

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИКИ ГИМНАСТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ПОЛОЖЕНИЙ И УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ

*В статье показано, что изменение кинематических параметров рабочих положений может не влиять на конечный результат пространственной ориентации биомеханической системы, если для перевода биосистемы в необходимое конечное положение подвергнуть вариациям пространственно-временной компонент управляющих движений.*

**Ключевые слова:** биомеханическая система, управляющие движения, вариация, рабочее положение, параметры.

**Постановка проблемы.** Общепринято, что структура процесса обучения спортивным упражнениям основана на триаде ее этапов: формирование предварительного двигательного представления об изучаемом упражнении, углубленное разучивание упражнения на уровне умения его воспроизведения, совершенствование упражнения [1].

Этап совершенствования технического мастерства спортсменов на практике осуществляется в основном эмпирическим способом и по существу представляет собой "метод проб и ошибок". Проблема заключается в том, что исключительно в редких случаях можно предложить конкретному спортсмену такую индивидуальную технику упражнения, которая бы существенно улучшила результаты его спортивных достижений. Педагогические трудности построения эффективного учебно-тренировочного процесса здесь вызваны, прежде всего, сложностью биомеханического прогнозирования прогностических изменений техники изучаемого упражнения в результате кодификационных перестроек его кинематической или динамической структуры.

Биомеханические результаты вариативного воздействия на технику спортивных упражнений в натурном эксперименте получить практически невозможно, так как в практике спортивной деятельности нельзя реализовать движения с требуемыми кинематическими параметрами вариаций управляющих движений и рабочих положений. Для решения данной проблемы остается единственный путь – имитационное моделирование движений человека на ЭВМ, методологические основы которого разработаны недостаточно глубоко и полно [2].

**Связь с важными научными или практическими заданиями.** Исследование проводилось в соответствии с программой научно-исследовательской работы УО "Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова" по теме: "3.5.01 – Разработка методологии адресной тренировочной нагрузки на основе биомеханического анализа координационных, скоростных и силовых действий спортсменов и концепции интеллектуального тренажерно-развивающего оборудования и технологий", выполняемой по заданию государственной программы научных исследований Республики Беларусь – ГПНИ "Конвергенция" в период 01.01.2011 – 31.12.2013 гг.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Первый из этапов обучения спортивным упражнениям характеризуется ненадежным воспроизведением двигательного действия обучаемым; большим разбросом пространственных и временных параметров, как самого упражнения, так и его отдельных фаз; невозможностью относительно точного повторения упражнения с заданными параметрами биомеханических характеристик.

Для второго этапа определяющим является стабилизация кинематической структуры упражнения, формируемая своевременной и адекватной силовой подпиткой управляющих действий в отдельных фазах упражнения. Высокая стабильность динамики управляющих действий спортсмена обеспечивает надежность сформированного двигательного навыка и его высокопродуктивное воспроизведение без значительных сбоев и грубых ошибок.

На третьем этапе обучения целевому упражнению достигается совершенствование двигательного навыка до состояния управляемой пластичности, осуществляемое в условиях вариативной тренировки. Вариативная тренировка предполагает тренировочные воздействия по сценарию заранее спланированного изменения параметров биомеханических характеристик упражнения [1]. К вариациям на кинематическом уровне относятся: амплитудные изменения суставных углов и временные изменения продолжительности сгибательно-разгибательных движений спортсмена в суставах, пространственные изменения в исходных и конечных рабочих положениях звеньев тела и позы спортсмена, изменения в величине углового перемещения звеньев тела и их угловой скорости, ускорения и т.д. [2, 3].

Влияние кинематических изменений вносимых в рабочие положения спортсмена и в управляющие движения еще не рассматривалось достаточно глубоко и обширно. В основу вычислительных экспериментов здесь может быть положена схема структурно-параметрического исследования техники моделируемого спортивного упражнения, на основе структурной и параметрической перестройки отдельных фаз упражнения [3]. В качестве модельного упражнения в нашем исследовании был взят оборот назад в упоре в стойку на руках на брусьях разной высоты.

Здесь следует отметить, что первые два этапа обучения спортсмена обороту назад в упоре в стойку на руках нашли в специальной литературе достаточно широкое освещение [1]. Однако, влияние вариаций

параметров управляющих действий, оказываемое на изменение траектории звеньев тела гимнастки в изучаемом упражнении на количественном уровне, в специальной научно-методической литературе не рассматривалось. Отсутствуют сведения о величине управляющих моментов мышечных сил, реализующих заданную программу сгибательно-разгибательных действий гимнастки в суставах и обеспечивающих силовой каркас упражнения. Нет количественных биомеханических данных об изменениях, происходящих в технике упражнения, если оно начинается из однотипного исходного рабочего положения, а завершается приходом в одну и ту же позу спортсмена, но с различной ориентацией звеньев тела исполнителя. Отсутствуют также сведения об управляющих действиях спортсмена, если упражнение выполняется из различных исходных положений, а завершается приходом в одну и ту же позу с одной и той же ориентацией звеньев тела гимнаста.

