tut.by)

<sup>2</sup>Томский государственный университет, Россия, [O.zagrevsky@yandex.ru](mailto:O.zagrevsky@yandex.ru)

**Введение.** При постановке двигательной задачи в разнообразных спортивных упражнениях можно исходить из того, что *двигательная задача* представляет собой указание тех явлений, которые должны произойти или не произойти в процессе выполнения упражнений и выражены в *программе движения*. Иначе говоря, *программа движения* – указание в содержательной или математической форме качественных или количественных биомеханических характеристик движения в определенные моменты времени или (и) в определенных частях упражнения. К примеру, необходимо выполнить большой оборот назад на перекладине таким образом, чтобы скорость общего центра масс биомеханической системы была максимальной в вертикальном положении над опорой, а руки, туловище, ноги располагались в это время на одной прямой. Дополнительным ограничением является необходимость того, чтобы амплитуда сгибательно–разгибательных движений спортсмена в суставах в любой части упражнения не превышала  $45^{\circ}$ . Для решения этой двигательной задачи система должна обладать определенными биомеханическими свойствами, проявляющимися как на всей траектории движения, так и в конечном положении. В этом случае, *указание требуемых значений биомеханических характеристик двигательных действий, определенных для конечного момента времени, или для конечного положения (возможно и на всей траектории биосистемы), и характеризующих качество выполнения движения – представляет собой цель движения* [1].

Перевод биосистемы из одного биомеханического состояния в другое осуществляется с помощью управляющих функций, которые будем считать программными, или при синтезе движений человека на ПЭВМ – *программным управлением*. Таким образом, *программа движения* включает в себя как минимум два компонента:

- *цель движения;*
- *программное управление.*

Заданная цель движения реализуется с помощью управляющих сил (внешних и внутренних). Анализ уравнений целенаправленных движений принятой нами биомеханической модели двигательных действий спортсмена в условиях опоры показывает, что внешние силы выступают в качестве моментов силы тяжести отдельных звеньев модели, а их равнодействующая – момент силы тяжести общего центра масс биомеханической системы. Следовательно, величина проявления действия внешних сил является функцией:

- *положения звеньев биосистемы в декартовой системе координат;*

– *конфигурации биомеханической системы.*

Так как величина моментов силы тяжести звеньев тела спортсмена является производной от траекторного положения звеньев биомеханической системы, то целенаправленно управлять величиной действия силы тяжести мы можем исключительно за счет изменения конфигурации биосистемы.

Анализ других структурных компонентов уравнений целенаправленных движений человека показывает, что в их левую часть, в качестве неизвестных функций времени и управляющих моментов мышечных сил в суставах, входят обобщенные координаты, обобщенные скорости, обобщенные ускорения звеньев биомеханической системы, а в правую часть – управляющие моменты мышечных сил. Эти функции описывают все возможные свойства системы.

Так как, обобщенные координаты, обобщенные скорости, обобщенные ускорения звеньев модели – кинематические характеристики биомеханической системы, то логично считать, что *управляющие функции, заданные в форме кинематических характеристик, представляют собой кинематический уровень построения программного управления.*

Аналогичным образом, *управляющие функции, заданные на всей траектории биомеханической системы в форме управляющих моментов мышечных сил в суставах спортсмена, примем за динамический уровень построения программного управления.*

Третий уровень построения программного управления – *смешанный*, сочетающий в себе кинематический и динамический уровни.

Следовательно, программные законы движений человека, определяющие биомеханические свойства биосистемы в целенаправленных движениях и задаваемые в аналитической форме на всей её траектории, можно представить в виде уравнений:

1. Связывающих между собой обобщенные координаты, а следовательно и их производные по времени (кинематический уровень).
2. Определяющих величины управляющих моментов мышечных сил в суставах человека (динамический уровень).
3. Объединяющих кинематический и динамический уровни построения программного управления (смешанный уровень).

Управляющие силы, необходимые для реализации цели движения, являются в этом случае *программными силами*. Как уже указывалось, управляющие силы могут быть как внешними, так и внутренними. В частности, к внутренним программным силам правомерно отнести управляющие моменты мышечных сил в суставах спортсмена.

**Методы исследования.** Математическую форму представления программного управления на динамическом уровне получим, при условии задания управляющих моментов мышечных сил на всей траектории моделируемой биосистемы:

- в табличной форме (в виде числовой последовательности);
- в аналитическом виде (формульные зависимости);
- в графическом представлении.

Здесь следует отметить тот факт, что количество уравнений, формализующих программу движения, должно соответствовать количеству уравнений целенаправленного движения, иначе – программа движения будет неполной.

Программное управление движением, реализуемое на кинематическом уровне, должно ограничивать изменения обобщенных координат и их производных по времени в соответствии с целью движения и решать поставленную двигательную задачу. Так как с помощью уравнений программного управления формируется кинематика целенаправленного движения, то уравнения цели движения, заданные на кинематическом уровне, также определяют и программу движения.

