

В.И. Загrevский

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Могилевский государственный педагогический университет

Возросший уровень спортивных достижений на международной арене обусловил повышенный интерес специалистов к вопросам биомеханических закономерностей построения двигательных действий и предъявил повышенные требования к разработке новых технологий в технической подготовке спортсменов. Особенно пристальное внимание тренеров и спортсменов к биомеханике физических упражнений отмечается в тех видах спорта, в которых техника упражнений является предметом соревновательной оценки. Знание биомеханических особенностей изучаемых спортивных упражнений позволяет наметить эффективные пути совершенствования структуры двигательных действий, а в конечном итоге – средств и методов обучения различным формам сложнокоординированных действий.

Существующие методы изучения техники спортивных упражнений весьма часто не в состоянии ответить на многие вопросы практики спорта, и здесь требуются не просто совершенствование технологии использования общепринятых методов, а разработка новых направлений научного поиска.

Один из основных аспектов проблемы исследования техники спортивных упражнений связан с обработкой больших информационных потоков кинематики и биодинамики движений. Массив биомеханических характеристик, используемый для количественного анализа техники исследуемых упражнений, включает в себя несколько десятков показателей движения, вычисляемых неоднократно на всей траектории биомеханической системы, и может быть получен в приемлемое для исследователя время лишь с помощью средств компьютерной техники.

Объективно, широкое использование с этой целью ЭВМ сдерживается рядом факторов, одним из которых является необходимость обработки исходной информации по специально разработанной машинной программе, которую предварительно необходимо составить и отладить. Трудность составления машинной программы, реализующей задачу получения количественных данных о кинематической и динамической структуре спортивных упражнений, определяется функциональными возможностями ЭВМ и построением искомым уравнений в форме, независимой от количества степеней свободы биомеханической системы. Трудоемкостью подготовки программного обеспечения, адекватно и наиболее полно отражающего предметную область изучаемого явления, по-видимому, и объясняется тот факт, что в существующей учебной и специальной научной лите-

ратуре по биомеханике физических упражнений не нашли достаточного отражения экспериментальные данные биомеханического анализа техники спортивных упражнений с использованием ЭВМ. Круг подобных работ недостаточно широк, технологические аспекты обработки данных на современных ЭВМ практически не раскрываются, а лишь только декларируются.

В то же время технические и функциональные возможности современных ЭВМ позволяют их эксплуатацию не только в научно-исследовательских целях, но и, по-видимому, в учебно-тренировочном процессе в качестве эффективного помощника в технической подготовке спортсменов. Посылками к этому являются:

1. Появление персональных ЭВМ (ПЭВМ).
2. Реализация интерактивного взаимодействия пользователя с программной системой (в режиме диалога).
3. Графическая, цифровая и текстовая поддержка результатов выполнения программы.
4. Использование ПЭВМ не только в режиме расчетных и логических операций, но и в качестве накопителя информации.

Развитие расчетных методов биомеханики физических упражнений позволит в определенной мере снять остроту вопроса и по второму аспекту проблемы, когда уравнения кинематики и динамики движений строятся для биомеханических систем с произвольным числом степеней свободы с помощью ЭВМ. В этом случае необходимо создание универсальной программной системы (компьютерной программы), не требующей изменений в связи с увеличением или уменьшением количества звеньев биомеханической системы.

В настоящее время можно выделить два основных направления, по которым осуществляется исследование техники спортивных упражнений. К первому относится достаточно широко распространенный метод анализа кинематической и динамической структуры двигательных действий, ко второму – синтез движений человека в имитационном моделировании на ЭВМ.

В первом направлении исходную информацию о биомеханических характеристиках движений получают на основе инструментальных и оптических методов регистрации двигательных действий. Круг используемых с этой целью методов исследования довольно разнообразен и постоянно совершенствуется. Полученные в результате проведения фотоцикло-

съемки, киносъемки, видеосъемки материалы траекторных положений звеньев тела спортсмена используются в качестве исходных данных для получения цифровой информации о кинематических и биодинамических характеристиках техники исследуемых спортивных упражнений.

