

ПЕДАГОГИКА

УДК 796.012

В.И. Загrevский, О.И. Загrevский, Т.В. Галайчук

БИОМЕХАНИКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСАНКИ В СПОРТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЯХ И МЕТОДИКА ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

Приведен оригинальный способ расчета силовой компоненты в суставах спортсмена в спортивных упражнениях с динамической осанкой на основе модельного представления движения опорно-двигательного аппарата тела спортсмена в виде физического маятника. На основе корректного биомеханического анализа спортивных движений с фиксированной позой разработан комплекс специальных подготовительных и подводящих упражнений для освоения элементов динамической осанки.

Ключевые слова: гимнастические упражнения; биомеханика двигательных действий; динамическая осанка; силовой потенциал спортсмена

Современные компьютерные технологии позволяют обосновать такие способы выполнения двигательных действий спортсмена, которые до настоящего времени не подвергались основательному биомеханическому анализу в силу значительного количества вычислительных операций, связанных с большой размерностью конфигурационного пространства биомеханических систем.

Кинематический анализ механического движения объекта позволяет рассматривать форму траектории и вид движения совместно с положением объекта в фиксированные моменты времени. Совокупность значений обобщенных координат системы (q_i) обычно задает конфигурацию движущейся системы и формально описывает так называемое конфигурационное пространство, трактуемое так: «Конфигурационное пространство (иногда также *пространство конфигураций*) – понятие в математической физике, вариационном исчислении и аналитической механике, абстрактное пространство, задающее конфигурацию системы – совокупность значений всех её обобщенных координат» [1. С. 1]. Здесь следует заметить, что размерность конфигурационного пространства равна числу степеней свободы системы, а обобщенные координаты в этом пространстве определяют положение системы в фиксированный момент времени. Понятие конфигурационного пространства и конфигурации движущейся системы с полным основанием можно применить и к биомеханической системе, в которой взаимное расположение звеньев можно описать с помощью обобщенных (q_i) и присоединенных координат (u_i), выраженных в виде разности смежных обобщенных координат (q_i, q_{i+1}): $u_i = q_{i+1} - q_i$. Здесь: $i = 1, 2, \dots, n$, где n – количество звеньев биосистемы.

В работах [2, 3] применительно к пространственным изменениям взаимного расположения звеньев системы используется термин «реконфигурация», описывающий процесс изменения конфигурации системы. Так, например, в робототехнике под реконфигурацией манипуляционного робота понимается «управляемый процесс изменения конфигураций манипуляционного робота и грузов из начальной конфигурации в набор конфигурации цели» [2. С. 128].

Аналогичное определение понятию «реконфигурация» дано в более раннем изложении в статье В.Ю.

Рутковского и соавт.: реконфигурация манипулятора – это «...управляемый процесс изменения конфигурации манипулятора при перемещении его звеньев из некоторого начального состояния в конечное, удовлетворяющее определенным требованиям, выполнение которых необходимо для успешного решения очередной задачи, стоящей перед космическим роботом» [3. С. 83].

Сформулируем понятие реконфигурации, которое будем в дальнейшем использовать для оценки как текущей конфигурации биомеханической системы (БС), так и конечной, обусловленной требуемым решением двигательной задачи в спортивном упражнении. Под реконфигурацией биомеханической системы будем понимать управляемый процесс изменения начальной конфигурации биосистемы в процессе решения двигательной задачи на некотором сегменте траекторного перемещения тела спортсмена, удовлетворяющий определенным требованиям кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата тела спортсмена.

Изменение начальной конфигурации БС осуществляется на основе изменения взаимного расположения ее звеньев, а сегмент траектории есть фаза движения, заданная начальной и конечной конфигурацией биомеханической системы в соответствующие моменты времени. Именно в этом смысле мы и будем использовать термин «реконфигурация» применительно к биомеханической системе, в которой при выполнении двигательного действия отмечаются изменения во взаимном расположении звеньев, а следовательно, и в величине суставных углов. В этой связи сохранение на некотором участке траекторного перемещения спортсмена неизменной (фиксированной) величины суставного угла в отдельном или нескольких суставах связывают с понятием «динамическая осанка» [4. С. 79]. По существу, динамическая осанка есть фиксация позы спортсмена в «застывшей» конфигурации БС на некотором участке траекторного перемещения тела, позволяющая решить двигательную задачу определенной фазы спортивного упражнения или его части.

Основные идеи выполнения спортивных упражнений с сохранением неизменной конфигурации биосистемы в некоторых фазах и отдельных частях спортив-

ного упражнения (динамическая осанка) сравнительно давно были выдвинуты и сформулированы в [5], а позже теоретически развиты в [4, 6, 7] и приняты на вооружение во многих видах спорта (спортивная и художественная гимнастика, акробатика, прыжки в воду с вышки и трамплина, прыжки на батуте, легкая атлетика, фристайл и др.).

Авторы, изучающие проблему формирования динамической осанки в спортивных упражнениях [4, 5, 8, 9], отмечают, что процесс обучения двигательным действиям опирается на создание у спортсмена ориентировочной основы действий (ООД). В этой части проблемы мы согласны с мнением С.П. Евсеева: тренажерные устройства могли бы не только облегчить процесс поиска правильных движений, но и воспроизвести за спортсмена «...программу управляющих движений в суставах, обеспечивающую реализацию намеченного спортивного результата» [4. С. 14]. По существу, в данном случае под ООД понимается программа управляющих движений в суставах, аналогичная программе реконфигурации биосистемы, целевым результатом которой является программа положения звеньев тела спортсмена в узловых точках спортивного упражнения (границы фаз движения), выраженная в виде частных программ. Последние представляют собой, в описании В.Т. Назарова (1973), программы места, ориентации и позы [5].

По мнению С.П. Евсеева, азбукой описания движений являются два компонента операций: «1) одновременное изменение угла в тех или иных суставах (элемент управляющего движения) и 2) удержание неизменным взаимного расположения двух смежных звеньев или суставного угла (элемент динамической осанки)» [4. С. 79]. В рамках нашего исследования более пристальное внимание уделялось второму компоненту описания движений – динамической осанке.

Здесь же мы учитывали, что «... при описании техники гимнастического упражнения следует давать не только кинематическую характеристику программы позы, но и ее динамическую (силовую) трактовку: 1) указать, активно (за счет мышечных сил) или пассивно (за счет внешних сил) осуществляется удержание неизменным или изменение суставного угла; 2) в каком направлении – совпадающем с направлением изменения угла в суставе или противоположном – должны быть направлены усилия в анализируемом суставе» [4. С. 79].

