

# ПЛАНИРОВАНИЕ

## траектории управляющих движений спортсмена в координатах внешнего пространства

Доктор педагогических наук, профессор **В.И. Загrevский**

Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, Могилев

Аспирант **В.О. Загrevский**

Томский государственный университет, Томск

### Abstract

*PLAN OF TRAJECTORY OF CONTROL ACTIONS OF ATHLETE IN COORDINATES OF EXTERNAL ENVIRONMENT*

*V.I. Zagrevsky, professor, Dr.Hab. Mogilev state university named after A.A. Kuleshov, Mogilev*

*V.O. Zagrevsky, postgraduate student*

*Tomsk state university, Tomsk*

**Key words:** *technique of exercises, flexion-extension movements in joints, function extremes, biomechanical characteristics, control actions, function, reference points.*

### **The purpose of the present re-**

**search** *was to study the problem of planning trajectory of control actions of athlete in coordinates of external environment.*

*The researchers developed a method of calculation of biomechanical characteristics of exercises, where position vector of general mass centre of athletes' body is used as an independent argument of movement.*

### **Conclusions:**

*1. In biomechanical researches associated with comparative study of kinematic and dynamic structures of movements of different performers, it is effective to use as an argument not time, but angle position of general mass centre of athletes' body relative to support. It makes it available to conduct comparative analysis of technique of competitive exercises performed by different athletes.*

*2. Correct reconstruction of trajectory of flexion-extension movements in joints is realized by reference points of biomechanics of motor actions. It is necessary to consider single positions of athlete in a space coordinate system as reference points, where local maximum/minimum of recovery function is achieved.*



**Ключевые слова:** *техника упражнений, сгибательно-разгибательные движения в суставах, экстремумы функции, биомеханические характеристики, управляющие движения, функция, опорные точки.*

**Введение.** Широкое использование новых информационных технологий биомеханических исследований в учебно-тренировочном процессе спортсменов сдерживается рядом факторов, имеющих объективные причины. Выделим два из них.

1. Существующие в биомеханике физических упражнений методы оценки кинематических и динамических параметров биосистемы не всегда позволяют не только сопоставить биомеханические характеристики различных исполнителей, но и проанализировать изменения биомеханического состояния в процессе выполнения соревновательного упражнения одним исполнителем [2, 3]. Различное время выполнения исследуемых движений – основная причина, сдерживающая решение этой технической части проблемы биомеханических исследований. У каждого спортсмена существует своя, индивидуальная, техника, следовательно, и время выполнения одного соревновательного упражнения у разных исполнителей разное. Кроме того, на траекторию биомеханической системы в конкретном соревновательном упражнении оказывают влияние различия в масс-инерционных характеристиках исполнителей, начальная скорость звеньев тела спортсмена и другие биомеханические факторы [8].

2. Выполнение количественного биомеханического анализа предполагает наличие исходной биомеханической информации о кинематических и динамических характеристиках движений. Оперативное получение необходимых сведений о биомеханике движения и использование данного подхода непосредственно в учебно-тренировочном процессе

сдерживаются долговременными процедурами выполнения промера упражнения, считывания координат маркеров тела спортсмена и проведения расчетных операций с помощью ЭВМ. И если для последних двух этапов технологии получения количественных данных о биомеханике изучаемого упражнения по материалам оптической регистрации движений характерным является ощутимый прогресс в уменьшении времени выполнения технологических процедур, то в сокращении длительности первого этапа отмечается определенный консерватизм.

В перспективе здесь просматриваются два возможных для реальной реализации подхода, гарантирующих выполнение расчетных операций по кинематике и динамике движения спортсмена без существенной потери биомеханической информации:

- а) замена времени как аргумента движения другой независимой переменной, уменьшающей количество исходных эмпирических данных, являющихся основой для количественного определения кинематических и динамических характеристик движения;
- б) использование математического аппарата обработки исходных данных, который позволит реконструировать значительные участки траектории биомеханической системы, сознательно упущенные при выполнении промера с целью уменьшения времени его выполнения.

В качестве рабочей **гипотезы** выполненного исследования было выдвинуто предположение о том, что сравнение технического мастерства спортсменов может осуществляться на моделях с пространственным аргументом движения.

