

В.И. Загrevский

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОРТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ РОБОТОТЕХНИКИ

Существующий разрыв между практическими достижениями в области технической подготовки спортсмена и его теоретическим обоснованием, когда практика спортивных достижений шагает впереди теоретического обоснования необходимой и рациональной структуры двигательного действия [1, 2] – результат недостаточной разработанности и использования механико-математического аппарата исследований в области биомеханики физических упражнений.

Теория моторного компонента двигательных действий отстает от достижений в практике спорта и во многих случаях не способна предвосхитить результат двигательной активности спортсмена. Объясняется это многими причинами, и в первую очередь высочайшей сложностью исследуемой проблемы. Легче выполнить прыжок в длину на заданное расстояние, чем рассчитать требуемые мышечные усилия, необходимые для выполнения этого прыжка. Теоретической платформой расчета являются, например, уравнения Лагранжа второго рода [1], однако их содержательное насыщение должно учитывать множество условий, которые трудно поддаются формализованному представлению, например алгоритмизация программного управления или набор условий выполнения двигательного действия, в качестве которых может выступать, в частности, критерий эффективности выполнения двигательного действия и т.д.

В наших исследованиях рассматривался один из вариантов совершенствования технической подготовки спортсменов, опирающийся на методику решения прямой и обратной задачи робототехники, когда программное движение избранной точки (целевой точки) биомеханической системы задается аналитическим или табличным методом.

Рассмотрим более подробно механико-математический аппарат рассматриваемого метода описания движений спортсмена в условиях опоры, базирующийся на решении прямой и обратной задач робототехники. Содержательное и математическое представление двигательного действия можно свести к определенным описательным и формализованным процедурам.

Кинематическая схема модели опорно-двигательного аппарата тела спортсмена. Рассмотрим многозвенную неразветвленную модель опорно-двигательного аппарата тела спортсмена в условиях опоры на примере выполнения гимнастического упражнения «Большой оборот назад на перекладине» (рис. 1).

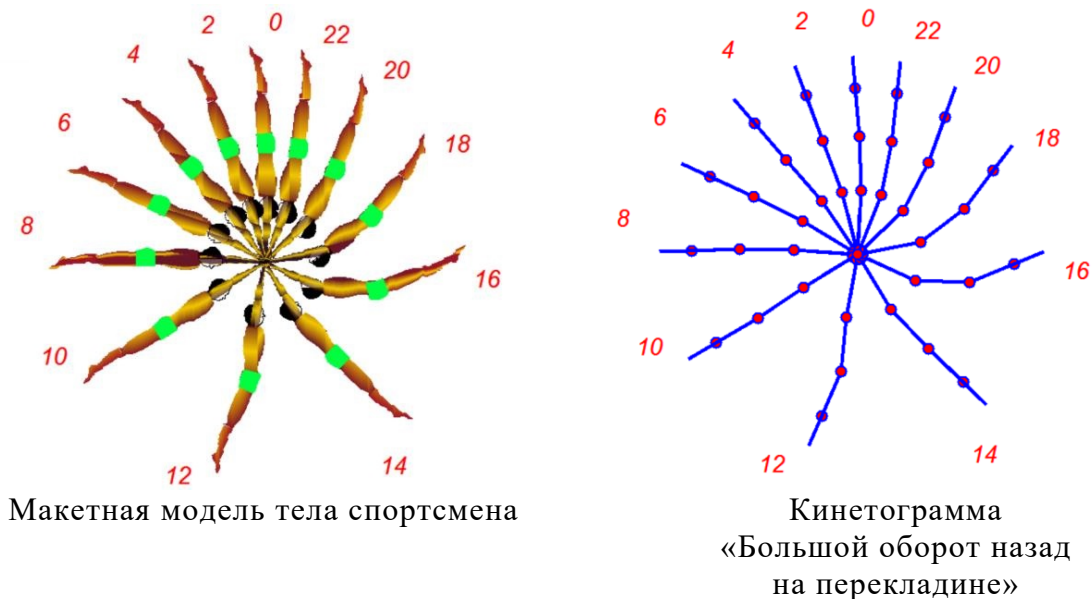


Рис. 1. Макетная и палочкообразная модели тела гимнаста

Обозначения. Принятые в модели обозначения опорно-двигательного аппарата тела спортсмена представлены рисунком 2.