Большое разнообразие физических упражнений не позволяет применить к их классификации лишь один критерий классификационных признаков. Так, например, в спортивной физиологии [10] отмечается, что стандартные, или стереотипные, движения характеризуются относительным постоянством и последовательностью двигательных действий, что закрепляется и проявляется в виде динамического двигательного стереотипа.

Классификация физических упражнений по признаку **биомеханической** структуры движения основана на критерии периодичности (ациклические стандартные движения и циклические стандартные движения) [11].

В стереотипных движениях закреплена определенная последовательность двигательных действий, которая регламентирует ограничения на возможную кинематику и динамику управляющих движений и пространственно-временные параметры техники спортивных упражнений. Требования достижения целевой установки в соревновательном упражнении диктуют необходимость стабилизации двигательного навыка, что вступает в диалектическое **противоречие** с необходимостью варьировать кинематические и динамические параметры упражнения в границах его безошибочного исполнения, обусловленного принципом постоянного совершенствования технического мастерства спортсмена и поиском более рациональных вариантов и совершенных способов выполнения.

Одной из основных проблем эффективного использования элементов динамической осанки в спортивных упражнениях является существенное влияние внешнего силового поля (гравитационное воздействие) на качество и даже на саму возможность решения задачи траекторного перемещения атлета с сохранением неизменной структуры конфигурационного пространства биосистемы. Одним из результатов, полученных в работах [4–9], можно считать констатацию необходимости стабилизации межзвевых параметров спортсмена в режимах, требующих поддержания динамической осанки в определенных фазах спортивного упражнения. Однако эти результаты имеют несколько ограниченный характер. В частности, к вопросам, требующим более углубленного изучения, относятся, например, некоторые аспекты биомеханики движений спортсмена с динамической осанкой в силовом потенциальном поле; сведения о необходимой мышечной активности для сохранения жесткого кинематического каркаса динамической осанки в условиях переменного характера действия момента силы тяжести; подготовительные и подводящие упражнения, используемые в тренировочном процессе для формирования элементов динамической осанки.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется недостаточным уровнем механико-математического освещения проблемы построения спортивных упражнений с элементами динамической осанки. В этой связи рассмотрим более подробно биомеханические аспекты динамической осанки и программный интерфейс компьютерных вычислений кинематических и динамических показателей ее проявления в спортивных упражнениях, применимый для расчетов в условиях тренировочного процесса.

Цель работы – определить и количественно оценить биомеханические факторы, обуславливающие силовой запрос к исполнителю спортивных упражнений с динамической осанкой.

Объект исследования в нашем эксперименте – спортивные упражнения с элементами динамической осанки – относится к четвертому типу движений классификационной схемы Ю.К. Гавердовского [7]: обороты на опоре. В вычислительном эксперименте рассматривалось гимнастическое упражнение «большой оборот назад на перекладине». Биомеханические требования к деталям техники упражнения сводились к сохранению конфигурации звеньев тела

спортсмена (расположение на одной прямой) в процессе перемещения модели на всей траектории движения, чем достигается реализация выполнения упражнения с сохранением динамической осанки. В исследуемом упражнении динамическая осанка поддерживается одновременно в плечевых и тазобедренных суставах.

На всем участке траекторного перемещения тела спортсмена фиксируется расположение рук, туловища и ног на одной прямой.

Амплитудные колебания изменения угла в суставах предельно минимизированы, и тело гимнаста вращается относительно грифа перекладины как единое целое.

В качестве модельного представления подобного движения можно принять математическую модель движения физического маятника.

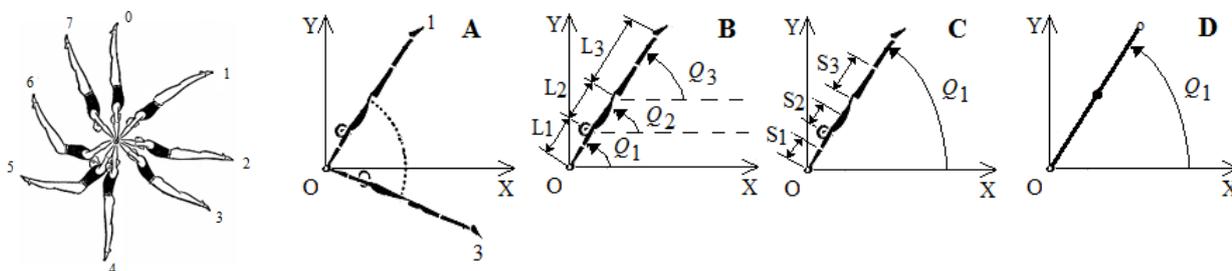


Рис. 1. Трехзвенная модель биомеханической системы в плоскостном движении

Используем физический маятник в качестве прототипа модели опорно-двигательного аппарата (ОДА) тела спортсмена, решающего конфигурационную задачу сохранения динамической осанки во всех суставах на сегментарном участке траекторного перемещения биосистемы. Положительное направление вращения физического маятника – движение против хода часовой стрелки. Отсчет обобщенной координаты выполняется от горизонтального положения модели в положительной области числовой оси Ox ДСК (рис. 1, А).

Введем обозначения для кинематических характеристик движения модели биомеханической системы и ее масс-инерционных характеристик (МИХ):

- i, j – буквенный индекс номера звена модели;
- N – количество звеньев модели;
- q_i, Q_i – обобщенная координата i -го звена;
- \dot{q}_i, \dot{Q}_i – обобщенная (угловая) скорость i -го звена;
- \ddot{q}_i, \ddot{Q}_i – обобщенное (угловое) ускорение i -го звена;
- L_i – длина i -го звена;
- S_i – расстояние от i -1-го сустава до центра масс i -го звена;
- m_i – масса i -го звена;
- P_i – вес i -го звена;
- J_i – центральный момент инерции i -го звена;
- S – расстояние от оси вращения (опора) до центра инерции физического маятника (спортсмена);
- m – масса физического маятника (спортсмена);
- J_c – центральный момент инерции физического маятника (спортсмена);
- J_o – момент инерции физического маятника (спортсмена) относительно неподвижной оси вращения O .

Методы исследования. В реализации цели исследования использовалась группа общенаучных и специальных методов: системный анализ, биомеханическое формирование модели опорно-двигательного аппарата тела человека, компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент.

Результаты исследования получены на материале компьютерного моделирования с использованием расчетной модели анализа вращательных движений биомеханической системы в условиях опоры.

Модель опорно-двигательного аппарата биомеханической системы. Кинематическую схему исследуемого упражнения можно представить в виде трехзвенной модели опорно-двигательного аппарата тела человека [12], в которой руки – первое звено, туловище и голова – второе, ноги – третье звено (рис. 1).