Одной из моделей такого инвариантного типа является, в частности, положение звеньев тела спортсмена относительно опоры. Интегральной биомеханической характеристикой, отражающей пространственное положение исследуемого объекта, является общий центр масс (ОЦМ) тела спортсмена, угловые координаты которого и можно использовать в качестве аргумента движения.

**Методика исследования.** Нами разработан метод вычисления биомеханических характеристик упражнений, в котором в качестве независимого аргумента движения используется не время, а радиус-вектор ОЦМ тела спортсмена. Технологическая последовательность реализации предлагаемого подхода заключается в выполнении следующих операций:

1. Вычислении угловых координат ОЦМ биомеханической системы на всей траектории анализируемого движения с шагом, по времени равным шагу дискретизации моделируемого движения.
2. Выполнении интерполяции значений угловых координат ОЦМ биомеханической системы с заданным шагом аргумента, представленного в виде углового положения ОЦМ биосистемы.
3. Вычислении параллельно с процедурой 2 момента времени, относящегося к каждой точке дискре-

тизации модели по созданному инварианту движения (угловое положение ОЦМ тела спортсмена).

4. Определении векторного массива времени, в котором каждому элементу вектора соответствует значение нового построенного аргумента движения (обратная интерполяция).

5. Вычислении двумерного массива обобщенных координат, обобщенных скоростей и обобщенных ускорений на всей траектории биомеханической системы для каждого вычисленного значения времени, соответствующего равноотстоящим значениям построенного нового биомеханического инварианта (аргумента) движения.

6. Принятии вычисленных значений обобщенных координат, обобщенных скоростей и обобщенных ускорений биомеханической системы в качестве исходных данных для последующего вычисления кинематических и динамических характеристик анализируемого движения как функций от нового синтезированного аргумента.

Алгоритмическое содержание программного обеспечения модуля интерполяции функциональных зависимостей основывалось на использовании интерполяционного кубического сплайна. Сплайн-интерполяция – специальный вид многоинтервальной интерполяции, при котором интерполирующий полином обеспечивает не только равенство  $y(x)$  значениям  $y_i$  в узлах ( $i$ ) дискретизации функции ( $y$ ) по аргументу ( $x$ ), но и непрерывность заданного числа первых производных  $y'(x)$  на границах частичных интервалов [1, 7]. В общем случае сплайн задается глобальным способом, т.е. с использованием всех узлов дискретизации функции (рис. 1) при любом их расположении (неравномерная сетка по узлам дискретизации).

В наших исследованиях рассматривалось задание интерполяционного кубического сплайна локальным способом. Кубический сплайн, заданный локально, – это интерполирующая функция в виде полинома третьей степени, вычисляемая по формулам (1):

$$y(x) = \frac{(x_{i+1} - x)^2(2(x - x_i) + h)}{h^3} y_i + \frac{(x - x_i)^2(2(x_{i+1} - x) + h)}{h^3} y_{i+1} + \frac{(x_{i+1} - x)(x - x_i)}{h^2} m_i + \frac{(x - x_i)(x - x_{i+1})}{h^2} m_{i+1} \quad (1)$$

$$i = \text{int}((x - a) / h),$$

где  $m_i, m_{i+1}$  – первые производные  $y(x)$ ;  $\text{int}((x-a)/h)$  – целая часть значения аргумента  $(x-a)/h$ , т.е. наибольшее целое, не превосходящее  $(x-a)/h$ ;  $i$  – буквенный индекс;  $h$  – шаг изменения аргумента ( $x$ ), равный  $h = (x_{i+1} - x_i)$ .

В процессе вычислений использовалась обратная интерполяция (пункт 4 схемы вычислений). Обратная интерполяция – процесс определения значений  $x$  по заданным значениям  $y$  – также выполнялась кубическими сплайнами, только вместо значений  $x_i$  вводились значения  $y_i$ .

