

УДК 531.3

## СИЛОВОЙ АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В. Н. ПОПОВ, В. И. ИЛЬЕНКОВ, А. А. МЕРЗЛОВ, А. Е. ПОКАТИЛОВ

Учреждение образования  
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»  
Могилев, Беларусь

При силовом анализе необходимо разделить реакции в опорных шарнирах и в суставах биомеханической системы. Причина в том, что современные технические средства и исследовательские методики не позволяют измерить реакции, возникающие в суставах. Единственным методом, решающим данную задачу, является расчетный. И, прежде всего это относится к естественному движению, т. е. движению, при котором отсутствует управление. Если же движение оказывается целенаправленным, т. е. имеет место управление движением за счет мышечной системы, то существующие методы силового анализа дают возможность определить лишь суммарную силу, приведенную к суставу. Эта сила есть сумма реакции и главного вектора управляющих сил мышечной системы, действующих относительно данного сустава и приведенных к нему. Разделить указанные силы при современном уровне развития теории и методов исследования не представляется возможным.

С реакциями, возникающими на опоре в месте контакта с биомеханической системой (БМС), ситуация иная. Некоторые методы, как например, электротензометрический, дают возможность экспериментальным путем изучить опорные реакции. Но с другой стороны, за последние сотни лет развития теории упругости исследованы силовые факторы и перемещения, возникающие в телах почти всех мыслимых форм при действии самых разнообразных нагрузок. Такие разделы механики как сопротивление материалов, теория механизмов и машин, строительная механика и детали машин давно и широко используют аналитические методы определения сил, возникающих в различных системах. Именно на основе этих методов можно создать модели для проведения полного анализа движения спортсмена в условиях упругой опоры. Кроме того, именно они позволяют выявить физическую картину взаимодействия БМС со спортивным снарядом и раскрывают все закономерности влияния опоры на движение человека.

Отметим, что в движении опорных кинематических пар (шарниры «рука – опора») огромную роль играет трение. Другими словами, данные пары не являются идеальными. Более того, во многих видах спорта используются специальные приспособления и присыпки для увеличения трения. Поэтому, во-первых, данные кинематические пары необходимо рассматривать через призму фрикционных явлений, происходящих в них, а

во-вторых, для этого необходимо знание опорных реакций, возникающих во время выполнения спортивного упражнения при взаимодействии человека с упругой опорой.

Таким образом, оказывается, что знание опорных реакций является важнейшей задачей при анализе движения биомеханической системы с учетом упругой опоры. Подчеркнем еще раз, что именно эти силы вызывают динамическую упругую деформацию опоры, влияющую на параметры кинематики и динамики движения человека. Так как изогнутая опора (гриф перекладины и т. д.) закреплена и не может сама вращаться, а реакции на опоре вращаются, то вследствие этого появляется обращение опорной части спортивного снаряда.

Силовой анализ выполняют методом кинетостатики. Для этого прикладывают к звеньям все внешние (активные) силы, фиктивные силы инерции масс звеньев, а также реакцию связи в каждой исследуемой кинематической паре биомеханической системы.

После соответствующих преобразований в общем виде для произвольного звена биомеханической системы уравнения для проекций реакций имеют вид:

$$\begin{aligned} R_{(i,i-1)_x} &= m_{iN} \ddot{L}_{0r} - \sum_{j=1}^N C_{ij} \ddot{Q}_j \sin Q_j - \sum_{j=1}^N C_{ij} \dot{Q}_j^2 \cos Q_j; \\ R_{(i,i-1)_y} &= m_{iN} \ddot{L}_{0b} + \sum_{j=1}^N C_{ij} \ddot{Q}_j \cos Q_j - \sum_{j=1}^N C_{ij} \dot{Q}_j^2 \sin Q_j + \sum_{p=i}^N G_p; \\ & i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

Коэффициенты  $m_{iN}$  и  $C_{ij}$  определяются по отдельным выражениям и относятся к геометрии масс человеческого тела. Обобщенные координаты  $Q_j$  и обобщенные кинематические параметры движения БМС  $\dot{Q}_j$ ,  $\ddot{Q}_j$  и спортивного снаряда  $\dot{L}_{0r}$ ,  $\ddot{L}_{0b}$  определяются по результатам натурного и вычислительного экспериментов. При расчетах необходимо учесть, что для  $j=0$  имеем разделение коэффициентов на горизонтальные и вертикальные.

Для оценки динамических свойств полной системы необходимо представить уравнения (1) как сумму двух выделенных систем: опоры и непосредственно биомеханической системы. Выделенная по силам опора имеет для уравнений проекций сил вид:

$$\begin{aligned} R_{(i,i-1)_y} &= R_{(i,i-1)_y}^{OP} + R_{(i,i-1)_y}^{BMC}; \\ R_{(i,i-1)_z} &= R_{(i,i-1)_z}^{OP} + R_{(i,i-1)_z}^{BMC}. \end{aligned} \quad (2)$$

Такое представление реакций, как опорных, так и в суставах биомеханической системы по уравнению (2), позволяет численно оценить влияние спортивного снаряда на реакции, возникающие в БМС и на опоре.

Электронная библиотека

Белорусско-Российского университета