Система отсчета (см. рис. 1, А) – инерциальная. Ориентация физического маятника определяется значением угла φ , отсчитываемого от горизонтальной оси Ox ДСК. Так, например, в вертикальном положении физического маятника над опорой $\varphi = 90^\circ$; если маятник расположен в вертикальном положении под опорой, то $\varphi = 270^\circ$ (или $\varphi = -90^\circ$).

Отсчет, выполняемый против хода часовой стрелки, принимается за положительное направление. Центр инерции физического маятника находится на расстоянии S от оси вращения O , расположенной перпендикулярно плоскости рисунка (см. рис. 1), он является постоянным и не меняет своего значения в процессе вращательного движения маятника в плоскости Oxy .

Рассмотрим биомеханические параметры спортивных упражнений с элементами динамической осанки на модели физического маятника, совершающего вращательное движение в условиях жесткой опоры с ограничениями: момент силы трения опоры и внешние моменты сил равны нулю; учитывается только действие момента силы тяжести. Диссипативные силы ничтожно малы и не учитываются.

Силловые характеристики управления движением. Движения человека при выполнении спортивных упражнений являются целенаправленными, что существенным образом отличает их от естественных движений. Формирование целенаправленных движений осуществляется при помощи особых сил, называемых управляющими. С этой точки зрения человек – самоуправляемая система, которая использует мышечные силы для управления движением. Мышечные силы биосистемы – внутренние силы системы. В математической форме влияние мышечных

сил на поведение биосистемы записывается в форме управляющих моментов мышечных сил. Подчеркнем: в уравнениях движения человека силовая компонента управления движением записывается не в форме силы, а в виде момента силы, представленной в спортивной биомеханике как управляющие момен-

ты мышечных сил в суставах спортсмена, реализующие вращательную составляющую силы тяги мышц [13. С. 201].

Запишем для принятой трехзвенной модели ОДА спортсмена уравнения движения в компактной форме [13]:

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

Здесь приняты обозначения:

i – номер уравнения;

N – количество звеньев модели биосистемы;

A_{ij} – двумерный массив динамических характеристик звеньев модели;

Y_i – одномерный массив обобщенных сил;

M_i – управляющий момент мышечных сил в i -м суставе.

Развернутая запись динамических характеристик A_{ij} имеет вид

$$\begin{aligned} A_{11} &= J_1 + m_1 S_1^2 + L_1^2 (m_2 + m_3); \\ A_{12} &= L_1 (m_2 S_2 + m_3 L_2); \\ A_{13} &= m_3 S_3 L_1; \\ A_{22} &= J_2 + m_2 S_2^2 + m_3 L_2^2; \\ A_{23} &= m_3 S_3 L_2; \\ A_{33} &= J_3 + m_3 S_3^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь следует учесть, что $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$; если $i > j$, то $A_{ij} = A_{ji}$.

Смысл коэффициентов Y_i , содержащихся в левой части уравнений (1), заключается в том, что они яв-

ляются обобщенными силами в уравнениях Лагранжа и в развернутой записи имеют вид

$$\begin{aligned} Y_1 &= (P_1 S_1 + P_2 L_1 + P_3 L_1); \\ Y_2 &= (P_2 S_2 + P_3 L_2); \\ Y_3 &= (P_3 S_3). \end{aligned} \quad (3)$$

Управляющее воздействие мышечных сил на биомеханику движения спортсмена заключается во введении в правую часть уравнений (1) моментов мышечных сил в суставах (M_i), записываемых для i -го уравнения системы (1) в виде алгебраической суммы слагаемых $M_i - M_{i+1}$, где

$$M_{i+1} \neq 0, \text{ если } i < N \text{ и } M_{i+1} = 0, \text{ если } i = N. \quad (4)$$

В наших вычислительных экспериментах применялись значения масс-инерционных характеристик и коэффициенты звеньев тела гимнаста в уравнениях движения, приведенные в табл. 1 и полученные экспериментально-аналитическим способом [13] в соответствии с уравнениями (1)–(3).

Таблица 1

Параметры масс-инерционных и динамических характеристик звеньев тела гимнаста

Масс-инерционные характеристики звеньев тела гимнаста						
Номер звена	Длина, м	Координата центра масс, м	Масса, кг	Центральный момент инерции, кгм ²	Коэффициент обобщенной силы, Н·м	Коэффициенты общего центра масс, м
	L_i	S_i	m_i	J_i	Y_i	C_i
1	0,64	0,325	7,90	0,243	376,059	0,6010
2	0,48	0,130	32,08	0,587	153,060	0,2446
3	0,87	0,386	23,83	1,234	90,199	0,1439
			$m = \sum = 63,81$	$J_0 = 75,747$	$\sum = 619,318$	$\sum = S = 0,9895$
Коэффициенты звеньев тела гимнаста в уравнениях движения						
$A_{11} = 23,978$		$A_{12} = 9,990$		$A_{13} = 5,887$		
$A_{21} = 9,990$		$A_{22} = 6,620$		$A_{23} = 4,415$		
$A_{31} = 5,887$		$A_{32} = 4,415$		$A_{33} = 4,785$		

Уточним систему уравнений (1) при движении спортсмена с динамической осанкой и расположении звеньев тела на одной прямой.

Во-первых, если звенья тела спортсмена расположены на одной прямой, то межзвенный угол в i -м суставе равен 180° или π радиан, что соответствует значениям тригонометрических функций

$$\cos(\varphi_{i+1} - \varphi_i) = \cos(\pi) = 1, \quad \sin(\varphi_{i+1} - \varphi_i) = \sin(\pi) = 0. \quad (5)$$

В системе уравнений (1) обнуляется действие кориолисовой и центробежной сил инерции, так как тригонометрическое значение $\sin(\pi)$ равно нулю.

Во-вторых, параметры обобщенной (угловой) скорости всех трех звеньев тела спортсмена при движении с динамической осанкой в любой момент времени на произвольном траекторном положении вращательного движения гимнаста взаимно равны. Аналогичным образом взаимно равны и параметры обобщенного (углового) ускорения звеньев биосистемы, что позволяет записать:

$$\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_3, \quad \ddot{\varphi} = \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_3. \quad (6)$$

Учитывая (5), (6) и то обстоятельство, что для трехзвенной модели $M_4 = 0$, приведем запись вычислительных алгоритмов для расчета управляющих мо-

ментов мышечных сил в плечевых (M_2) и в тазобедренных (M_3) суставах, а также момента силы трения кистей рук гимнаста (M_1) о гриф перекладины:

$$\begin{aligned} M_3 &= (A_{31} + A_{32} + A_{33})\ddot{\varphi} + Y_3 \cos \varphi + M_4; \\ M_2 &= (A_{21} + A_{22} + A_{23})\ddot{\varphi} + Y_2 \cos \varphi + M_3; \quad \dots\dots(7) \\ M_1 &= (A_{11} + A_{12} + A_{13})\ddot{\varphi} + Y_1 \cos \varphi + M_2 = 0. \end{aligned}$$

Следовательно, имея данные о параметрах ориентации (φ) и углового ускорения ($\ddot{\varphi}$) биомеханической системы, движущейся как физический маятник, по уравнениям (8) можно вычислить управляющие моменты мышечных сил, требуемые для сохранения выпрямленного положения звеньев тела гимнаста во вращательном движении на перекладине.

