

Загревский В.И.^{1,3}, д.п.н., профессор
Загревский О.И.^{2,3}, д.п.н., профессор

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА ТРАЕКТОРИЮ ЕСТЕСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

¹Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова,
г. Могилев, Беларусь, zvi@tut.by

²Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, O.Zagrevsky@yandex.ru

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается влияние силы трения на траекторию естественного движения биомеханической системы. Приведены результаты компьютерного синтеза движений трехзвенной биомеханической системы с ограничениями на управляющие функции, заданные в форме табличной нулевой последовательности управляющих моментов мышечных сил в суставах спортсмена на всей траектории вращательного движения биосистемы в условиях опоры. Вариация момента силы трения выполнялась для трех вариантов моделируемого движения: от 0 Н·м до -40 Н·м с шагом -20 Н·м. Длительность движения – 1 с, шаг интегрирования системы дифференциальных уравнений 0,001 с. Биомеханический критерий влияния силы трения на траекторию биосистемы – конфигурация моделируемой системы в конечном положении вычислительного процесса.

Ключевые слова: естественное движение, параметры движения, биомеханические характеристики, расчетная модель.

Zagrevskiy V.I., Dr.Hab, Professor^{1,3}

Zagrevskiy O.I., Dr.Hab, Professor^{2,3}

THE EFFECT OF THE FRICTION FORCE ON THE TRAJECTORY OF THE NATURAL MOVEMENT OF THE BIOMECHANICAL SYSTEM

² Mogilev state University named after A. A. Kuleshov, Mogilev, Belarus, zvi@tut.by

¹ University of Tyumen, Tyumen, Russia, O.Zagrevsky@yandex.ru

³ National research Tomsk state University, Tomsk, Russia

Annotation. The article considers the influence of the friction force on the trajectory of the natural movement of a biomechanical system. The results of computer synthesis of the movements of a three-link biomechanical system with restrictions on the control functions specified in the form of a tabular zero sequence of control moments of muscle forces in the joints of an athlete on the entire trajectory of the rotational movement of the biosystem in support conditions are presented. The variation of the moment of friction force was performed for three variants of the simulated motion: from 0 N·m to -40 N·m with a step of -20 N·m. The duration of the movement is 1 s, the integration step of the system of differential equations is 0.001 s. The biomechanical criterion of the influence of the friction force on the trajectory of the biosystem is the configuration of the simulated system in the final position of the computational process.

Key words: natural motion, motion parameters, biomechanical characteristics, computational model.

Актуальность. Количественный биомеханический анализ техники спортивных упражнений предполагает наличие численной информации о биомеханических показателях движения [1, 2, 3, 4]. Материалы оптической или

инструментальной регистрации движений – общепринятая методика получения исходной информации об анализируемом движении. Второй путь получения необходимой биомеханической информации – моделирование двигательных действий человека с требуемыми свойствами, в частности, компьютерное моделирование движений спортсмена [3, 4].

В настоящее время существует определенное противоречие между объективной необходимостью иметь биомеханическую информацию о технике спортивных упражнений и отсутствием возможности ее экспериментального определения в учебно-тренировочном процессе, что и определили **актуальность** выполненного исследования. Предполагалось, что имеющееся противоречие, связанное с отсутствием экспериментальных данных о влиянии силы трения на траекторию естественного движения [5] биомеханической системы и необходимостью ее учета в технической подготовке спортсмена, может быть снято с использованием технологий механико-математического моделирования движений человека в вычислительном эксперименте на компьютере.

Цель исследования. Выявить влияние силы трения на траекторию биомеханической системы в естественном вращательном движении в условиях опоры.

Результаты исследования получены по следующим направлениям реализации цели исследования:

4) Модель опорно-двигательного аппарата тела спортсмена.

5) Математическая модель движения неразветвленной многозвенной биомеханической системы.

6) Материалы вычислительного эксперимента.

