

1. Баранов, В. А. Методика учебно-тренировочного процесса пловцов на этапе начальной подготовки на основе дифференцированного подхода : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / В.А. Баранов. – Тамбов, 2012. – 23 с.
2. Булгакова, Н. Ж. Обучение плаванию детей младшего школьного возраста (7-10 лет) : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / Н. Ж. Булгакова. - Москва , 1953. - 209 с.
3. Веревка О.А. Психолого-педагогические условия индивидуальной подготовки спортсменов высокой квалификации : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / О.А. Веревка. - Москва, 2006. - 28 с.
4. Гришин В.А. Дифференциация тренировочного процесса квалифицированных пловцов в зависимости от специализации : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / В.А. Гришин. - Смоленск, 2002. - 159 с.
5. Загвязинский, В.И. Общая панорама педагогического исследования по проблемам физической культуры и спорта / В.И. Загвязинский, И.В. Манжелей // Теория и практика физической культуры. – 2016. – № 3. – С. 3-5.
6. Казызаева, А. С. Формирование специализированных восприятий у пловцов-бассистов 10-15 лет : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / А.С. Казызаева. – Омск, 2006. – 26 с.
7. Мехтелева, Е.А. Специальная подготовленность пловцов 10-17 лет, специализирующихся в способе плавания брасс : дис. ... канд. пед. наук : 13:00:04 / Е.А. Мехтелева.- Москва : [б.и.], 2005. – 171 с.
8. Погребной, А.И. Научно-педагогические основы начального обучения плаванию в школьном возрасте : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.04 / Погребной Анатолий Иванович. - Краснодар, 1997. - 37 с.
9. Семизоров, Е.А. Обучение детей плаванию на этапе базовой подготовки: начальной спортивной специализации : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / Е.А. Семизоров. – Тюмень, 2009. – 24 с.
10. Южикова, О.С. Комплексные модельные характеристики спортивной подготовленности и морфофункционального состояния юных брассисток на этапе углубленной специализации : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / О.С. Южикова. – Москва, 2005. – 30 с.

УДК 796.012

**ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НА КИНЕМАТИЧЕСКОМ УРОВНЕ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ
СИНТЕЗА ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Загревский Валерий Иннокентьевич^{1,2},
Загревский Олег Иннокентьевич²**

¹Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова,
г. Могилев, Беларусь

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. Рассматривается технология перевода в вычислительном эксперименте на компьютере неразветвленной многозвенной биомеханической системы из заданного кинематического состояния в начальный момент времени в заданное кинематическое состояние в конечный момент времени. Показан математический аппарат формирования управляющей функции. Предложен алгоритм синтеза управляющей функции решающей поставленную задачу.

Ключевые слова: модель биомеханической системы, синтез движения, программное управление, кинематические характеристики.

BUILDING PROGRAM CONTROL AT THE KINEMATIC LEVEL IN MATHEMATICAL MODELS OF THE SYNTHESIS OF MOVEMENTS OF BIOMECHANICAL SYSTEMS

Zagrevskiy V.^{1,2},
Zagrevskiy O.²

¹Mogilev state University named after A. A. Kuleshov, Mogilev, Belarus

²National research Tomsk state University, Tomsk, Russia

Annotation. The technology of transferring in a computational experiment on a computer an unbranched multilink biomechanical system from a given kinematic state at the initial moment of time to a given kinematic state at the final moment of time is considered. The mathematical apparatus for the formation of the control function is shown. An algorithm for the synthesis of a control function that solves the problem is proposed.

Key words: biomechanical system model, motion synthesis, program control, kinematic characteristics.

Актуальность. Техника спортивных упражнений обусловлена многочисленными факторами биомеханической природы. В качестве основополагающих факторов, формирующих рациональную структуру двигательных действий, общепризнано рассматривать согласованную последовательность сгибательно-разгибательных действий спортсмена в суставах, представляющих собой управляющие движения [5]. Управляющие движения характеризуются амплитудой, длительностью выполнения, исходными и конечными значениями управляющей функции, скоростью и ускорением ее изменения. На практике процесс совершенствования техники спортивных упражнений осуществляется вариативным изменением управляющих функций методом «проб и ошибок» [2]. В теоретических исследованиях рациональность введения новой структуры управляющих движений проверяется в вычислительном эксперименте на компьютере и является актуальной задачей в области программирования движений человека.