Таким образом, имея данные о параметрах углового ускорения физического маятника, соответствующие его ориентации, можно оперативно вычислить требуемые значения управляющих моментов мышечных сил в плечевых и тазобедренных суставах спортсмена, необходимые для сохранения динамической осанки в выпрямленном положении тела (звенья тела гимнаста расположены на одной прямой).

Параметры углового ускорения физического маятника спортсмена с сохранением динамической осанки определяются из основного уравнения динамики физического маятника. Основное уравнение динамики вращательного движения физического маятника [14] запишем в виде

$$M = J_0 \ddot{\varphi}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что угловое ускорение физического маятника в произвольном положении в инерциальной системе координат определяется величиной момента силы тяжести (M) и моментом инерции маятника (J_0) относительно оси вращения (O)

$$\ddot{\varphi} = \frac{M}{J_0}. \quad (9)$$

Здесь $M = -mgS \cos(\varphi)$ – момент силы тяжести (знак момента M отрицателен, так как он направлен противоположно отсчету координаты φ); m – масса тела спортсмена (см. табл. 1); g – ускорение свободного падения; S – расстояние от грифа перекладины до общего центра масс биомеханической системы (равняется сумме коэффициентов C_i , см. табл. 1). Коэффициенты C_i и S определяются из формульных зависимостей:

$$C_i = \frac{Y_i}{mg}, \quad S = \sum_{i=1}^N C_i. \quad (10)$$

Численное определение J_0 , с использованием коэффициентов A_{ij} для биомеханической системы, представлено в [13]; в соответствии с этим

$$J_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}. \quad (11)$$

Центральный момент инерции физического маятника J_C определяется соотношением, следующим из теоремы Штейнера [15]:

$$J_C = J_0 - mS^2. \quad (12)$$

Здесь: m – масса маятника, S – расстояние от центра инерции до оси вращения (гриф перекладины). Параметры остальных характеристик находятся из уравнений (1)–(12).

Коэффициенты Y_i , C_i , A_{ij} остаются постоянными на всей траектории движения гимнаста с динамической осанкой. Следует также отметить, что коэффициенты остаются постоянными и при изменении конфигурации биосистемы. Поэтому для одной модели ОДА спортсмена их достаточно вычислить один раз.

Компьютерное обеспечение расчета силовых показателей спортивных упражнений с динамической осанкой разработано на базе табличного процессора MS EXCEL. Владение электронной таблицей закладывается программой школьного курса обучения и поэтому не должно создать особых трудностей для набора и освоения компьютерной программы.

Внешний вид окна программы показан на рис. 2. Запишем уравнения (1)–(12) в виде табличной инструкции, заполняя необходимые клетки (табл. 2).

Результатом выполненных операций набора кода программы является таблица вычисленных значений коэффициентов в уравнениях движения (A_{ij} , Y_i) и ОЦМ тела спортсмена (C_i). Вводом в ячейку таблицы (С27) значения ориентации биомеханической системы в градусах (рис. 3) получаем расчетные значения углового ускорения биомеханической системы (ячейка С30), момента мышечных сил в плечевых (ячейка D30) и тазобедренных (ячейка E30) суставах, а также разгоняющего (+) или тормозящего (-) действия момента силы тяжести (ячейка F30), необходимых для фиксации позы спортсмена в заданном положении. Действие момента силы тяжести будет разгоняющим, увеличивающим модуль угловой скорости звеньев тела, если направление момента силы тяжести совпадает с направлением вращения тела гимнаста. И наоборот, если направление момента силы тяжести не совпадает с направлением вращения тела спортсмена, то сила тяжести оказывает тормозящее воздействие на вращательное движение, уменьшая угловую скорость звеньев биомеханической системы. Поэтому в зависимости от месторасположения тела гимнаста в системе координат точки опоры (гриф перекладины) действие момента силы тяжести будет различным в различных элементах упражнения.

Для гимнаста, у которого масс-инерционные характеристики звеньев тела соответствовали показателям, приведенным в табл. 1, были рассчитаны управляющие моменты мышечных сил в плечевых и тазобедренных суставах (см. рис. 3, Б) при перемещении в большом обороте назад на перекладине с сохранением динамической осанки (см. рис. 3, А).

В результате выполненного исследования выявлено, что движение с фиксацией позы в суставах спортсмен осуществляет не в пассивном мышечном напряжении; он активизирует, и довольно значительно, мышечную систему, поддерживая динамическую осанку в соревновательном упражнении. Величина и направленность мышечных усилий в различных сегментах траекторного перемещения определяются местоположением спортсмена относительно опоры.

	A	B	C	D	E	F
7	Исходные данные					
8	Масс-инерционные характеристики звеньев тела спортсмена					
9	Номер звена	Длина, м	Координата центра масс, м	Масса, кг	Вес, Н	Центральный момент инерции, кгм ²
10	№	L_i	S_i	m_i	P_i	J_i
11	1	0.64	0.325	7.9	77.4674	0.243
12	2	0.48	0.13	32.08	314.57648	0.587
13	3	0.87	0.386	23.83	233.67698	1.234
14				63.81	625.72086	
15						
16	Расчетные параметры коэффициентов					
17	Коэффициенты $A_{ij} \downarrow$				Коэффициент обобщенной силы, Н·м \downarrow	Коэффициенты общего центра масс, м \downarrow
18	A11=23.978	A12=9.99	A13=5.887		Y1=376.059	C1=0.601
19	A21=9.99	A22=6.62	A23=4.415		Y2=153.06	C2=0.245
20	A31=5.887	A32=4.415	A33=4.785		Y3=90.199	C3=0.144
21						
22	Расчетные биомеханические характеристики					
23		$J_0 = \downarrow$	$J_c = \downarrow$	$C_0 = \downarrow$	$M = \downarrow$	
24		75.967	12.158	0.99	619.464	
25						
26	Введите:		Угол, град			
27	Начальный угол \rightarrow		450			
28						
29	Результат вычислений		Угловое ускорение, рад/с ²	M_2 , Нм	M_3 , Нм	Момент силы тяжести, Нм
30	Динамическая осанка		0	0	0	0

Рис. 2. Вид окна программы «Динамическая осанка»