**Формулировка цели и задач работы.** Фрагментарность сведений по разрабатываемой проблеме поставила перед исследованием *целевую установку* – разработать и реализовать компьютерное решение синтеза техники оборота назад в упоре в стойку на руках, выполняемого из различных исходных положений и с приходом в различные конечные положения. Поставленная цель достигалась последовательным решением *задач исследования*:

1. Разработать биомеханические требования к ограничениям на кинематическое пространство состояний на границе отдельных фаз моделируемого упражнения.

2. Разработать алгоритмы синтеза управления программным движением, реализующего достижение требуемых кинематических параметров управляющих движений в граничных точках разделения упражнения на отдельные фазы.

3. Синтезировать в вычислительных экспериментах на ЭВМ технику оборота назад в упоре в стойку на руках на брусьях разной высоты с требуемыми свойствами на кинематику рабочих положений и управляющих движений.

#### **Основной материал исследования**

##### **1. Биомеханические требования к ограничениям на кинематическое пространство состояний на границе отдельных фаз оборота назад в упоре в стойку на руках на брусьях разной высоты.**

В математической форме описание рабочих положений характеризовалось параметрами пространственного положения звеньев модели, задаваемых в виде обобщенных координат моделируемого объекта, которым соответствовала программа ориентации, задающая углы наклона звеньев модели к оси абсцисс декартовой системы координат  $Oxy$ . Место контакта опорного звена с системой координат располагалось в начале системы координат и, при совмещении опорного звена с положительным направлением числовой оси  $Ox$ , угол между этой осью и линией, совмещенной с продольной осью опорного звена (обобщенная координата), принимался за  $0^\circ$ . Соответственно при расположении опорного звена над опорой (рабочее положение – "стойка на руках") угол между осью абсцисс и опорным звеном равнялся  $90^\circ$ , а при вертикальном расположении опорного звена под опорой (рабочее положение – "вис") – составлял  $270^\circ$ .

Аналогичным образом задавалась программа ориентации и для остальных звеньев модели. При совершении полного оборота ( $360^\circ$ ) это значение угла прибавлялось к обобщенной координате звена, соответствующей исходному положению и поэтому, например, обобщенной координате в  $450^\circ$  соответствовало вертикальное положение звена относительно опоры. Программа ориентации, в виде обобщенных координат звеньев модели, задавалась для исходного и конечного положений каждой фазы упражнения. В моделируемом упражнении рассматривалось две фазы: спад и подъем. Поэтому, программа ориентации для всего упражнения включала:

1. Обобщенные координаты биосистемы в исходном рабочем положении (начало фазы спада).

2. Обобщенные координаты биосистемы в промежуточном рабочем положении (граница фазы спада и фазы подъема).

3. Обобщенные координаты биосистемы в конечном рабочем положении (завершение фазы подъема).

Исходные (табл. 1, колонки 2-4) и конечные (табл. 1, колонки 8-10) рабочие положения могли быть типичны, а могли и различаться в каждом отдельном случае моделируемого варианта упражнения.

За промежуточное же рабочее положение в каждом варианте моделирования всегда принималось такое положение звеньев тела спортсмена, при котором в момент пересечения общим центром масс тела гимнастки вертикального положения под опорой достигалось рабочее положение, характеризующееся как "вис прогнувшись" (табл. 1, колонки 5-7).

В первой серии вычислительных экспериментов исходное рабочее положение в каждом варианте моделирования было различным, а промежуточное и конечное – не отличались, как по ориентации звеньев модели, так и по рабочей позе (табл. 1).

Во второй серии вычислительных экспериментов исходное и промежуточное рабочее положение в каждом варианте моделирования не отличались, как по ориентации звеньев модели, так и по рабочей позе. Конечное рабочее положение в каждом варианте моделирования не отличалось по рабочей позе, но было различным по ориентации звеньев модели (табл. 1).