**Результаты исследования.** Исследование выполняли в два этапа.

**1. Замена времени как аргумента движения пространственной системой отсчета.** В качестве

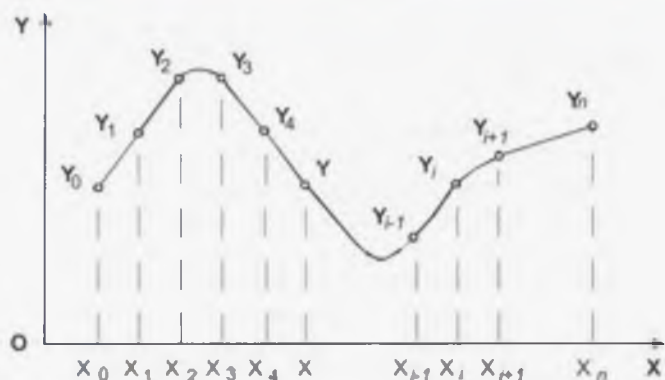


Рис. 1. Узлы интерполяции ( $x_i$ ) и значение интерполируемой функции  $y(x)$  в точке ( $x$ )

модельного упражнения рассматривалось соревновательное упражнение на перекладине «Перелет Ткачева» (рис. 2).

Цифры и числа обозначают номер кинокадра. Упражнение выполняет мастер спорта международного класса РФ А. Голоцуцков.

Каждый из трех гимнастических элементов отличается от других пространственно-временными характеристиками во всем временном диапазоне упражнения, а также длительностью опорной и безопорной частей. Рассматривая различия в технике выполнения упражнений, не всегда можно сослаться на временные показатели движения [4–6]. Кроме того, трудно оценить и амплитуду сгибательно-разгибательных движений спортсмена в суставах, поскольку нет совмещения анализируемых кинематических характеристик на одном рисунке.

Для каждого из трех упражнений существует своя схема построения сгибательно-разгибательных движений в суставах, что обуславливает различия в скорости и ускорении программного управления в упражнениях прогрессирующей сложности (рис. 3).

На рис. 4 показаны изменения угловых ускорений в суставных движениях в различных положениях ОЦМ тела спортсмена относительно грифа перекладины. Отчетливо отмечаются различия как по амплитудным параметрам ускорений в различных упражнениях,

так и по их максимальным проявлениям относительно углового положения ОЦМ тела спортсмена.

В принятой нами системе отсчета координат объекта вертикальному расположению ОЦМ тела гимнаста над грифом перекладины соответствует угловая координата  $90^\circ$ . За конечное анализируемое положение принимается аналогичное положение ОЦМ тела спортсмена ( $450^\circ$ ). Шаг дискретизации модели равен  $15^\circ$ . В анализируемых упражнениях моменту перехода гимнаста в безопорное состояние соответствует угловая координата ОЦМ  $405^\circ$ .

**2. Реконструкция траектории сгибательно-разгибательных движений в суставах по опорным точкам биомеханики движения.** За опорные точки биомеханики движения примем угловые положения ОЦМ тела спортсмена в полярной системе координат, соответствующие:

- а) начальному и конечному положениям ОЦМ биомеханической системы в анализируемом упражнении;
- б) экстремумам реконструируемой функции.

В качестве примера рассмотрим сгибательно-разгибательные движения гимнаста в плечевых суставах при выполнении упражнения «Перелет Ткачева» ноги врозь на перекладине (см. таблицу).

*Первая опорная точка.* В момент прохождения ОЦМ тела гимнаста вертикального положения над грифом перекладины ( $\gamma_1 = 90^\circ$ ) угол между руками и туловищем ( $\beta_1$ ) уменьшился на  $6^\circ$  относительно угла  $0^\circ$  (при расположении туловища и рук на одной прямой). В таблице это значение функции записано в колонке 3 (строка  $i = 1$ ). Здесь  $i$  – номер точки дискретизации угла поворота ОЦМ с интервалом  $15^\circ$ . В точках дискретизации  $x = i$ .

*Вторая опорная точка.* Максимальное сгибание в плечевых суставах  $22,6^\circ$  ( $\beta_3 = 22,6^\circ$ ), когда ОЦМ тела спортсмена имеет координату  $120^\circ$  ( $\gamma_3 = 120^\circ$ ).

*Третья опорная точка.* Максимальное разгибание в плечевых суставах  $18,2^\circ$  ( $\beta_{10} = -18,2^\circ$ ), когда ОЦМ тела спортсмена имеет координату  $225^\circ$  ( $\gamma_{10} = 225^\circ$ ).

