

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ НА КИНЕМАТИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Покатилов А.Е., Загrevский В.И., Попов В.Н., Федосеев Ю.Ю., Лавшук Д.А.  
Могилевский государственный университет продовольствия  
г. Могилев, Республика Беларусь

Актуальной задачей в биомеханике спорта является синтез движения человека и на этой основе разработка оптимальной техники выполнения упражнений. Таким образом, от анализа движения, являющегося простой констатацией существующих упражнений, осуществляется переход к разработке оптимальных, а также новых движений. Еще одним характерным моментом оказывается учет дополнительных факторов, влияющих на движение человека во многих видах спорта. Одним из них является проявление спортивным снарядом, играющим роль опоры, упругих свойств. Отправной точкой исследований выбирают динамические уравнения движения спортсмена в условиях упругой опоры, записанные относительно управляющих моментов мышечных сил

$$M_{i,j-1} = g \sum_{j=1}^N C_{ij} \cos Q_j + \ddot{I}_0 \sum_{j=1}^N C_{ij} \sin(Q_0 - Q_j) + 2\dot{L}_0 \dot{Q}_0 \sum_{j=1}^N C_{ij} \cos(Q_0 - Q_j) + \\ + \sum_{k=0}^N \sum_{j=i}^N A_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=0}^N \sum_{j=i}^N A_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j). \quad (1)$$

Данная математическая модель разработана для движения N-звенной биомеханической системы, моделирующей опорно-двигательный аппарат человека в условиях упругой опоры в виде одной вращающейся пружины.

Так как в уравнении (1) программное управление задано в форме изменения суставных углов по времени, то его можно представить в виде функциональной зависимости от разницы обобщенных координат  $Q_j$  по времени. Формализуя программное управление для непрерывной модели, запишем общую структуру управляющих воздействий в виде

$$u_z = Q_{z+1} - Q_z, \quad z=1, 2, \dots, N-1.$$

Данная запись означает изменение разницы обобщенных координат  $Q_{z+1} - Q_z$  по времени. Первая и вторая производные от управляющих воздействий по времени имеют вид:

$$\dot{u}_z = \dot{Q}_{z+1} - \dot{Q}_z, \quad \ddot{u}_z = \ddot{Q}_{z+1} - \ddot{Q}_z, \quad z=1, 2, \dots, N-1.$$

Кинематическую связь, наложенную на обобщенные координаты биомеханической системы, через программное управление запишем как:

$$Q_{z+1} = Q_z + u_z, \quad z=1, 2, \dots, N-1.$$

Кинематическую связь в общем виде представим в форме

$$Q_p = Q_l + \sum_{z=1}^{p-1} u_z, \quad \dot{Q}_p = \dot{Q}_l + \sum_{z=1}^{p-1} \dot{u}_z, \quad \ddot{Q}_p = \ddot{Q}_l + \sum_{z=1}^{p-1} \ddot{u}_z, \quad p=2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

Отметим, что управление по выражениям (2) осуществляется за счет управления движением биомеханической системы, т.е. звеньев с 1 по N. Спортивный снаряд при этом оказывается пассивным элементом.