

УДК 796.012

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНА В БИОМЕХАНИКЕ СПОРТА**

**<sup>1</sup>Ю. В. Воронович, <sup>2</sup>А. Е. Покатилов, <sup>2</sup>С. В. Шкуратов**

(<sup>1</sup>ГУО «Средняя школа № 22 г. Могилева», Могилев, Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Беларусь)

Представлено исследование на теоретическом уровне рывка штанги в тяжелой атлетике. Показано, что движение спортсмена происходит не в плоскости, а является пространственным. Предложено все модели движения на динамическом уровне разрабатывать в сферической системе координат с одновременным использованием декартовой прямоугольной пространственной координатной системы. В общем случае движение спортсмена является сложным и его удобно разбить на несколько видов: перемещение полюса, связанного со спортсменом, и вращательных движений звеньев относительно суставов. Также предложены механико-математические модели биомеханической мощности, развиваемой спортсменом при выполнении рывка штанги.

*Ключевые слова:* биомеханическая мощность, биомеханическая система, модели, пространственное движение, сферические координаты, штанга.

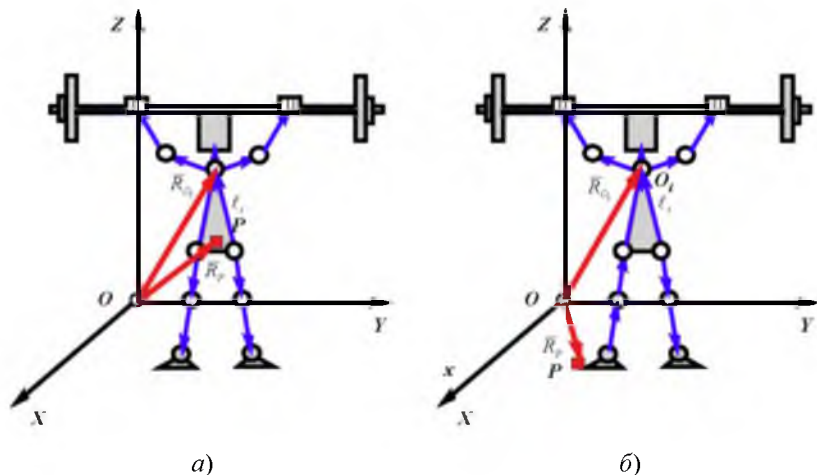
В настоящее время рядом проведенных исследований нами показано, что при рывке штанги спортсмен выполняет пространственное, а не плоское движение [1]. Отсюда встает задача разработки моделей

движения на динамическом уровне с учетом пространственного характера локомоций биомеханической системы. При этом важнейшей динамической характеристикой при биомеханическом анализе спортивного упражнения является мощность, развиваемая мышечной системой спортсмена. Ранее выявлено, что при анализе целенаправленного движения биомеханической системы необходимо введение понятия биомеханической мощности, расчет которой отличается от мощности механической, традиционно рассматриваемой в механике. Такой подход учитывает способ управления движением биологического объекта.

Цель исследования – разработать механико-математические модели биомеханической мощности при выполнении рывка штанги с учетом пространственного движения спортсмена.

Первой задачей при этом встает необходимость разработки структуры пространственного движения спортсмена [2]. Здесь необходимо учитывать, что при выполнении спортивных упражнений движение БМС является сложно-координированным.

На рисунках 1 а) и б) показаны два варианта представления пространственной БМС в виде суммы векторов с полюсом  $P$  в разных точках [3, 4].