*Четвертая опорная точка.* Максимальное сгибание в плечевых суставах  $-60,40$  ( $\beta_{17} = 22,6^\circ$ ), когда

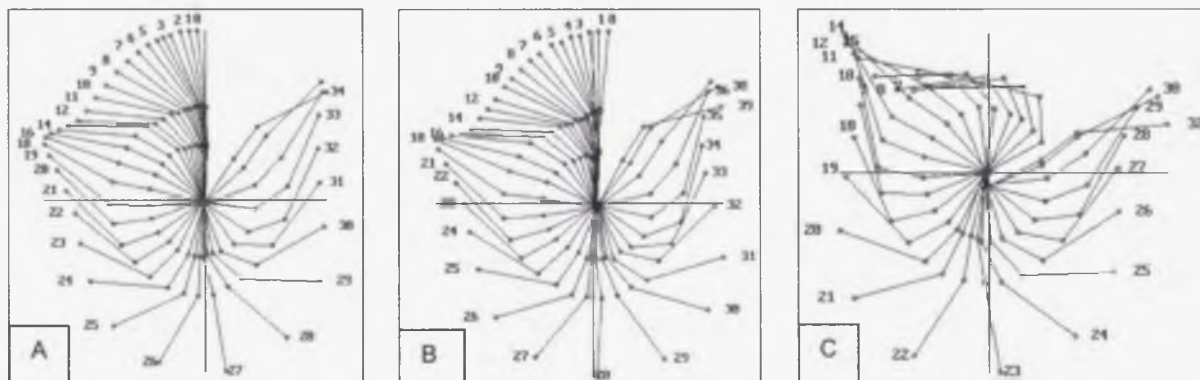


Рис. 2. Кинетограмма опорной части упражнения «Перелет Ткачева» - А – ноги врозь, В – согнуты, С – прямым телом

Функция $\varphi(x)$ , восстановленная по 5 опорным точкам $\beta_i$ методом полиномиальной интерполяции						Функция $\varphi(x)$ , восстановленная по 6 граничным условиям					Значения исходной функции $\theta$ и функции $\varphi(x)$ , вычисленные методом полиномиальной интерполяции				
$i$	$\gamma_i$ град	$\beta_i$ град	$\varphi(x)$	$\varphi'(x)$	$\varphi''(x)$	$i$	$\beta_i$ град	$\varphi(x)$	$\varphi'(x)$	$\varphi''(x)$	$i$	$\varphi(x)$	$\varphi'(x)$	$\varphi''(x)$	$\theta_i$ град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	90	6,0	6,0	17,9	-11,4	1	6,0	6,0	17,9	-11,4	1	6,0	9,0	16,3	6,0
2	105		18,7	7,9	-8,8	2		18,2	7,9	-6,8	2	17,6	10,2	-7,9	17,8
3	120	22,6	22,6	0,4	-6,3	3	22,6	22,6	0,0	-15,0	3	23,0	0,4	-9,7	22,6
4	135		20,2	-4,8	-4,1	4		17,3	-8,6	-3,5	4	19,1	-7,4	-5,6	19,3
5	150		13,7	-7,8	-2,0	5		8,1	-9,1	1,5	5	9,6	-10,8	-1,2	10,0
6	165		5,2	-8,9	-0,3	6		-0,0	-7,0	2,3	6	-1,2	-10,3	1,9	-1,5
7	180		-3,6	-8,4	1,2	7		-6,0	-5,2	1,0	7	-10,2	-7,5	3,3	-10,5
8	195		-11,2	-6,5	2,5	8		-10,9	-4,8	0,1	8	-16,0	-4,1	3,3	-15,7
9	210		-16,4	-3,6	3,3	9		-15,6	-4,3	1,6	9	-18,5	-1,0	2,9	-18,1
10	225	-18,2	-18,2	0,0	3,9	10	-18,2	-18,2	0,0	7,9	10	-18,0	1,9	3,2	-18,2
11	240		-16,2	4,1	4,1	11		-14,6	6,8	5,8	11	-14,3	5,7	4,4	-14,8
12	255		-10,1	8,1	3,9	12		-5,2	11,8	4,2	12	-6,2	10,6	5,1	-6,0
13	270		-0,1	11,8	3,3	13		8,4	15,2	2,6	13	6,8	15,3	3,7	7,3
14	285		13,2	14,6	2,3	14		24,5	16,7	0,4	14	23,4	17,3	0,0	23,1
15	300		28,8	16,2	0,9	15		41,0	15,6	-2,8	15	40,0	15,2	-3,9	39,9
16	315		45,1	16,2	-1,1	16		54,5	10,7	-7,5	16	52,9	10,2	-5,9	52,8
17	330	60,4	60,4	13,9	-3,5	17	60,4	60,4	0,0	-14,2	17	59,9	3,8	-6,8	60,4
18	345		72,1	9,0	-6,4	18		56,8	-4,8	0,3	18	60,2	-3,2	-6,9	59,7
19	360		77,4	0,9	-9,9	19		52,0	-5,4	-3,1	19	54,1	-8,3	-2,4	54,4
20	375		72,8	-10,9	-13,9	20		44,0	-11,6	-8,3	20	45,6	-8,2	-0,1	45,5
21	390		54,2	-27,1	-18,5	21		28,8	-17,2	0,8	21	33,9	-20,0	-25,6	33,9
22	405	17,0	17,0	-48,1	-23,7	22	17,0	17,0	0,0	40,0	22	17,0	35,5	315,4	17,0