Таблица 1

#### **Пространственные характеристики рабочих положений в различных вариантах моделируемого упражнения по программе ориентации**

Вариант	ПРОГРАММА ОРИЕНТАЦИИ ЗВЕНЬЕВ МОДЕЛИ								
	Исходное рабочее положение (град)			Промежуточное рабочее положение (град)			Конечное рабочее положение (град)		
	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$
<b>I серия вычислительных экспериментов</b>									
1	90	120	120	270	450	450	450	450	450
2	90	150	150	270	450	450	450	450	450
3	90	180	180	270	450	450	450	450	450
4	90	210	210	270	450	450	450	450	450
<b>II серия вычислительных экспериментов</b>									
1	90	120	120	270	450	450	390	390	390
2	90	120	120	270	450	450	420	420	420
3	90	120	120	270	450	450	450	450	450
4	90	120	120	270	450	450	480	480	480
5	90	120	120	270	450	450	510	510	510

Заданные требования к параметрам исходного и конечного положений звеньев модели в различных вариантах моделирования I и II серии вычислительных экспериментов обеспечивали в фазе спада и в фазе подъема строго определенную вариативность управляющих движений в проксимальном шарнире (табл. 2). В нашем случае проксимальные шарниры моделируют плечевые суставы спортсмена.

Таблица 2

**Обозначения и числовые параметры пространственной составляющей управляющих действий в плечевых суставах в отдельных фазах оборота назад в упоре в стойку на руках**

Вариант	Спад		Подъем	
	Диапазон управляющих действий (град)	Амплитуда управляющих действий (град)	Диапазон управляющих действий (град)	Амплитуда управляющих действий (град)
<b>I серия вычислительных экспериментов</b>				
1	$D_1=30\div 180=D_1$	$A_1=150=A_1$	$D_1=180\div 0=D_1$	$A_1=180=A_1$
2	$D_2=60\div 180\neq D_1$	$A_2=120\neq A_1$	$D_2=180\div 0=D_1$	$A_2=180=A_1$
3	$D_3=90\div 180\neq D_1$	$A_3=90\neq A_1$	$D_3=180\div 0=D_1$	$A_3=180=A_1$
4	$D_4=120\div 180\neq D_1$	$A_4=60\neq A_1$	$D_4=180\div 0=D_1$	$A_4=180=A_1$
<b>II серия вычислительных экспериментов</b>				
1	$D_1=30\div 180=D_1$	$A_1=150=A_1$	$D_1=180\div 0=D_1$	$A_1=180=A_1$
2	$D_2=30\div 180=D_1$	$A_2=150=A_1$	$D_2=180\div 0=D_1$	$A_2=180=A_1$
3	$D_3=30\div 180=D_1$	$A_3=150=A_1$	$D_3=180\div 0=D_1$	$A_3=180=A_1$
4	$D_4=30\div 180=D_1$	$A_4=150=A_1$	$D_4=180\div 0=D_1$	$A_4=180=A_1$
5	$D_5=30\div 180=D_1$	$A_5=150=A_1$	$D_5=180\div 0=D_1$	$A_5=180=A_1$

Диапазон управляющих действий ( $D_i$ ) оценивался по величине смежного угла ( $\alpha_i$ ) в  $i$ -м суставе в момент начала сгибания или разгибания как разница между величиной  $\varphi_{i+1}$  (обобщенная координата  $i+1$  звена) и величиной  $\varphi_i$  (обобщенная координата  $i$ -го звена). В математической записи это условие запишется в виде  $\alpha_i=\varphi_{i+1}-\varphi_i$ . Для момента окончания сгибания или разгибания аналогичное соотношение имеет вид:  $\beta_i=\varphi_{i+1}-\varphi_i$ . В окончательном виде изменение  $D_i$  от  $\alpha_i$  до  $\beta_i$  запишем в форме  $D_i=\alpha_i\div\beta_i$ .

Для амплитуды управляющих действий ( $A_i$ ) в  $i$ -м суставе будем иметь  $A_i=\beta_i-\alpha_i$ . Эта запись отражает изменение суставного угла от максимума (минимума) сгибания (разгибания) до минимума (максимума) разгибания (сгибания) в какой-либо фазе упражнения.

Рабочая поза гимнастки на снаряде рассматривалась нами в аспекте взаимного расположения звеньев тела спортсменки и характеризовалась величиной  $i$ -го суставного угла ( $\psi_i$ ) в определенных рабочих положениях. Математическое описание рабочей позы имело вид:  $\psi_i=180-(\varphi_{i+1}-\varphi_i)$ .

Для всех синтезируемых вариантов движений начальная угловая скорость звеньев модели равнялась 0 рад/с. То есть движений начиналось из состояния покоя под действием силы тяжести.