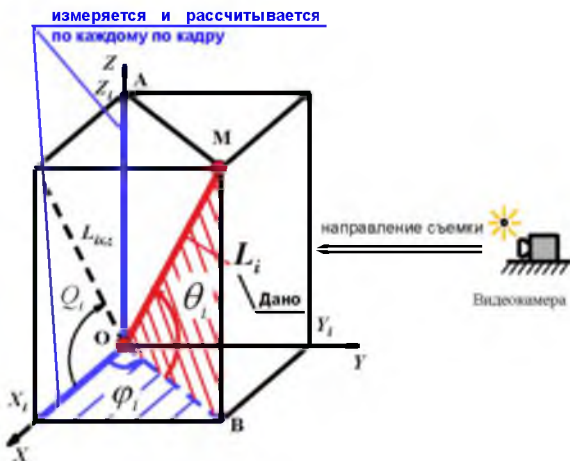


**Рис. 1.** Векторное представление звеньев БМС и координат полюса

На рисунке 2 а) представлен кадр видеосъемки рывка штанги в фазе подъема из подседа, а на рисунке 2 б) дана схема  $i$ -го звена в пространстве.



а) кадр видеосъемки;



б) пространственные координаты звена

**Рис. 2.** Положения звеньев БМС в пространстве и в проекции на сагитальную плоскость

Отметим, что динамические уравнения пространственного движения более сложные, чем в случае плоского движения, так как имеют векторную форму записи. Тогда в общем виде запишем момент управляющих сил мышечной системы

$$\bar{M}_{i,i-1} = \bar{M}_{\theta_i} + \bar{M}_{\varphi_i} + \bar{M}_{\alpha_i} \quad (1)$$

Здесь полный момент является геометрической суммой управляющих моментов в соответствующих плоскостях по рисунку 2 б).

Рассмотрим более общий, но и более сложный случай, когда дополнительно имеется управляющий момент ротации звена вокруг собственной оси (пронация/супинация) [4]. Имеем

$$M_{\varphi_i} = M_{Z_{i-1}} - (M_{X_{i-1}} + M_{Y_{i-1}}) \operatorname{ctg} \theta_i, \quad (2)$$

$$M_{\alpha_i} = \frac{M_{X_{i-1}} + M_{Y_{i-1}}}{\sin \theta_i}, \quad (3)$$

$$M_{\theta} = \frac{M_{X_{i-1}} (\cos \varphi_i - 1) + M_{Y_{i-1}} \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i}, \text{ или} \quad (4)$$

$$M_{\theta} = \frac{M_{Y_{i-1}} (1 - \sin \varphi_i) - M_{X_{i-1}} \sin \varphi_i}{\cos \varphi_i}. \quad (5)$$

В развернутой форме выражения получаются громоздкими, поэтому ограничимся более общей формой. Систему уравнений (1)-(5) удобнее решать поэтапно в вычислительном эксперименте на ПЭВМ.

Запишем уравнения для расчета биомеханической мощности исходя из следующих соображений:

- анатомия сустава позволяет выполнить пронацию/супинацию;
- биомеханическая мощность рассчитывается по суставной скорости.

Имеем для каждого звена мощности в соответствующей плоскости по рисунку 2 б) в сферической системе координат, равными

$$N_{\varphi_i}^E = M_{\varphi_i} \Delta \dot{\varphi}_{i,i-1} = [M_{z_{i,i-1}} - (M_{x_{i,i-1}} + M_{y_{i,i-1}}) \operatorname{ctg} \theta_i] \Delta \dot{\varphi}_{i,i-1}, \quad (6)$$

$$N_{\alpha_i}^E = M_{\alpha_i} \dot{\alpha}_{i,i-1} = \frac{M_{x_{i,i-1}} + M_{y_{i,i-1}}}{\sin \theta_i} \dot{\alpha}_{i,i-1}, \quad (7)$$

$$N_{\theta_i}^E = M_{\theta_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} = \frac{M_{x_{i,i-1}} (\cos \varphi_i - 1) + M_{y_{i,i-1}} \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1}, \quad \text{или} \quad (8)$$

$$N_{\theta_i}^E = M_{\theta_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} = \frac{M_{y_{i,i-1}} (1 - \sin \varphi_i) - M_{x_{i,i-1}} \sin \varphi_i}{\cos \varphi_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1}. \quad (9)$$

Отметим, что в уравнении (7) мощность ротации определяется не через суставную скорость, которой нет, а через скорость ротации кости  $\dot{\alpha}_{i,i-1}$  в суставе (пронация, супинация).