ОЦМ тела спортсмена имеет координату 3300 ( $\gamma_{17} = 330^\circ$ ).

Пятая опорная точка. Максимальное разгибание в плечевых суставах –  $17,0^\circ$  ( $\beta_{22}=17,0^\circ$ ), когда ОЦМ тела спортсмена имеет координату  $405^\circ$  ( $\gamma_{22}=405^\circ$ ). Этому положению соответствует момент вылета спортсмена в полетную фазу упражнения.

Реконструкция траектории управления осуществлялась по пяти опорным точкам, наиболее полно отражающим особенности поведения исследуемой функции. В качестве моделирующего алгоритма восстановления эмпирических данных использовался

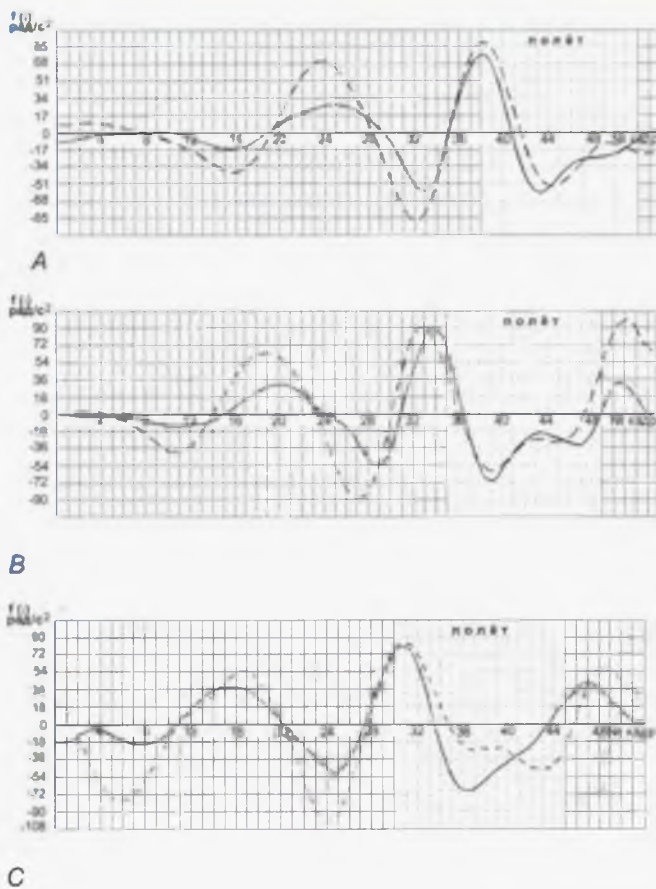
полином пятой степени, интерполирующий восстанавливаемую функцию в узлах опорных точек. Его математическое представление имеет вид

$$\varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5$$

$$\bar{\varphi}(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3 + 5a_5x^4 \quad (2)$$

$$\bar{\bar{\varphi}}(x) = 2a_2 + 6a_3x + 12a_4x^2 + 20a_5x^3$$

Реконструированные значения функции программного управления  $\varphi(x)$ , первой  $\varphi'(x)$  и вто-