Цель. Формализовать кинематическую структуру сгибательно-разгибательных движений спортсмена в суставах с ограничениями на левом и правом концах сегмента движения по данным параметров кинематических характеристик ориентации звеньев модели.

Методы и организация исследования. Механико-математические методы формирования управляющей функции, вычислительный эксперимент.

Результаты исследования получены в виде разработанной технологии синтеза программного управления методом задаваемой ориентации звеньев спортсмена в опорных точках траекторного перемещения биомеханической системы.

Синтез программного управления с заданными кинематическими свойствами в математической модели движения биомеханических систем. Активное воздействие на объект исследования, с целью получения достоверной информации, осуществляется в рамках эксперимента [1; 6]. Рассматривая процесс изучения кинематики и динамики движения спортсмена с позиций

планирования эксперимента следует учитывать, что в биомеханическом исследовании решаются две основные задачи:

1. По известной траектории звеньев биосистемы определяются параметры кинематических и динамических характеристик спортивного упражнения. В этом случае задача анализа техники спортивного упражнения, для решения которой используются расчетные модели анализа движений биомеханических систем [3; 4], реализуется на основе известной траектории спортсмена, допустим, по материалам оптической регистрации движений. Здесь траектория БС выступает непосредственно в качестве исходных данных для проведения вычислительного эксперимента по определению параметров биомеханических характеристик спортивного упражнения и реализуется один из методов биомеханики: *анализ*.

2. По известным законам движения биосистемы строится математическая модель движения БС и в соответствии с заданными начальными условиями движения и программному управлению, выступающему в качестве управляющей функции, в вычислительном эксперименте на компьютере определяется траектория звеньев модели. Здесь траектория биомеханической системы не является исходной информационным материалом для проведения вычислительного эксперимента, а выступает в качестве результата моделирования движений. В этом случае результат вычислительного эксперимента (траектория) достигается на основе известного метода биомеханики, трактуемого как: *синтез*.

Выделяя анализ двигательных действий спортсмена в качестве одного из методов биомеханики, следует отметить, что вычислительные алгоритмы расчетных операций кинематических и динамических характеристик для многозвенных биомеханических систем неразветвленной структуры строятся на основе *рекуррентных* операций, когда искомая биомеханическая характеристика i -го звена вычисляется как функция предыдущего ($i-1$) и рассматриваемого i -го звена. Например, для расчета координат (X_i, Y_i) i -го сустава по осям Ox, Oy декартовой системы координат Oxu на плоскости с длиной звена L_i и наклоном звена Q_i к оси Ox применяют формулы

$$X_i = \sum_{j=1}^i L_j \cos Q_j, \quad Y_i = \sum_{j=1}^i L_j \sin Q_j. \quad (1)$$

Аналогичным образом строятся алгоритмы вычислительных формул и для расчета других кинематических и динамических показателей движения.

Рассматривая синтез движений биомеханических систем, как один из основополагающих методов биомеханики, необходимо подчеркнуть, что актуальнейшая проблема моделирования движений человека на компьютере заключается в разработке алгоритмов синтеза управляющих воздействий, реализующих целевое движение биомеханической системы с сохранением и поддержкой основных требований к обеспечению:

- заданной программной траектории;

- учета необходимых силовых ресурсов спортсмена, требуемых для реализации целевой программы движения;
- возможности возвращения на заданную программную траекторию после схода объекта движения с заданной траектории;
- расчета силовых параметров движения требуемых для возвращения на заданную программную траекторию после схода объекта движения с заданной траектории.

В педагогическом аспекте сход объекта движения с заданной программной траектории представляет собой двигательную ошибку и биомеханический процесс ее исправления характеризуется временными, пространственными и пространственно-временными показателями:

1. Момент времени начала исправления двигательной ошибки (t_0).
2. Момент времени выхода на заданную программную траекторию (t_1).
3. Длительность преодоления двигательной ошибки ($h=t_1-t_0$).
4. Величина программного управления в момент времени t_0 (u_0).
5. Величина программного управления в момент времени t_1 (u_1).
6. Скорость программного управления в момент времени t_0 (\dot{u}_0).