Таблица 2

Экспликация к программе «Динамическая осанка»

Адрес клетки	Содержание	Тип
A7 – F7	Соответствующая надпись	Текст
A8 – F8	Соответствующая надпись	Текст
A9 – F9	Соответствующие надписи	Текст
A10 – F10	Соответствующие надписи	Текст
A11	Номер первого звена	Число
B11	Длина первого звена	Число
C11	Координата центра масс первого звена	Число
D11	Масса первого звена	Число
E11	=D11*9.806	Формула
F11	Центральный момент инерции первого звена	Число
A12	Номер второго звена	Число
B12	Длина второго звена	Число
C12	Координата центра масс второго звена	Число
D12	Масса второго звена	Число
E12	=D12*9.806	Формула
F12	Центральный момент инерции второго звена	Число
A13	Номер третьего звена	Число
B13	Длина третьего звена	Число
C13	Координата центра масс третьего звена	Число
D13	Масса третьего звена	Число
E13	=D13*9.806	Формула
F13	Центральный момент инерции третьего звена	Число
D14	=СУММ(D11:D13)	Формула
E14	=СУММ(E11:E13)	Формула
A16	Соответствующая надпись	Текст
A17 – C17	Соответствующая надпись	Текст
E17 – F17	Соответствующие надписи	Текст
A18	= "A11=" & ОКРУГЛ(F11+D11*C11^2+B11^2*(D12+D13);3)	Формула

B18	= "A12=" & ОКРУГЛ(В11*(D12*C12+D13*B12);3)	Формула
C18	= "A13=" & ОКРУГЛ(D13*C13*B11;3)	Формула
E18	= "Y1=" & ОКРУГЛ(E11*C11+E12*B11+E13*B11;3)	Формула
F18	= "C1=" & ОКРУГЛ(ПРАВСИМВ(E18;(ДЛСТР(E18) - 3)) / \$E\$14;3)	Формула
A19	= "A21=" & ПРАВСИМВ(B18;(ДЛСТР(B18) - 4))	Формула
B19	= "A22=" & ОКРУГЛ(F12+D12*C12^2+D13*B12^2;3)	Формула
C19	= "A23=" & ОКРУГЛ(D13*C13*B12;3)	Формула
E19	= "Y2=" & ОКРУГЛ(E12*C12+E13*B12;3)	Формула
F19	= "C2=" & ОКРУГЛ(ПРАВСИМВ(E19;(ДЛСТР(E19) - 3)) / \$E\$14;3)	Формула
A20	= "A31=" & ПРАВСИМВ(C18;(ДЛСТР(C18) - 4))	Формула
B20	= "A32=" & ПРАВСИМВ(C19;(ДЛСТР(C19) - 4))	Формула
C20	= "A33=" & ОКРУГЛ(F13+D13*C13^2;3)	Формула
E20	= "Y3=" & ОКРУГЛ(E13*C13;3)	Формула
F20	= "C3=" & ОКРУГЛ(ПРАВСИМВ(E20;(ДЛСТР(E20) - 3)) / \$E\$14;3)	Формула
B22 – E22	Соответствующая надпись	Текст
B22 – E22	Соответствующие надписи	Текст
B24	=ОКРУГЛ(ПРАВСИМВ(A18;(ДЛСТР(A18) - 4))+ПРАВСИМВ(A19;(ДЛСТР(A19) - 4)) + ПРАВСИМВ(A20;(ДЛСТР(A20) - 4))+ПРАВСИМВ(B18;(ДЛСТР(B18) - 4)) + ПРАВСИМВ(B19;(ДЛСТР(B19) - 4)) + ПРАВСИМВ(B20;(ДЛСТР(B20) - 4)) + ПРАВСИМВ(C18;(ДЛСТР(C18) - 4)) + ПРАВСИМВ(C19;(ДЛСТР(C19) - 4)) + ПРАВСИМВ(C20;(ДЛСТР(C20) - 4));3)	Формула
C24	=ОКРУГЛ(В24-D14+В24*(ПРАВСИМВ(F18;(ДЛСТР(F18) - 3)) / E14 + ПРАВСИМВ(F18;(ДЛСТР(F18) - 3)) / E14+ПРАВСИМВ(F18;(ДЛСТР(F18) - 3)) / E14)^2;3)	Формула
D24	=ОКРУГЛ(ПРАВСИМВ(E18;(ДЛСТР(E18) - 3)) / \$E\$14 + ПРАВСИМВ(E19;(ДЛСТР(E19) - 3)) / \$E\$14 + ПРАВСИМВ(E20;(ДЛСТР(E20) - 3)) / \$E\$14;3)	Формула
E24	=ОКРУГЛ(E14*D24;3)	Формула
A26 – B26	Соответствующая надпись	Текст
C26	Соответствующая надпись	Текст
A27 – B27	Соответствующая надпись	Текст
C27	Угол наклона физического маятника к оси Oх (ориентация гимнаста)	Число
A29 – B30	Соответствующая надпись	Текст
C29 – F29	Соответствующие надписи	Текст
C30	=ОКРУГЛ(-E24*COS(РАДИАНЫ(C27)) / B24;3)	Формула
D30	=ОКРУГЛ((ПРАВСИМВ(A19;(ДЛСТР(A19) - 4)) + ПРАВСИМВ(B19;(ДЛСТР(B19) - 4)) + ПРАВСИМВ(C19;(ДЛСТР(C19) - 4))) * C30 + M4*COS(РАДИАНЫ(C27)) + E30;3)	Формула
E30	=ОКРУГЛ((ПРАВСИМВ(A20;(ДЛСТР(A20) - 4)) + ПРАВСИМВ(B20;(ДЛСТР(B20) - 4)) + ПРАВСИМВ(C20;(ДЛСТР(C20) - 4))) * C30 + M5*COS(РАДИАНЫ(C27));3)	Формула
F30	=ОКРУГЛ(-E14*COS(РАДИАНЫ(C27));3)	Формула

Так, например, выявлено, что существенно больший мышечный ресурс для выполнения соревновательного упражнения «большой оборот назад на перекладине» с динамической осанкой «выпрямленное положение» гимнасту необходим в плечевых суставах. В тазобедренных суставах для фиксации звеньев тела с сохранением динамической осанки требуются меньшие мышечные усилия.

Наименьшие мышечные напряжения необходимы в зоне прохождения вертикального положения гимнаста над грифом перекладины и под опорой. Непосред-

ственно в момент прохождения вертикального положения над опорой и под грифом перекладины управляющие моменты мышечных сил в суставах спортсмена равняются нулевым значениям.