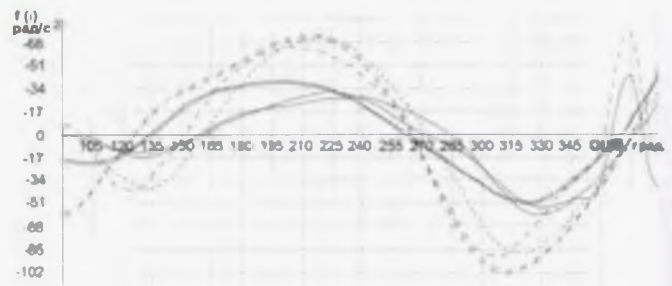


**Рис. 3.** Изменение ускорения программного управления в плечевых (—) и тазобедренных (---) суставах по временному аргументу движения в гимнастическом упражнении «Перелет Ткачева»

рой  $\Phi''(x)$  производной по экстремумам ( $\beta$ ) восстанавливаемой функции  $\Phi(x)$  в опорных точках углового положения ( $\gamma$ ) общего центра масс тела спортсмена

Здесь  $x=i$  – номер точки дискретизации угла поворота ОЦМ через  $15^\circ$ . Для заданного полинома с его первой ( $\Phi_1$ ) и второй ( $\Phi_2$ ) производными неизвестные коэффициенты  $a_k$ , вычисленные с удвоенной точностью, равны:  $a_0 = -18,0954944$ ;  $a_1 = 30,7205800$ ;  $a_2 = -7,0980385$ ;  $a_3 = 0,4789529$ ;  $a_4 = -0,0058171$ ;  $a_5 = -0,0001829$ . Вычисленные для каждого  $i$  значения искомой функции и ее производных приведены в таблице (колонки 4–6).

Восстанавливаемая функция требует математического уточнения и определенной коррекции. Во-первых, изменять значения функции в опорных точках нельзя, но можно и необходимо скорректировать ее первую и вторую производные. Во-вторых, краевые условия на производные функции задаются пользователем из условий решения двигательной задачи. Учитывая достаточные и необходимые условия экстремума функции и направление выпуклости графика функции, выполним надлежащую корректировку производных в точках максимума и минимума.



**Рис. 4.** Изменение ускорения программного управления в плечевых (—, —, —) и тазобедренных (---, ---, ---) суставах по пространственному аргументу движения в опорной части гимнастических упражнений «Перелет Ткачева»: А (—, ---) – ноги врозь; В (—, ---) – согнувшись; С (—, ---) – прямым телом

В точках экстремума функции первая производная всегда равна нулю [1], значит, для восстанавливаемой функции в точках  $i = 3, i = 10, i = 17$  запишем

значение  $\Phi_1 = 0$ . Это же можно сделать и для точки  $i = 22$ , так как в момент отхода гимнаста от грифа перекладины в безопорное состояние достигается максимальное разгибание рук в плечевых суставах. Для точек экстремума функции вторая производная должна иметь знак, противоположный значению функции [1], и максимальное значение относительно левой и правой окрестностей в дифференцируемой точке, что обеспечивает нулевое значение второй производной и существование точек перегиба функции между ее экстремумами.

В точке  $i = 22$  для выполнения требования существования точки перегиба функции знак второй производной должен быть противоположным знаку в предшествующей точке экстремума функции. Это необходимо сделать ввиду смещения экстремума функции, восстановленной полиномиальной интерполяцией, с точки  $i = 17$  в точку  $i = 20$  (см. таблицу), что совершенно недопустимо. И, наконец, для начального значения первой и второй производных в точке  $i = 1$  возьмем уже их вычисленные значения, так как к ним не предъявляется дополнительных требований.