Таким образом, до последнего времени исследования, проводимые в области биомеханики двигательных действий, имели характер биомеханического анализа, то есть сводились к изучению уже известных форм движений на основе данных оптической регистрации движений. Кино-фотоматериалы двигательных действий подвергались тщательному биомеханическому исследованию, на основе чего делался вывод об эффективности тех или иных вариантов техники упражнений. Подобный подход к решению проблемы можно представить в виде следующей методологической цепочки: *освоенное двигательное действие – биомеханический анализ – выводы и рекомендации по совершенствованию техники упражнений и методики обучения им*. В настоящее время в связи с появлением современных быстродействующих ПЭВМ возникла возможность выполнения расчетных операций по определению биомеханических характеристик упражнений в режиме реального времени. Однако на этом пути еще имеются определенные трудности, сводящиеся в основном к следующим:

1. Необходимо разработать методологию составления расчетных моделей анализа движений биомеханических систем с их численным решением на ЭВМ. Необходимость пристального внимания именно к этой проблеме продиктована тем обстоятельством, что на этапе биомеханического анализа используются данные о кинематической и динамической структуре исследуемых упражнений. Существующие методы расчета биомеханических характеристик [1, 2, 3] не позволяют автоматизировать процесс вывода необходимых уравнений для многозвенных биомеханических систем на ЭВМ. С этой целью нами рассматривается способ построения искомых уравнений через обобщенные координаты объекта с последующим их программированием на ЭВМ.

2. Необходимо разработать и подготовить компьютерные программы, реализующие функционирование расчетных моделей анализа движений на ЭВМ.

3. Компьютерные программы должны сопровождаться необходимыми пояснениями и инструкциями по их использованию.

Несомненно, что практическая реализация автоматизированного построения расчетных моделей анализа движения биомеханических систем явится значительным шагом вперед в исследовании вопросов моторного компонента двигательной деятельности занимающихся физической культурой и спортом. Однако здесь уместно все же отметить определенную ограниченность данного подхода, которая заключа-

ется прежде всего уже в том аспекте вопроса, какое место занимает научное исследование в методологической цепочке взаимосвязи науки и практики: *первоначально на практике осваивается какое-либо движение, а лишь затем оно подвергается биомеханическому анализу*. В настоящее время запросы практики спортивной деятельности требуют принципиально иного подхода в области теории построения движений: *недостаточно ограничиваться анализом уже известных форм движений, а необходимо разрабатывать технику упражнений с наперед заданными качествами и свойствами*. Методологическая цепочка взаимосвязи науки и практики выглядит в этом случае следующим образом: *биомеханический синтез исследуемого движения – биомеханический анализ – выводы и практические рекомендации – освоение движения*. То есть коренным образом меняется место и роль научного исследования в процессе обучения. Вместо *констатирующего* фактора оно носит *прогнозирующий* характер с активным участием непосредственно в учебно-педагогическом и тренировочном процессах.

Перспективность второго направления исследования техники спортивных упражнений связана с возможностью конструирования двигательных действий с наперед заданными свойствами [4, 5, 6].

В рамках физического воспитания вопросы моделирования встают на повестку дня как вопросы методологического аспекта моделирования как метода научного познания. Метод математического моделирования движений человека на ЭВМ является практически единственным инструментом исследований, позволяющим синтезировать движения человека с наперед заданными свойствами. Однако реализация на практике этого весьма перспективного направления научного поиска сдерживалась до последнего времени рядом факторов, к числу которых необходимо отнести прежде всего высочайшую сложность используемого механико-математического аппарата и недостаточную методологическую разработанность проблемы построения моделей синтеза движений биомеханических систем. С появлением современных ЭВМ и последними достижениями в области биомеханики, механики управляемого тела, оптимального управления и программирования возникла возможность практической реализации некоторых компонентов моделирования технических действий спортсмена на ЭВМ.