*Движение, осуществляемые в соответствии с программой движения, заданной на кинематическом, динамическом или смешанном уровнях, является программным движением или целенаправленным.* По существу, все выполняемые спортивные упражнения отличаются друг от друга лишь программой движения. Это замечание относится также к трудовым и бытовым движениям.

Любое изменение в программе движения вызывает соответствующее изменение в траектории движения биосистемы. Таким образом, компонентный состав программы движения можно представить в виде двух крупных структур: цели движения и программного управления. Рассматривая в данном аспекте процесс программирования движений человека, можно отметить, что процесс программирования движения биомеханической системы представляет собой процедуру постановки цели движения в ее содержательно-смысловой и математической части, а также определение и

задание такой пространственно–временной структуры программного управления, которая бы обеспечивала достижение цели движения.

Создание у исполнителя зрительного образа программного управления в форме последовательности кинетограмм упражнения на всей траектории биомеханической системы представляется трудной задачей, что связано непосредственно с их количественным составом. Например, последовательность траекторных положений звеньев тела гимнаста в упражнении «Перелет Ткачев» на перекладине достигает 36–40 видеокадров при частоте видеосъемки упражнения 25 кадров в секунду. Это *объективные компоненты представлений* о кинематической программе управления и техническом решении движения. Информацию о кинематической структуре упражнения спортсмен сохраняет в двигательной метапрограмме, в виде *субъективных компонентов представлений* [2]. Естественно, что хранить такой объем информации в двигательной метапрограмме гимнаст не в состоянии. Однако практика спорта опровергает данный тезис о невозможности создания зрительного образа спортсмена в двигательной метапрограмме, так как упражнение все же осваивается многими спортсменами. Что же происходит на самом деле?

**Результаты исследования и их обсуждение.** Посылкой решения поднятой проблемы могут явиться следующие концепции и положения:

1. В теории деятельности [3] образ действия и образ среды, в которой происходит действие, объединяются в единый элемент, на основе которого и происходит управление действием, названным «ориентировочной основой действия (ООД)». Рекомендуется в ООД выделять три компонента: ориентировочный, исполнительный, контрольно–корректировочный.

2. Ориентировочная основа действия в концепции деятельностного подхода к обучению гимнастическим упражнениям [4] связана с выделением тех условий, которые предreshают успех и использование которых необходимо и достаточно для усвоения материала. Этими условиями являются, прежде всего, наличие точно выделенных ориентиров, на которые «опирается» внимание исполнителя, строящего двигательное действие (ДД). Такие ориентиры, в рамках рассматриваемой концепции, получили название «основных опорных точек» (ООТ), а их совокупность – результат формирования ООД.

3. Для сжатия информации о биомеханике ООТ и их количественном составе целесообразно использовать пофазный фильтр расчленения упражнения. Кроме фаз упражнения, выделяемых по признаку чередования активных действий спортсмена (по программе «позы»), нередко выделяются и фазы, связанные с периодичностью и характером действия на тело спортсмена определенных внешних сил или физических эффектов [5]. Таковы фазы спада и подъема в маховых движениях и др. Наилучшие результаты в обучении дает расчленение, при котором в обучающее упражнение включается не менее трех фаз целевого упражнения [5].

4. Граничные моменты перехода из одной фазы в другую можно рассматривать как граничные позы, характеризующие согласование движений [6]. В этом случае, в процедуре организации компьютерного моделирования техники спортивных упражнений наиболее информативными критериями для определения фазового состава спортивных упражнений могут быть экстремумы управляющих функций (программное управление) и исходная и конечная рабочие позы в изучаемых упражнениях [7].

Таким образом, можно предположить, что развернутая информация о взаимном положении звеньев тела спортсмена, их ориентации и изменении в процессе выполнения упражнения, аккумулируются в содержательно–смысловом контексте описания техники упражнения, а в качестве элементов ООТ служат граничные позы спортсмена, в местах разделения упражнения на двигательные фазовые структуры. В качестве подобных элементов ООТ в двигательной метапрограмме визуального образа программы места, ориентации и позы спортсмена целесообразно использовать:

1. Исходное и конечное рабочие положения спортсмена в исполняемом упражнении.
2. Граничные позы спортсмена, в местах разделения упражнения на двигательные фазовые структуры по признаку чередования активных действий спортсмена (экстремумы программного управления).
3. Граничные позы спортсмена, в местах разделения упражнения на двигательные фазовые структуры по признаку периодичности и характера действия на тело спортсмена определенных внешних сил или физических эффектов.