Придадим математическую форму содержательной-смысловой формулировке задачи. Требуется перевести объект из заданного начального состояния ( $x_n$ ) с координатами  $\Phi(x_n), \Phi'(x_n), \Phi''(x_n)$  в конечное ( $x_k$ ) с координатами  $\Phi(x_k), \Phi'(x_k), \Phi''(x_k)$ . Здесь  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1; k = n+1, \dots, N$ , где  $N$  – число точек дискретизации функции  $\Phi(x)$ . Эволюцию восстанавливаемой функции от  $x_n = 0$  до  $x_k = h$  с наложением на нее 3 граничных условий для начального положения  $[\Phi(x_n), \Phi'(x_n), \Phi''(x_n)]$  и 3 граничных условий для конечного положения  $[\Phi(x_k), \Phi'(x_k), \Phi''(x_k)]$  можно описать полиномом пятой степени с 6 неизвестными коэффициентами  $a$ :

$$\begin{aligned} \varphi(t_0) &= a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 + a_3 t_0^3 + a_4 t_0^4 + a_5 t_0^5 \\ \dot{\varphi}(t_0) &= a_1 + 2a_2 t_0 + 3a_3 t_0^2 + 4a_4 t_0^3 + 5a_5 t_0^4 \\ \ddot{\varphi}(t_0) &= 2a_2 + 6a_3 t_0 + 12a_4 t_0^2 + 20a_5 t_0^3 \\ \varphi(t_1) &= a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 + a_3 t_1^3 + a_4 t_1^4 + a_5 t_1^5 \\ \dot{\varphi}(t_1) &= a_1 + 2a_2 t_1 + 3a_3 t_1^2 + 4a_4 t_1^3 + 5a_5 t_1^4 \\ \ddot{\varphi}(t_1) &= 2a_2 + 6a_3 t_1 + 12a_4 t_1^2 + 20a_5 t_1^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Для 6 неизвестных коэффициентов  $a_i$  есть 6 уравнений (3), решение которых позволяет получить аналитическое представление об этих коэффициентах.

Введем обозначения:  $\varphi_0 = \varphi(x_0)$ ,  $\varphi'_0 = \dot{\varphi}(x_0)$ ,  $\varphi''_0 = \ddot{\varphi}(x_0)$ ,  $\varphi_k = \varphi(x_k)$ ,  $\varphi'_k = \dot{\varphi}(x_k)$ ,  $\varphi''_k = \ddot{\varphi}(x_k)$ ,  $h = x_k - x_{k-1}$ . Получим

$$\begin{aligned} a_0 &= \varphi_0 & a_1 &= \varphi'_0 & a_2 &= \frac{\varphi''_0}{2} \\ a_1 &= \frac{(\varphi_1 - 3\varphi_0)}{2h} - \frac{2(2\varphi_1 + 3\varphi_0)}{h^2} + \frac{10(\varphi_1 - \varphi_0)}{h^3} \\ a_2 &= \frac{(3\varphi_0 - 2\varphi_1)}{2h^2} + \frac{(8\varphi_0 + 7\varphi_1)}{h^3} - \frac{15(\varphi_1 - \varphi_0)}{h^4} \\ a_3 &= \frac{(\varphi_1 - \varphi_0)}{2h^3} - \frac{3(\varphi_0 + \varphi_1)}{h^4} + \frac{6(\varphi_1 - \varphi_0)}{h^5} \end{aligned} \quad (4)$$

Отсюда  $h = x_k - x_0$ , где  $x_0 = i$  – номер точки левого конца траектории управления, а  $x_k$  – номер точки правого конца восстанавливаемой функции, т.е. при  $x_0$ , равно последовательно 1, 3, 10, 17, аргумент  $x_k$  будет принимать значения 3, 10, 17, 22.

В точках экстремума функции не происходит разрыва производных, на что и ориентирован алгоритм восстановления функции по ее опорным точкам. Траектория сгибательно-разгибательных движений спортсмена в плечевых суставах, восстановленная по алгоритму уравнений (4), отвечает заданным требованиям и наложенным ограничениям как на саму функцию, так и на ее производные (см. таблицу, колонки 9, 10, 11). В колонках 13, 14, 15 приведены данные о значениях исходной функции (колонка 16) и ее производных, вычисленных с помощью полинома 22-й степени (соответственно количеству точек интерполяции). Сравнение значений исходной (колонка 16) и восстановленной (колонка 9) функций показывает, что реконструированная функция незначительно отличается от исходной биомеханической информации.