На основании уравнений (6)-(9) запишем полную биомеханическую энергию  $i$ -го звена как скалярную сумму

$$N_{O_i}^E = N_{\varphi_i}^E + N_{\theta_i}^E + N_{\alpha_i}^E. \quad (10)$$

Для всей БМС получим биомеханическую мощность в виде системы уравнений

$$N_{\varphi}^E = \sum_{i=1}^n N_{\varphi_i}^E = \sum_{i=1}^n M_{\varphi_i} \Delta \dot{\varphi}_{i,i-1} = \sum_{i=1}^n [M_{z_{i,i-1}} - (M_{x_{i,i-1}} + M_{y_{i,i-1}}) \operatorname{ctg} \theta_i] \Delta \dot{\varphi}_{i,i-1}, \quad (11)$$

$$N_{\alpha}^E = \sum_{i=1}^n N_{\alpha_i}^E = \sum_{i=1}^n M_{\alpha_i} \dot{\alpha}_{i,i-1} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{x_{i,i-1}} + M_{y_{i,i-1}}}{\sin \theta_i} \dot{\alpha}_{i,i-1}, \quad (12)$$

$$N_{\theta}^E = \sum_{i=1}^n N_{\theta_i}^E = \sum_{i=1}^n M_{\theta_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{M_{x_{i,i-1}} (\cos \varphi_i - 1) + M_{y_{i,i-1}} \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} \right] \quad (13)$$

$$\text{, или}$$

$$N_{\theta}^E = \sum_{i=1}^n N_{\theta_i}^E = \sum_{i=1}^n M_{\theta_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{M_{y_{i,i-1}} (1 - \sin \varphi_i) - M_{x_{i,i-1}} \sin \varphi_i}{\cos \varphi_i} \Delta \dot{\theta}_{i,i-1} \right]. \quad (14)$$

Тогда полная биомеханическая энергия всей БМС равна

$$N^E = \sum_{i=1}^n N_{O_i}^E = \sum_{i=1}^n (N_{\varphi_i}^E + N_{\theta_i}^E + N_{\alpha_i}^E). \quad (15)$$

Здесь, как и ранее, формула (15) приведена в общем виде из-за громоздкости этого выражения в развернутой форме.

### Список использованной литературы

1. Воронович, Ю.В. Биомеханический анализ пространственного движения на кинематическом уровне / Ю.В. Воронович, А.Е. Покатилов, Ю.В. Лисейчикова, Д.А. Лавшук // Актуальные проблемы огневой, тактико-специальной и профессионально-прикладной физической подготовки [Электронный ресурс] : сборник статей Могилев. институт МВД. – 2022. – С. 320–327.
2. Покатилов, А. Е. Проблемы исследования пространственного движения в спорте // А.Е. Покатилов, Ю.В. Воронович Ю. В, Т.Д. Симанкова // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Малаховка, 29–30 окт. 2020 г. / Москов. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост.: А. Н. Фураев. – Малаховка, 2020. – С. 89–94.
3. Покатилов, А.Е. Моделирование пространственного движения биомеханических систем в сферической системе координат / А.Е. Покатилов, Т.Д. Симанкова // Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля: материалы Междунар. науч. пр. конф., ноябрь 2020 г., Гомель / Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта». – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 106-109.
4. Покатилов, А.Е. Биомеханический аспект подготовки курсантов в области профессионально-прикладной физической подготовки / А.Е. Покатилов, Ю.В. Воронович, А.П. Скачинский / Актуальные проблемы огневой, тактико-специальной и профессионально-прикладной физической подготовки : сборник статей V Международной научно-методической конференции. Редколлегия: В.В. Борисенко (отв. редактор) [и др.]. – Могилев, 2020. – С. 282–288.