Исключительно плодотворным, на наш взгляд, данный подход представления ООД просматривается в реализации идеи контрольно–корректировочного компонента ООД на основе сличения субъективных компонентов двигательной программы управления движением с ее объективными

составляющими. В этом случае субъективные компоненты двигательной программы управления движением следуют из сформированного исполнителем визуального образа позы спортсмена, ориентации его звеньев и программы места, что также обеспечивает возможность количественного определения программного управления в соответствии с ООТ. Объективная составляющая двигательного представления о кинематической и динамической структуре изучаемого упражнения будет базироваться на результатах имитационного моделирования движений человека на ЭВМ, где в качестве программного управления сформированного на всей траектории биомеханической системы будут использованы данные субъективного представления о программном управлении. Компьютерный синтез траектории биомеханической системы позволит в дальнейшем сравнить выходные параметры биомеханических характеристик с должными нормативными требованиями, сопряженными с целевым аспектом решаемой двигательной задачи.

**Выводы.** Технология компьютерного синтеза движений спортсмена по сформированному визуальному образу в ООТ в сокращенном виде имеет следующую структуру операций:

1. Определить обобщенные координаты биомеханической системы для каждой ООТ.
2. В соответствии с обобщенными координатами биомеханической системы для каждой из ООТ вычислить массив программного управления на кинематическом уровне, следуя структурной зависимости определения управляющей функции в виде разницы смежных обобщенных координат.
3. Задать для начального момента времени численные значения биомеханического состояния моделируемой системы по обобщенным координатам звеньев модели и обобщенным скоростям.
4. Смоделировать перевод биомеханической системы из заданного положения в первую точку ООТ с неизменной позой. В этой процедуре ищется время перевода объекта из заданного начального положения с заданными начальными скоростями звеньев тела в конечное положение, определяемое координатами общего центра масс (ОЦМ) биосистемы. Последний шаг интегрирования модели изменяется до тех пор, пока не будет достигнута желаемая (заранее заданная пользователем) точность прихода биосистемы по координатам ОЦМ.
5. Определенное в процедуре 4 время перехода модели с неизменной позой из начального биомеханического состояния в первую точку ООТ принимается за первоначальное время, в течение которого происходит изменение программного управления, что позволяет по специально разработанному алгоритму определить траекторию программного управления с его первыми и вторыми производными в точках дискретизации модели (в соответствии с принятым шагом интегрирования системы дифференциальных уравнений – математическая модель целенаправленного движения биомеханической системы) и соответственно в первой ООТ.
6. Сформированное в процедуре 5 программное управление принимается за исходное и снова моделируется (процедура 4) перевод биосистемы из заданного начального положения в конечное положение, соответствующее кинематическому представлению исполнителя об изучаемом движении в первой ООТ.
7. Итерационный процесс (процедуры 4–6) повторяются до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность перевода биосистемы в заданное конечное положение по координатам ОЦМ и программному управлению.
8. Если пункт 7 моделирования успешно завершён, то вычисленные для первой ООТ обобщенные координаты и обобщенные скорости биосистемы принимаются за исходный массив программного управления и продолжить компьютерный синтез следующей фазы спортивного упражнения.
9. Повторять операцию 9 до тех пор, пока не будут смоделированы все фазы изучаемого движения.

#### Литература:

1. Загrevский, В.И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ: монография / В.И. Загrevский, Д.А. Лавшук, О.И. Загrevский. – Могилев: МГУ им. А.А.Кулешова, 2000. – 190 с.
2. Коренберг, В.Б. Основы спортивной кинезиологии [Текст]: учебное пособие / В.Б.Коренберг. – М.: Советский спорт, 2005. – 232 с.
3. Гальперин, П.Я. Формирование умственных действий / П.Я. Гальперин. [http://www.i-u.ru/biblio/archive/galperin\\_for](http://www.i-u.ru/biblio/archive/galperin_for) – 1980. – 13 с.
4. Гавердовский, Ю.К. Как найти «петушиное словцо»? / Ю.К. Гавердовский, М.М. Боген // Гимнастика: сб. статей. Вып. 1–й / Сост. В.М. Смолевский. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – С. 32–40.

5. Гавердовский, Ю.К. Методы обучения гимнастическим упражнениям в свете понятий адаптивности / Ю.К. Гавердовский, Ф.П. Мамедов // Гимнастика: сб. статей. Вып. 1–й / Сост. В.М. Смолевский. – М.: Физкультура и спорт, 1984. – С. 26–34.

6. Хальянд, Р. Оптимальные модели техники стартов и поворотов спортивного плавания / Р. Хальянд, Т. Тамп, Т. Соосар. – Таллин, Таллиннский педагогический им. Э. Вильде, 1988. – 221 с.

7. Загревский, В.И. Планирование траектории управляющих движений спортсмена в координатах внешнего пространства / В.И. Загревский, В.О. Загревский // Теория и практика физической культуры. – 2010. – № 10, с. 56–61.