**Выводы**

1. В биомеханических исследованиях, связанных со сравнительным изучением кинематической и динамической структур движений различных исполнителей, в качестве аргумента движения целесообразно использовать не время, а угловое положение ОЦМ

тела спортсмена относительно опоры. Это делает доступным проведение сравнительного анализа техники соревновательных упражнений, выполняемых различными спортсменами.

2. Корректная реконструкция траектории сгибательно-разгибательных движений в суставах осуществляется по опорным точкам биомеханики движения. В качестве опорных точек следует рассматривать отдельные положения спортсмена в пространственной системе координат, в которых достигается локальный максимум/минимум восстанавливаемой функции.

**Литература**

1. Дьяконов, В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ: справочник / В.П. Дьяконов. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
2. Загrevский, О.И. Построение техники гимнастических упражнений на основе математического моделирования на ЭВМ: дис. ... докт. пед. наук. – Омск, 2000. – 349 с.
3. Загrevский, В.И. Биомеханические особенности техники перелета «Ткачев» / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский, В.С. Шерин // Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма начала III тысячелетия: Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. 13–14 апреля 2006 г. Мозырь: УО МГПУ, 2006. – С. 97–99.
4. Загrevский, В.И. Биомеханические параметры стартовых условий полетной части перелетовых упражнений «Ткачев» на перекладине / В.И. Загrevский, В.С. Шерин // Теория и практика физ. культуры. – 2008. – № 10. – С. 6–11.
5. Загrevский, В.И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ / В.И. Загrevский, Д.А. Лавшук, О.И. Загrevский. – Могилев: Могилев. гос. ун-т, 2000. – 190 с.
6. Загrevский, В.И. Биомеханические инварианты движения в исследованиях техники соревновательных упражнений / В.И. Загrevский, Ф.М. Эльхвари, А.Н. Шахдади // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2008. – С. 337–340.
7. Мудров, А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль / А.Е. Мудров. – Томск: Раско, 1991. – 272 с.
8. Попов, Г.И. Биомеханика: учеб. для вузов / Г.И. Попов. – М.: Академия, 2005. – 256 с.

**Bibliography**

1. D'yakonov, V.P. Reference book on algorithms and programs on basic language for personal computers: reference book. (In Russian) / V.P. D'yakonov. – Moscow: Nauka, 1987. – 240 P.
2. Zagrevsky, O.I. Construction of technique of gymnastics exercises based on mathematical computer modeling: doctoral thesis (Dr. Med.). (In Russian) – Omsk, 2000. – 349 P.
3. Zagrevsky, V.I. Biomechanical features of flight technique «Tkachev». (In Russian) / V.I. Zagrevsky, O.I. Zagrevsky, V.S. Sherin // Acute problems of physical education, sport and tourism of the beginning of the III century: Proceedings of the I internat. scient.-pract. conf. 13–14 April 2006. Mozyr: MSPU, 2006. – P. 97–99.
4. Zagrevsky, V.I. Biomechanical parameters of starting conditions of the flight part of flight exercises «Tkachev» on a bar. (In Russian) / V.I. Zagrevsky, V.S. Sherin // Teoriya i praktika fizicheskoy kultury. – 2008. – № 10. – P. 6–11.
5. Zagrevsky, V.I. Construction of optimum technique of sport exercises in computing experiment of personal computer. (In Russian) / V.I. Zagrevsky, D.A. Lavshuk, O.I. Zagrevsky. – Mogilev: Mogilev. state un-ty, 2000. – 190 P.
6. Zagrevsky, V.I. Biomechanical variant of movement in researches of technique of competitive exercises. (In Russian) / V.I. Zagrevsky, F.M. El'khvari, A.N. Shakhjadi // Acute matter of physical culture and sport. – Tomsk: Publ. h-se of TSPU, 2008. – P. 337–340.
7. Mudrov, A.E. Calculus of approximations for personal computer on Basic, Fortran and Pascal languages. (In Russian) / A.E. Mudrov. – Tomsk: Rasko, 1991. – 272 P.
8. Popov, G.I. Biomechanics: textbook for high schools. (In Russian) / G.I. Popov. – Moscow: Akademiya, 2005. – 256 P.

**Информация для связи с автором:**

E-mail: kapilevich@tpu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2010 г.