Используя подход, изложенный в работе [4], сформируем программное управление, изменяющееся за время h из исходного кинематического состояния (u_0, \dot{u}_0) до параметра (u_1) в момент времени t_1 и способное компенсировать двигательную ошибку. Поставленную задачу о формировании требуемого компенсационного программного управления можно описать функцией $u_{(t)}$ с производными $\dot{u}_{(t)}, \ddot{u}_{(t)}$ по времени

$$u_{(t)} = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad \dot{u}_{(t)} = a_1 + 2a_2 t, \quad \ddot{u}_{(t)} = 2a_2. \quad (2)$$

Для начального и конечного значений управляющей функции запишем (2) в виде системы с управлением и его производными

$$\begin{cases} u_0 = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2, \\ \dot{u}_0 = a_1 + 2a_2 t_0, \\ u_1 = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2. \end{cases} \quad (3)$$

Решим систему (3) относительно коэффициентов a_0, a_1, a_2 . Выполним элементарные преобразования.

$$1. \text{ В первом уравнении положим } t_0=0. \text{ Тогда } a_0 = u_0. \quad (4)$$

$$2. \text{ Во втором уравнении положим } t_0=0. \text{ Получим } a_1 = \dot{u}_0. \quad (5)$$

3. От третьего уравнения отнимем первое и запишем для a_2

$$a_2 = \frac{u_1 - u_0}{h^2} - \frac{\dot{u}_0}{h}. \quad (6)$$

Вычислительный алгоритм (2) с подстановкой в него коэффициентов a_0, a_1, a_2 из (4-6) обеспечивает формирование программного управления по закону квадратичного изменения суставного угла с постоянным ускорением. Запишем (2) в явном виде

$$\begin{aligned}
 u_{(t)} &= u_0 + \dot{u}_0 t + \left(\frac{u_1 - u_0}{h^2} - \frac{\dot{u}_0}{h} \right) t^2, \\
 \dot{u}_{(t)} &= \dot{u}_0 + 2 \left(\frac{u_1 - u_0}{h^2} - \frac{\dot{u}_0}{h} \right) t, \\
 \ddot{u}_{(t)} &= 2 \left(\frac{u_1 - u_0}{h^2} - \frac{\dot{u}_0}{h} \right).
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Здесь следует учесть, что t изменяется в пределах от $t=t_0$ до $t=t_1$ и, помним, что $h=t_1-t_0$.

Заключение. Получено аналитическое выражение программного управления, позволяющее использовать его в математической модели синтеза движений биомеханических систем для перевода биосистемы из заданного кинематического состояния по обобщенным координатам и обобщенным скоростям в требуемое кинематическое состояние по обобщенным координатам. Методика построения программного управления на кинематическом уровне с помощью полиномиальных функций может быть использована в математических моделях синтеза движений биомеханических систем.

Литература

1. Гавердовский, Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К. Гавердовский. – М.: Физкультура и Спорт, 2007. – 912 с.
2. Донской, Д.Д. Биомеханика: учеб. для ин-тов физ. культуры / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
3. Загrevский, В.И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В.И. Загrevский. – Томск: Том. гос. пед. ун-т, 1999. – 156 с.
4. Загrevский, В.И. Формализм Лагранжа и Гамильтона в моделировании движений биомеханических систем / В.И. Загrevский, О.И. Загrevский, Д.А. Лавшук. – Могилев: МГУ имени А.А. Кулешова, 2018. – 296 с.
5. Назаров, В.Т. Упражнения на перекладине. (Некоторые вопросы механики, техники выполнения, методики обучения.) / В.Т. Назаров. – М.: Физкультура и спорт, 1973. – 136 с.
6. Хамханов, К.М. Планирование эксперимента / К.М. Хамханов. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2001. – 94 с.

УДК 796.012

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИНТЕЗА ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Загrevский Валерий Иннокентьевич^{1,2}

¹Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова,
г. Могилев, Беларусь

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. В статье приведено авторское решение компьютерного приложения, визуализирующего динамику программного управления в математических моделях синтеза