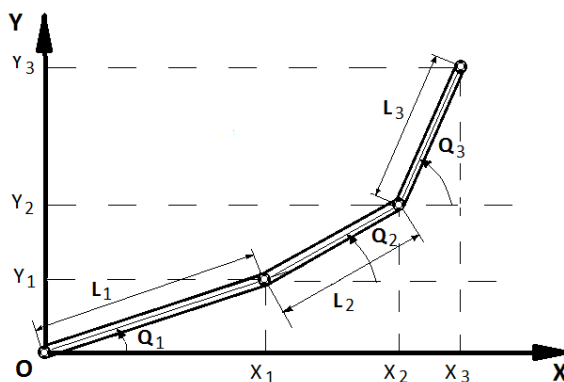


Рис. 2. Стержневая модель тела гимнаста

Введем следующие обозначения, используемые нами в компьютерной программе проекта:

- Dim N As Integer = 2 ' – количество звеньев модели;
- Dim LL As Integer = 5 ' – количество точек траектории;
- Dim L(N) ' – длина звена;
- Dim Q(LL, N + 1) As Double ' – обобщенные координаты;
- Dim Q1(LL, N) As Double ' – обобщенные скорости;
- Dim Q2(LL, N) As Double ' – обобщенные ускорения;
- Dim sust(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);
- Dim sust1(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);
- Dim sust2(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);
- Dim Csust(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);

Dim Csust1(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);
 Dim Csust2(LL, N) As PointF ' – координаты шарниров (суставов);
 Dim StartSust(N), FinishSust(N) As PointF ' – линейные координаты шарниров в начальный и конечный момент времени (старт и финиш);
 Dim StartSust1(N), FinishSust1(N) As Point ' – линейная скорость шарниров в начальный и конечный момент времени (старт и финиш);
 Dim StartSust2(N), FinishSust2(N) As Point ' – линейное ускорение стартовой и финишной точки.

Расчетная модель прямой задачи робототехники в биомеханике физических упражнений. Так как в содержании прямой задачи робототехники содержится указание о вычислении координат суставов ($X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3$) по известным значениям длин звеньев модели (L_1, L_2, L_3) и обобщенным координатам звеньев модели (Q_1, Q_2, Q_3), то их формульная зависимость следует непосредственно из рисунков 1, 2. Запишем эту зависимость в развернутом виде:

$$\begin{aligned} X_1 &= L_1 \cos Q_1, & Y_1 &= L_1 \sin Q_1; \\ X_2 &= X_1 + L_2 \cos Q_2, & Y_2 &= Y_1 + L_2 \sin Q_2; \\ X_3 &= X_2 + L_3 \cos Q_3, & Y_3 &= Y_2 + L_3 \sin Q_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Компонентные данные о массиве Q_i для каждой временной точки дискретизации модели можно оформить в компьютерной записи в виде двумерного массива $Q(i, j)$. Здесь: i – номер временной точки дискретизации модели ($i=0, 1, \dots, LL$), j – номер звена модели ($j=1, 2, \dots, N$); LL – количество интервалов (кадров упражнения) дискретизации модели, N – количество звеньев модели.

В компьютерной реализации по данным промера упражнения вычисляются обобщенные координаты $Q(i, j)$ звеньев тела спортсмена в виде $Q(i, j)=\text{atan2}(y, x)$. Здесь значения y, x последовательно находятся для каждого звена из уравнений

$$Y = Y_{i+1} - Y_i, \quad X = X_{i+1} - X_i, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Запись дана для отдельного видеокadra упражнения.

Прямая задача робототехники в биомеханике физических упражнений решается по уравнениям (1, 2). Здесь следует отметить, что данный алгоритм определения координат суставов применяется в вычислительных операциях, ориентированных как на анализ, так и синтез движений биомеханических систем.