Сущность метода имитационного моделирования движений человека на ЭВМ заключается в том, что движение N-звенной биомеханической системы описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка, к примеру, построенных в форме уравнений Лагранжа второго рода. Затем по заданным начальным условиям движения биосистемы и управляющим воздействиям, определенным как функции времени, любым из численных методов интегриро-

вания вычисляется траектория движения системы, ее эволюция по времени. Изменяя начальные условия движения и задаваемое пользователем программное управление, имитируются различные варианты движений. Это позволяет не только строить технику упражнений с наперед заданными свойствами, но и рассматривать возможность выполнения новых, ранее не исполнявшихся элементов (что очень важно в таких видах спорта, как гимнастика, акробатика, прыжки в воду и др.), а также биомеханически обосновать наиболее рациональную технику их выполнения. При этом ЭВМ с программами, дисплеем помогает тренеру выбрать наиболее рациональные формы движений.

Вопросы методологии синтеза спортивных упражнений с наперед заданными качествами требуют глубокой и тщательной разработки и в настоящее время еще ждут своего решения. Однако уже сейчас можно сказать, что имитационное моделирование движений человека на ЭВМ позволяет не только синтезировать технику спортивных упражнений, но и в ряде случаев выполнить задачу ее оптимального построения [4]. Прогностическая направленность имитационного моделирования на ЭВМ позволяет не только выявить биомеханические закономерности построения движений, но и синтезировать такие формы двигательных действий, которые в реальных условиях еще не встречались.

Актуальность решения задач 2-го класса заключается в возможности конструирования различных вариантов техники двигательных действий с произвольными ограничениями на кинематические и динамические ресурсы исполнителя, что практически невозможно реализовать в натурном эксперименте. В данном случае модели синтеза движений биомеханических систем выступают по существу единственным инструментом исследования сложных систем, а возможность их функционирования связана с идеей имитационного моделирования движений человека на ЭВМ.

На основании анализа рассматриваемой проблемы можно выделить следующие основные этапы в технологии проведения имитационного моделирования на ЭВМ:

- составление и запись уравнений естественного движения тела человека;
- программирование цели движения в логически-смысловой форме и ее формализация;
- составление и запись уравнений целенаправленных движений человека;
- определение способа решения исходной системы уравнений;
- вычислительные эксперименты на ЭВМ.

Таким образом, в настоящее время в биомеханике физических упражнений преобладают два основных направления моделирования техники спортивных упражнений:

1. Определение кинематических и динамических характеристик упражнений по известной траектории звеньев тела на основе расчетных моделей анализа движений биомеханических систем. *Основная рабочая функция расчетных моделей анализа движений – получение количественной информации о кинематической и динамической структуре упражнений с целью последующего анализа их техники.*

2. Построение траектории движения биомеханической системы на основе математических моделей синтеза движений – *основная рабочая функция моделей синтеза движений.* Управление движением, заданное пользователем в той или иной форме на всей траектории биомеханической системы, выступает в этом случае системообразующим элементом заданных свойств целенаправленных движений. Варьируя управление и заданные начальные условия движения, получают различные модификации траектории системы.

В связи с выделением двух направлений научно-го поиска рациональной структуры спортивных упражнений следует отметить, что процесс исследования техники двигательных действий с использованием математических моделей синтеза движений органически включает в себя и этап использования расчетных моделей анализа движений. Это является следствием того, что синтезированные в процессе имитационного моделирования движений человека на ЭВМ разнообразные формы двигательных действий подвергаются в дальнейшем биомеханическому анализу с целью выяснения биомеханических закономерностей сконструированных форм движений. Кроме того, при решении задач оптимального управления движением биомеханических систем возникает необходимость введения в условия задачи в качестве целевой функции минимизируемого функционала, чаще всего представленного в форме расчетной модели анализа движений, формализующей цель движения в вычислительном эксперименте на ЭВМ.

Анализ структуры используемых уравнений, функциональных свойства ЭВМ и методов программирования на ЭВМ позволил наметить нетрадиционный путь решения проблемы и выдвинуть *рабочую гипотезу о возможности освобождения человека от рутинной работы по выводу искомым уравнений для многозвенных биомеханических систем с автоматизацией этой процедуры непосредственно в вычислительном эксперименте на ЭВМ.* При этом должно соблюдаться одно неперемное условие: процесс формирования необходимых уравнений должен выполняться ЭВМ на уровне произвольного количества элементов биомеханической системы, иначе – для любой многозвенной биосистемы.