Модель опорно-двигательного аппарата тела спортсмена.

Рассматривается трехзвенная модель биомеханической системы (рис. 1), формализация биомеханических характеристик которой распространялась на многозвенную модель.

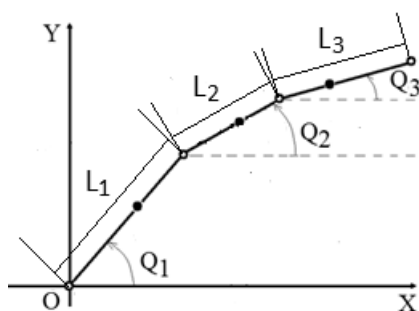


Рис. 1 – Обозначения в модели опорно-двигательного аппарата тела спортсмена

Здесь: i – буквенный индекс номера звена ($i=1, 2, 3$); L_1, L_2, L_3 – длина i -го звена; Q_1, Q_2, Q_3 – обобщенная координата i -го звена. Дополнительно использовались: $\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dot{Q}_3$ – обобщенная (угловая) скорость i -го звена; $\ddot{Q}_1, \ddot{Q}_2, \ddot{Q}_3$ – обобщенное (угловое) ускорение i -го звена, A_{ij} – динамические коэффициенты звеньев модели; Y_i – обобщенная сила i -го звена; M_1 – момент силы трения

(опорный шарнир); M_2, M_3 – управляющий момент мышечных сил во втором и третьем шарнирах модели.

Математическая модель движения неразветвленной многозвенной биомеханической системы. Движение многозвенной неразветвленной биомеханической системы, в соответствии с работой [4], описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка

$$\sum_{j=1}^N A_{ij} \ddot{Q}_j \cos(Q_j - Q_i) - \sum_{j=1}^N A_{ij} \dot{Q}_j^2 \sin(Q_j - Q_i) + Y_i \cos Q_i = M_i - M_{i+1}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N; \quad j = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Здесь: N – количество звеньев модели.

Математическая модель синтеза движений многозвенной неразветвленной биомеханической системы с жесткими связями формируется из уравнения (1) по методике изложенной в [4].

Материалы вычислительного эксперимента. Во всех вычислительных экспериментах исходное положение звеньев модели задавалось однотипным: $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 270^\circ$. Угловая скорость составляла $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}_3 = 6 \text{ рад/с}$. Характерным для естественного движения является нулевая величина момента мышечных сил во всех суставах спортсмена – отсутствие управляющих воздействий ($M_2=0, M_3=0$). Момент силы трения (M_1) в первом вычислительном эксперименте равнялся $0 \text{ Н}\cdot\text{м}$, во втором составлял $-20 \text{ Н}\cdot\text{м}$, в третьем – $-40 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Длительность процесса моделирования составляла 1 с , результаты вычислений выдавались через $0,1 \text{ с}$.

Для каждого из вычислительных экспериментов траектория биомеханической системы приведена на рисунке (рис. 2).