Расчетная модель обратной задачи робототехники в биомеханике физических упражнений. Обратная задача робототехники в анализе и синтезе движений биомеханических систем решается не так часто, как

прямая задача. Суть содержания обратной задачи в биомеханике двигательных действий сводится к тому, что по заданным координатам целевой точки требуется определить обобщенные координаты биомеханической системы, позволяющие сопоставить целевую точку с заданными координатами. В качестве целевой точки обычно используется дистальный сустав биомеханической системы. В разработанной нами компьютерной программе решение обратной задачи робототехники в биомеханике физических упражнений базируется на формульном выражении определения углов в треугольнике по известным данным длин сторон треугольника (рис. 3).

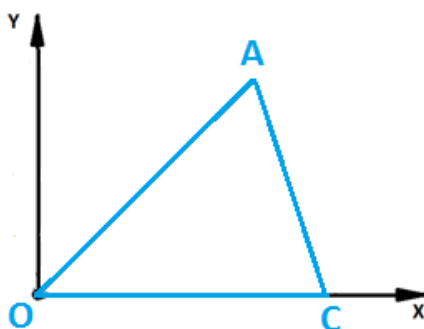


Рис. 3. Схема представления обратной задачи робототехники для двухзвенной модели биомеханической системы на основе треугольника

Определим, что элементами $\triangle OAC$ являются компоненты двухзвенной биомеханической модели: $L_1 = OA$, $L_2 = AC$, OC – расстояние между опорой и целевой точкой. В этом случае численное значение углов треугольника OAC определится из соотношений

$$\begin{aligned} a &= OC, \quad b = OA = L_1, \quad c = AC = L_2; \\ \cos(\angle AOC) &= (a^2 + b^2 - c^2) / (2 * a * b); \\ \cos(\angle OAC) &= (b^2 + c^2 - a^2) / (2 * c * b); \\ \cos(\angle ACO) &= (a^2 + c^2 - b^2) / (2 * c * a). \end{aligned} \quad (3)$$

Используя функцию $\text{Math.Acos}(\cos Q)$, где $\cos Q$ равен соответствующему элементу косинуса в (3), найдем обобщенные координаты Q_1 и Q_2 в двухзвенной модели опорно-двигательного аппарата тела спортсмена. Обратная задача робототехники в биомеханике физических упражнений для двухзвенной модели опорно-двигательного аппарата тела спортсмена решена.

Библиографический список

1. Загrevский, В.И. Формализм Лагранжа и Гамильтона в моделировании движений биомеханических систем / В.И. Загrevский, О.И. За-

гревский, Д.А. Лавшук. – Могилев: МГУ имени А.А. Кулешова, 2018. – 296 с.

2. Luby'sheva, L.I., Zagrevskaya, A.I. Kinesiological approach as methodology of modern sports science and practice // *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kul'tury*. – 2015. – № 12. – P. 3-5.

В.И. Загrevский, О.И. Загrevский

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СПОРТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ РОБОТОТЕХНИКИ

В настоящее время практика биомеханических исследований в области технического совершенствования спортсменов базируется на двух методах биомеханики спорта, дифференцируемых на метод анализа и метод синтеза техники спортивных упражнений.

Наиболее широкое распространение получил метод анализа техники спортивных упражнений, когда по материалам оптической регистрации движений (видеосъемка) выполняется промер исследуемого спортивного упражнения и далее с использованием средств компьютерной техники вычисляются биомеханические характеристики двигательного действия.

Конечным результатом промера являются координаты маркерных точек спортсмена, за которые обычно принимаются координаты суставов спортсмена и в неподвижной системе координат. Обычно с этой целью используется прямоугольная декартова система координат (ДСК). Если упражнение выполняется в условиях опоры, то место контакта спортсмена с опорой также рассматривается в виде маркерной точки.

Массив координат маркерных точек определяется для каждого видеокадра упражнения на всей его траектории. По полученным данным координат суставов вычисляются обобщенные координаты звеньев биомеханической системы: угол наклона звеньев тела спортсмена к оси Ох ДСК. И координаты маркерных точек, характеризующие линейное перемещение объекта, и обобщенные координаты, характеризующие вращательное движение звеньев тела спортсмена, используются в качестве исходных данных в расчетных моделях анализа и математических моделях синтеза движений биомеханических систем.

Прямая задача робототехники в биомеханике физических упражнений заключается в определении координат маркерных точек движущейся системы по данным обобщенных координат звеньев тела спортсмена и длинам звеньев, что для упражнений в условиях опоры формализуется системой уравнений.