Следовательно, если обычно ЭВМ используется в основном для выполнения вычислительных операций, то в данном случае она берет на себя и функцию формирования необходимых вычислительных алго-

ритмов. Рабочая гипотеза о возможности построения необходимых уравнений с помощью ЭВМ базировалась на следующей концептуальной основе.

Предполагалось, что любое искомое уравнение для  $i$ -го звена можно свести к рекуррентному соотношению типа

$$F_{i+1} = F_i + K_{i+1}, (1)$$

где

$F_{i+1}$  – уравнение, описывающее биомеханическое состояние  $i+1$ -го звена;

$F_i$  – уравнение, описывающее биомеханическое состояние  $i$ -го звена;

$K_{i+1}$  – свободный параметр, определяемый масс-инерционными характеристиками  $i+1$ -го звена и наложенными кинематическими связями.

В том случае, когда подобная закономерность существует, для решения поставленной задачи достаточно определить в (1) структуру  $F_i$  и  $K_{i+1}$ . Далее, пользуясь соотношением (1) и организовав в программе для ЭВМ циклический процесс вычислений по  $i$  от  $i=1$  до  $i=N$ , можно автоматизировать процедуру вычисления искомых характеристик для произвольного количества звеньев моделируемой биомеханической системы.

Дальнейшие исследования позволили нам реализовать рабочую гипотезу методики вывода уравнений кинематики и динамики движений биомеханических систем опорно-двигательного аппарата тела человека с произвольным числом степеней свободы, совершающих плоскопараллельное движение в условиях опоры. Используемые приемы в составлении уравнений позволяют автоматизировать процедуру вывода расчетных формул кинематики и динамики движений спортсмена с поручением этой процедуры непосредственно ЭВМ, минуя явную, развернутую запись уравнений на бумаге. В данном случае ЭВМ выполняет функцию не только быстродействующего вычислительного инструмента, но и функцию конструктора математических моделей анализа движений биомеханических систем. Программное обеспечение расчетных моделей анализа движений биомеханических систем выполнено на алгоритмическом языке ТУРБО БЕЙСИК, представляет собой самостоятельную разработку автора и апробировано на учебных занятиях по курсу «Биомеханика физических упражнений» на факультете физического воспитания Томского и Могилевского государственного педагогического университетов.

### Литература

1. Донской Л.Д. Биомеханика физических упражнений. Учеб. пособие для студентов физкультурных учебных заведений. – М.: Физкультура и спорт, 1958. – 278 с.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. Учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1975. – 238 с.
3. Донской Д.Д. Биомеханика. Уч.-ник для ин-тов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
4. Загревский В.И. Программирование обучающей деятельности спортсменов на основе имитационного моделирования движений человека на ЭВМ: Автореф. дисс... докт. пед. наук. – М., 1994. – 47 с.
5. Зинковский А.В. О методике оценки мышечных усилий при биомеханическом анализе спортивной техники // Теория и практика физ. культуры. – 1973. – № 9. – С. 66–69.
6. Назаров В. Т., Кузенко Б.П. К механике взаимодействия спортсмена с опорой // Теория и практика физ. культуры. – 1974. – № 1. – С. 19–21.

УДК 796.323

*О.И.Загревский<sup>+</sup>, В.О.Загревский<sup>+</sup>, И.Ю.Степанова<sup>\*\*</sup>*

### МОДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОРТСМЕНОВ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

<sup>+</sup> ИФК Томского государственного педагогического университета, <sup>\*\*</sup> Московский педагогический университет

Спортивную тренировку в любом виде спорта, равно как и физическое воспитание, можно рассматривать как процесс управления. При анализе этого вопроса ограничимся собственно физическим воспитанием (в узком смысле), не затрагивая проблем умственного, нравственного и эстетического воспитания.

На современном этапе исследования сложных систем (а спортивная тренировка является сложной системой) и присущих им процессов управления

наиболее общее понятие управления выработано кибернетикой. Она раскрыла общие черты и закономерности, присущие всем управленческим процессам, в частности и процессу обучения. Кратко рассмотрим эти общие черты и закономерности управления.

Как видно из рисунка 1, система управления (кибернетическая система) может рассматриваться как совокупность двух систем – объекта управления и управляющей системы.