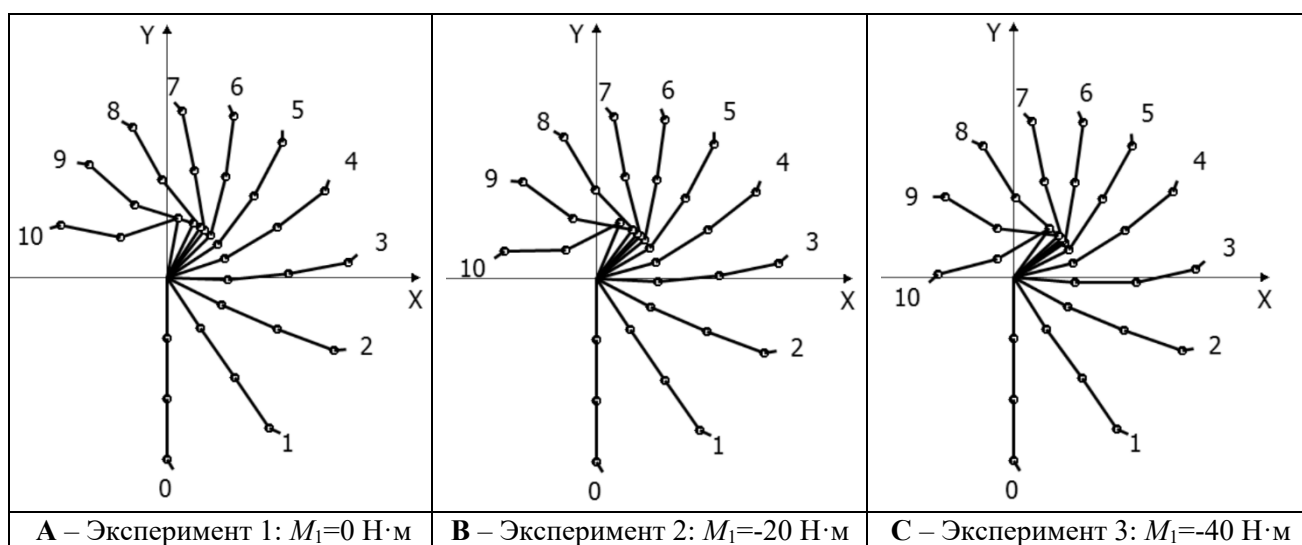


Рис. 2 – Синтезированная траектория биомеханической системы

Анализ конечного положения биомеханической системы в каждом из вариантов вычислительного эксперимента (рис. 2) свидетельствует о том, что:

1) Изменение величины силы трения во вращательном движении биомеханической системы в условиях опоры влияет на траекторию биомеханической системы в естественном движении.

2) С увеличением тормозящего воздействия момента силы трения проксимальное звено биомеханической системы замедляет вращательное движение, а последующие в кинематической цепи звенья – увеличивают угол поворота.

Заключение. По результатам выполненных вычислительных экспериментов на компьютере получены численные значения траектории биомеханической системы в естественном движении в условиях вращательного движения на опоре. Выявлена обратная зависимость угла поворота опорного звена биосистемы и прямая зависимость угла поворота дистальных звеньев, связанная с увеличением тормозящего момента силы трения.

Библиографический список

1. Гавердовский, Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К. Гавердовский. – М.: Физкультура и Спорт, 2007. – 912 с.
2. Евсеев, С.П. Формирование двигательных действий в гимнастике с помощью тренажеров. Учебное пособие / С.П. Евсеев. – Л.: изд. ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1987. – 91 с.
3. Загrevский, В.И. Биомеханика физических упражнений: учебное пособие / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский. – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – 262 с.
4. Загrevский, В.И. Формализм Лагранжа и Гамильтона в моделировании движений биомеханических систем / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский, Д.А. Лавишук. – Могилев: МГУ имени А.А. Кулешова, 2018. – 296 с.
5. Корнев, Г.В. Введение в механику человека / Г.В. Корнев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. – 264 с.

УДК 796.92.093.642

Иванов Д.И.

ПОВЫШЕНИЕ СТРЕЛКОВОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ БИАТЛОНИСТОВ НА ОСНОВЕ СОБЛЮДЕНИЯ ОСНОВНЫХ АСПЕКТОВ ПРИСТРЕЛКИ ОРУЖИЯ

*Чайковская государственная академия физической культуры и спорта,
г. Чайковский, Россия, dmgqwerty@mail.ru*

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные аспекты пристрелки оружия, необходимые к соблюдению до соревнований и в период непосредственно участия спортсменом в дисциплине. В результате исследования выявлена проблема реализации потенциала уровня стрелковой подготовленности в соревновательной деятельности. На основе опроса определена последовательность реализации основных аспектов пристрелки.

Ключевые слова: стрелковая подготовленность, пристрелка оружия, биатлонисты.