**2. Алгоритмы синтеза управления программным движением, реализующего достижение требуемых кинематических параметров управляющих движений в граничных точках разделения упражнения на отдельные фазы.** Алгоритмы синтеза программного управления, которое обеспечивает приход биосистемы из заданного начального фазового состояния в требуемое по кинематическим параметрам конечное фазовое состояние, строились на основе полиномиальных функций. Методика их построения в достаточной степени подробности описана в работах [2, 3]. Здесь же необходимо отметить, что гибкость алгоритма вычислительных процедур обеспечивала перевод биосистемы в требуемое рабочее положение в автоматизированном режиме построения программного управления. В качестве контрольных критериев сходимости итерационных процедур рассматривалось рассогласование между расчетными и требуемыми показателями обобщенных координат не превышающее  $0,1^\circ$ .

### 3. Синтезированные в вычислительных экспериментах на ЭВМ варианты техники оборота назад в упоре в стойку на руках на брусках разной высоты с требуемыми свойствами на кинематику рабочих положений и управляющих движений.

Различие в программах управляющих движений на спаде обусловлено изменением параметров пространственных, временных и пространственно-временных характеристик программного управления:

- в пространственных характеристиках изменяется *диапазон* и *амплитуда* программного управления (управляющих действий);
- во временных характеристиках изменяется *продолжительность* программного управления (управляющих действий);
- в пространственно-временных характеристиках изменяется *угловая скорость* и *ускорение* программного управления (управляющих действий).

Отмечаемые различия в угловой скорости звеньев модели доходят до 35%, варьируя по максимуму от -10,5 рад/с до -14,0 рад/с. Размах колебаний углового ускорения также варьирует в пределах 35%, изменяясь по максимуму от -11,0 рад/с<sup>2</sup> до -15,0 рад/с<sup>2</sup>.

Подъем выполняется из одного и того же промежуточного рабочего положения и завершается одним и тем же конечным рабочим положением. *Диапазон* и *амплитуда* программного управления (управляющих действий) остаются неизменными, но изменяется его *продолжительность*, а, следовательно, и *угловая скорость* и *угловое ускорение*. Скорость программного управления (разгибательное движение в плечевых суставах) изменяется по максимуму от -13,0 рад/с до -18,0 рад/с (размах колебаний – 38,5%). Угловое ускорения в разгибательном движении в плечевых суставах изменяется в диапазоне от -80 рад/с<sup>2</sup> до 200 рад/с<sup>2</sup> (4-й вариант спада) и от -140 рад/с<sup>2</sup> до 400 рад/с<sup>2</sup> (1-й вариант спада). Размах колебаний – 80%.

**Выводы и перспективы дальнейших разработок.** 1. Основное различие в программах управления в обороте назад в стойку на руках на брусках разной высоты сводится к дифференцировке управляющих движений по параметрам пространственных (диапазон, амплитуда) и пространственно-временных характеристик программного управления (продолжительность, угловая скорость, угловое ускорение).

2. Вариации параметров кинематики программного управления и рабочего положения на границах фаз упражнения формируют различную технику исследуемого упражнения.

3. Совершенствовать техническое мастерство гимнастов в обороте назад в стойку на руках на брусках разной высоты возможно выполнением упражнения с варьированием исходного и конечного рабочего положения, а также кинематических параметров программного управления (сгибательно-разгибательные движения в плечевых суставах) на спаде и в подъеме.

4. Реальную перспективу совершенствования техники гимнастических упражнений мы связываем, прежде всего, с использованием компьютерных технологий синтеза управления программным движением биомеханических систем в отдельных фазах упражнений.

#### Использованные источники

1. Гавердовский, Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К. Гавердовский – М.: Физкультура и Спорт, 2007. – 912 с.
2. Загrevский, В.И. Планирование траектории управляющих движений спортсмена в координатах внешнего пространства / В.И. Загrevский, В.О. Загrevский // Теория и практика физической культуры. – 2010. – № 10. – С. 56 – 61.
3. Загrevский, В.И. Компьютерный синтез двигательных действий с управлением движением по кинематическому состоянию биомеханической системы / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский // Теория и практика физической культуры. – 2013. – № 7. – С. 10 – 15.

*Zagrevsky V.I., Lukashkova I.L., Moiseenko P.V., Zagrevskaya L.V.*

#### MODELING TECHNIQUE OF GYMNASTIC EXERCISES ON THE BASIS OF VARIATIONS OF KINEMATIC OF PARAMETERS OF WORKING POSITIONS AND MOVEMENTS

*The article shows that the changes of the kinematic parameters of the operational provisions of the athlete may not influence the final result of the spatial orientation biomechanical system, if for translation biosystem to the desired end position is exposed to variations in the spatial-temporal component of the control of movements.*

**Key words:** *biomechanical system, steering movements, variation, working position, parameters.*

*Стаття надійшла до редакції 11.09.2013 р.*