Максимальные мышечные напряжения спортсмен развивает в момент горизонтального прохождения звеньями тела грифа перекладины. Так, например, мышечные усилия в плечевых суставах в момент горизонтальных положений гимнаста составляют 51,2 Нм и -51,2 Нм; в тазобедренных суставах – соответственно 32,8 Нм и -32,8 Нм.

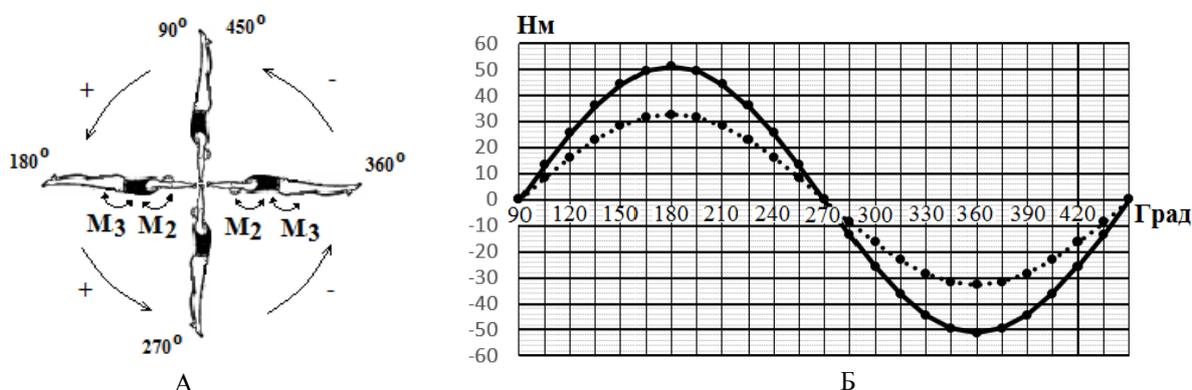


Рис. 3. Управляющие моменты мышечных сил в плечевых (—●—) и тазобедренных (•••) суставах гимнаста при выполнении упражнения «большой оборот назад на перекладине» с сохранением динамической осанки

Большое значение для оценки направленности мышечных усилий имеет направление вращательного

движения звеньев тела и положение спортсмена относительно грифа перекладины. Например, при выполне-

нии спада из вертикального положения над опорой ($\varphi = 90^\circ$) в большом обороте назад на перекладине гимнаст вращается в положительном направлении (против хода часовой стрелки) грудью вниз; для сохранения выпрямленного положения тела он должен развивать мышечные усилия, направленные на сгибательное движение в плечевых и тазобедренных суставах (уменьшение угла между звеньями тела). В момент прохождения горизонтального положения ($\varphi = 180^\circ$) величина мышечных усилий наибольшая: 51,2 Нм – в плечевых суставах, 32,8 Нм – в тазобедренных. Положительный момент силы тяги мышц, направленный на сгибание в суставах и изменяющийся от 0 Нм до максимальных значений (порядка 51,2 Нм), обеспечивает динамически устойчивое сохранение выпрямленного положения тела в этой части упражнения.

Дальнейшее продвижение тела спортсмена к вертикальному положению под грифом перекладины осуществляется с уменьшением силы тяги мышц в суставах, что обусловлено требованием сохранения динамической осанки. Активными остаются мышцы передней поверхности тела (сгибатели рук в плечевых суставах и ног – в тазобедренных), инициирующие уменьшение угла в суставах.

После прохождения вертикального положения под грифом перекладины изменяется действие момента силы тяжести. Сила тяжести начинает оказывать не разгоняющее воздействие на тело гимнаста, а тормозящее.

Меняется и роль мышечной синергии в фиксации динамической осанки. Для сохранения позы включаются в работу мышцы-разгибатели плеч и тазобедренного сустава. К моменту прохождения горизонтального положения величина управляющего момента мышечных сил в суставах спортсмена достигает максимальных величин (по модулю), а по направленности – меняет знак с положительного значения, что имело место в первой половине оборота, на отрицательное. В этой зоне движения активизируются мышцы задней поверхности тела: величина мышечных усилий в тазобедренных суставах достигает $-32,8$ Нм, а в плечевых $-51,2$ Нм. Отрицательная величина управляющих моментов мышечных сил указывает на разгибательный характер режима работы мышц, противодействующий инерционным силам движения и обеспечивающий необходимую фиксацию суставных углов биомеханической системы.

По мере продвижения к вертикальному положению над опорой активность мышечного напряжения в плечевых и тазобедренных суставах снижается; к моменту достижения вертикального положения над грифом перекладины она составляет около 0 Нм.

Методика обучения динамической осанке в гимнастических упражнениях строится на принципе линейной последовательности (рис 4). Выполняются вначале подготовительные упражнения, затем подводящие. И завершается обучение совершенствованием навыка динамической осанки в различных усложненных условиях.

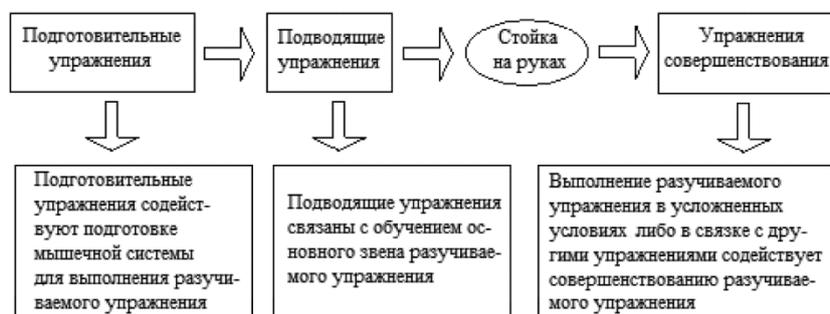


Рис. 4. Программированное обучение динамической осанке в гимнастических упражнениях

Упражнения для формирования динамической осанки в большом обороте назад на перекладине были разработаны на основе выполненного биомеханического

анализа силового компонента фиксации угла в плечевых и тазобедренных суставах гимнаста (рис. 5). Все упражнения применяются в тренировках гимнастов.

Подводящие и подготовительные упражнения		Методические указания
1		Стоя, наклонившись вперед, взяться руками за гриф штанги. Поднимаем штангу, за счет тяги спиной, руки прямые, ноги прямые, спина прогнута. Типичная ошибка, тяга руками, а не спиной. Выполняем 3 подхода, по 5–6 раз за подход. Упражнение направлено на укрепление мышц поясницы.
2		Стоя, наклонившись вперед, взяться руками за гриф штанги. Тяга выполняется спиной, в преодолевающем режиме. Руки прямые, ноги прямые, в исходное положение приходим в уступающем режиме. Умеренный темп выполнения упражнения (3п по 5–6 раз). Упражнение предназначено для укрепления мышц поясницы

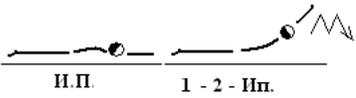
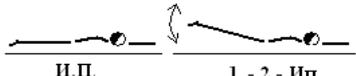
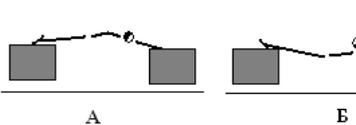
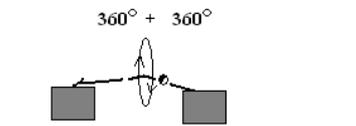
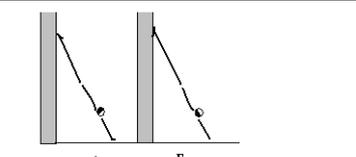
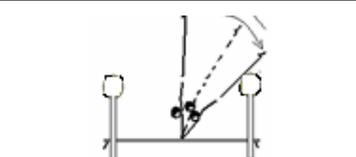
3		И.П. – Лежа на животе, руки вверх, голова между рук, взгляд направлен на кисти. На счёт 1 – подъём плечевого пояса, положение рук и головы такое же, как в И.П. Подъём выполняется на оптимальную высоту, темп умеренный, 3п × 10 раз. Упражнение предназначено для укрепления мышц поясницы
4		И.П. – Лежа на животе, руки вверх, голова между рук, взгляд направлен на кисти. На счёт 1 – подъём прямых ног назад, амплитуда подъёма не большая, темп умеренный. 3п × 10 раз. Упражнение предназначено для укрепления мышц поясницы
5		И.П. – лёжа на боку, левая рука вверх, правая вперёд. 1–2 – подъём прямых ног, амплитуда подъёма небольшая, темп умеренный. 3п × 10 раз. Упражнение предназначено для укрепления косых мышц брюшного пресса и поясницы
6		Упражнение А, Б, предназначено для укрепления мышц поясницы и брюшного пресса. Положение А – держать 3 × 10 с, Положение Б – держать 3 × 10 с
7		Поворот выполнить вправо и влево на 360°. На всё дается 3 подхода. Упражнение предназначено для укрепления мышц брюшного пресса и поясницы в динамическом режиме
8		Упражнение А, Б предназначено для укрепления мышц брюшного пресса и поясницы в статическом режиме. Положение А держать 3 × 10 – 15 с, Положение Б держать 3 × 10 – 15 с
9		Особое внимание – на положение туловища (прямое). Угол в тазобедренных суставах 180°
10		На средней (низкой) перекладине из стойки на руках падение в вис на горку матов с прямым телом. Это упражнение для начальной фазы больших оборотов назад на перекладине (на брусьях параллельных), углы в плечевых и тазобедренных суставах сохранять. Руки – туловище – ноги – прямая линия

Рис. 5. Подготовительные и подводящие упражнения для обучения динамической осанке в большом обороте назад на перекладине

Выводы

1. Авторы уточнили понятие «динамическая осанка», используемое в спортивной педагогике.

2. На основе модельного представления движения опорно-двигательного аппарата тела спортсмена в виде физического маятника в вычислительном эксперименте были получены параметры управляющих моментов мышечных усилий в суставах при выполнении большого оборота назад на перекладине с соблюдением динамической осанки.

3. Разработана оригинальная методика компьютерного моделирования уровня силовой подготовленности гимнаста при освоении динамической осанки в процессе выполнения упражнения «большой оборот

назад на перекладине» на базе вычислительной среды MS Excel.

4. На основе биомеханического анализа силового компонента фиксации угла в плечевых и тазобедренных суставах гимнаста при выполнении упражнения «большой оборот назад на перекладине» разработана методика формирования динамической осанки.

5. Методика расчета управляющих моментов мышечных сил в суставах спортсмена при выполнении соревновательных упражнений с элементами динамической осанки внедрена в практику учебных занятий по биомеханике в Могилевском государственном университете имени А.А. Кулешова и Национальном исследовательском Томском государственном университете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конфигурационное пространство. URL: <http://poivs.tsput.ru/Math/Analysis/CalculusOfVariations/ConfigurationSpace>
2. Энгель Е.А. Метод интеллектуальных вычислений для управления конфигурацией манипуляционного робота // Вестник СВФУ. 2015. № 3 (47). С. 127–137.
3. Рутковский В.Ю., Суханов В.М., Глузов В.М. Уравнения движения и управление свободнолетающим космическим манипуляционным роботом в режиме реконфигурации // Автоматика и телемеханика. 2010. Вып. 1. С. 80–98.
4. Евсеев С.П. Формирование двигательных действий в гимнастике с помощью тренажеров : учеб. пособие. Л. : Изд-во ГДОИК им. П.Ф. Лесгафта, 1987. 91 с.
5. Назаров В.Т. Упражнения на перекладине (Некоторые вопросы механики, техники выполнения, методики обучения). М. : Физкультура и спорт, 1973. 136 с.
6. Гавердовский Ю.К. Техника гимнастических упражнений: учеб. пособие. М. : Терра-Спорт, 2002. 512 с.
7. Гавердовский Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика. М. : Физкультура и Спорт, 2007. 912 с.
8. Киселев В.Г. Исследование биомеханики управляющих движений спортсмена в упражнениях на гимнастических снарядах в связи с оптимизацией процесса обучения : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Тарту, 1973. 27 с.
9. Сучилин Н.Г. Гимнаст в воздухе. М. : Физкультура и спорт, 1978. 119 с.
10. Физиологическая характеристика стандартных циклических и ациклических движений. URL: <https://bio.wikireading.ru/hBuIP7DcCn>
11. Адашевский В.М. Теоретические основы механики биосистем: учебное пособие для студентов технических университетов специальностей физического воспитания, спорта и рекреации, физической и биомедицинской электроники, биотехнических, медицинских аппаратов и систем / под общ. ред. Д.М. Морачковского. Харьков : НТУ «ХПИ», 2001. 258 с.
12. Загrevский О.И., Загrevский В.И. Техника сложных гимнастических упражнений на брусьях // Вестник Томского государственного университета. 2018. № 437. С. 182–187.
13. Загrevский В.И., Загrevский О.И. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие. Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2018. 262 с.
14. Маликов Р.Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов : учеб. пособие. Уфа : Изд-во БашГПУ, 2005. 291 с.
15. Стрелков С.П. Механика. М. : Наука, 1976. 560 с.

Статья представлена научной редакцией «Педагогика» 9 сентября 2021 г.

Biomechanics of Dynamic Posture in Sports Exercises and Methods of Its Formation

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal, 2021, 471, 178–188.

DOI: 10.17223/15617793/471/21

Valery I. Zagrevskiy, Mogilev State A. Kuleshov University (Mogilev, Republic of Belarus); Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: zvi@tut.by

Oleg I. Zagrevskiy, University of Tyumen (Tyumen, Russian Federation); Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: O.Zagrevsky@yandex.ru

Tatyana V. Galaichuk, Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: galaichuk2009@yandex.ru

Keywords: gymnastic exercises; biomechanics of motor actions; dynamic posture; athlete's strength potential.

The article aims to identify and quantify the biomechanical factors that determine the power demand for performers of sports exercises with dynamic posture. Analysis, as a method of biomechanics, allows assessing the dynamics of the biomechanical state of an athlete performing a sports exercise. The function of the biomechanics method is the synthesis of movements – the ability to predict the trajectory and behavior of the biomechanical system over time under given initial conditions of movement. The article considers one of the methods of the biomechanical synthesis of movements in the conditions of support with dynamic posture, based on a model representation of the movement of a biomechanical system in the form of a physical pendulum, which is determined by the need to record articular angles at a certain time interval of the biosystem's movement. The angular acceleration of an object of motion is determined from the dynamic law of motion of the physical pendulum, and, taking into account the mass-inertial characteristics of the biomechanical system, equations are formed to determine the parameters of the control moments of muscle forces in the athlete's joints that ensure the fixation of the athlete's posture. Consideration of the method is based on the mathematical apparatus of describing the movement of a gymnast in a large turn back on the crossbar with the preservation of dynamic posture. The method allows giving a numerical estimate of the parameters of the control moments of muscle forces in the joints of an athlete with reference to an arbitrary orientation of the biosystem on a plane, which eliminates the need to use time indicators of movement in calculation algorithms. In a computational experiment on a computer, the parameters of the control moments of muscle forces in the joints of an athlete in a large reverse rotation on a crossbar with dynamic posture were obtained on the basis of a model representation of the movement of the musculoskeletal system of the athlete's body in the form of a physical pendulum. A mathematical model for estimating the parameters of the control moments of muscle forces in the joints of an athlete for a three-link biomechanical system with specified mass-inertia characteristics of the model links is implemented in a computer program based on the MS Excel spreadsheet processor. The output provides numerical support for the simulation results. Based on the performed biomechanical analysis of the power component of recording the angle in the shoulder and hip joints of a gymnast in a large turn back on the crossbar, a method for forming the motor skill of dynamic posture in gymnastic exercises is developed. An example of a methodological sequence of drawing up a linear scheme for mastering dynamic posture by the method of programmed learning is given. It is shown that the developed computer model of the method for evaluating the control moments of muscle forces in the joints of an athlete implements the forecast of an individual power request required for an effective development of the technique of a competitive exercise with dynamic posture.

REFERENCES

1. POVIS. (n.d.) *Konfiguratsionnoe prostranstvo* [Configuration space]. [Online] Available from: <http://poivs.tsput.ru/Math/Analysis/CalculusOfVariations/ConfigurationSpace>
2. Engel', E.A. (2015) Metod intellektual'nykh vychisleniy dlya upravleniya konfiguratsiyey manipulyatsionnogo robota [The method of intelligent computing for managing the configuration of a manipulation robot]. *Vestnik SVFU*. 3 (47). pp. 127–137.

3. Rutkovskiy, V.Yu., Sukhanov, V.M. & Glumov, V.M. (2010) Uravneniya dvizheniya i upravlenie svobodnoletayushchim kosmicheskim manipulyatsionnym robotom v rezhime rekonfiguratsii [Equations of motion and control of a free-flying space handling robot in the reconfiguration mode]. *Avtomatika i telemekhanika*. 1. pp. 80–98.
4. Evseev, S.P. (1987) *Formirovanie dvigatel'nykh deystviy v gimnastike s pomoshch'yu trenazherov: ucheb. posobie* [Formation of motor actions in gymnastics with the help of simulators: textbook]. Leningrad: Izd-vo GDOIK im. P.F. Lesgafta.
5. Nazarov, V.T. (1973) *Uprazhneniya na perekladine (Nekotorye voprosy mekhaniki, tekhniki vypolneniya, metodiki obucheniya)* [Exercises on the crossbar (Some issues of mechanics, execution techniques, teaching methods)]. Moscow: Fizkul'tura i sport.
6. Gaverdovskiy, Yu.K. (2002) *Tekhnika gimnasticheskikh uprazhneniy: ucheb. posobie* [Technique of gymnastic exercises: textbook]. Moscow: Terra-Sport.
7. Gaverdovskiy, Yu.K. (2007) *Obuchenie sportivnym uprazhneniyam. Biomekhanika. Metodologiya. Didaktika* [Training in sports exercises. Biomechanics. Methodology. Didactics]. Moscow: Fizkul'tura i Sport.
8. Kiselev, V.G. (1973) *Issledovanie biomekhaniki upravlyayushchikh dvizheniy sportsmena v uprazhneniyakh na gimnasticheskikh snaryadakh v svyazi s optimizatsiey protsessa obucheniya* [Study of the biomechanics of the athlete's control movements in exercises on gymnastic apparatus in connection with the optimization of the learning process]. Abstract of Pedagogy Cand. Diss. Tartu.
9. Suchilin, N.G. (1978) *Gimnast v vozdukh* [Gymnast in the air]. Moscow: Fizkul'tura i sport.
10. Solodkov, A.S. (2012) *Fiziologicheskaya kharakteristika standartnykh tsiklicheskh i atsiklicheskh dvizheniy* [Physiological characteristics of standard cyclic and acyclic movements]. [Online] Available from: <https://bio.wikireading.ru/hBuIP7DcCn>
11. Adashevskiy, V.M. (2001) *Teoreticheskie osnovy mekhaniki biosistem* [Theoretical foundations of the mechanics of biosystems]. Kharkov: NTU "KhPI".
12. Zagrevskiy, O.I. & Zagrevskiy, V.I. (2018) The Technique of Advanced Routine on Parallel Bars. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 437. pp. 182–187. (In Russian). DOI: 10.17223/15617793/437/26
13. Zagrevskiy, V.I. & Zagrevskiy, O.I. (2018) *Biomekhanika fizicheskikh uprazhneniy: ucheb. posobie* [Biomechanics of physical exercises: textbook]. Tomsk: Tomsk State University.
14. Malikov, R.F. (2005) *Praktikum po komp'yuternomu modelirovaniyu fizicheskikh yavleniy i ob'ektov: ucheb. posobie* [Workbook on computer modeling of physical phenomena and objects: textbook]. Ufa: Bashkir State Pedagogical University.
15. Strelkov, S.P. (1976) *Mekhanika* [Mechanics]. Moscow: Nauka.

Received: 09 September 2021