

А. Е. Покатилов

A. E. Pokatilov

Могилевский университет продовольствия,
старший преподаватель
кафедры прикладной механики
и инженерной графики (Беларусь)

Ю. В. Воронович

Y. V. Voronovich

Могилевский институт МВД,
старший преподаватель кафедры прикладной физической
и тактико-специальной подготовки (Беларусь)

ПРОБЛЕМЫ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ КУРСАНТОВ В ОБЛАСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

PROBLEMS OF BIOMECHANICAL ANALYSIS OF CADETS' SPATIAL MOVEMENT IN THE FIELD OF PROFESSIONALLY APPLIED PHYSICAL TRAINING

Аннотация. В процессе профессиональной физической подготовки курсанты факультета милиции Могилевского института МВД должны освоить ряд прикладных разделов, основанных на сложно-координированных пространственных движениях, как, например, в различных видах единоборств, а также получить определенную силовую подготовку. В статье рассмотрены проблемы биомеханического анализа для таких случаев и предложена методика исследования пространственного движения на основе моделирования движения в сферической системе координат.

Summary. In the process of professional physical training the cadets of the police faculty of the Mogilev Institute of the Ministry of Internal Affairs must master a number of applied sections based on complex-coordinated spatial movements, such as, for example, in various types of martial arts, and also receive a certain strength training. The problems of biomechanical analysis for such cases and proposes a technique for studying spatial motion based on modeling motion in a spherical coordinate system are shown in the article.

Ключевые слова: курсанты, пространственное движение, сферическая система координат, профессионально-прикладная физическая подготовка.

Keywords: cadets, spatial movement, spherical coordinate system, professionally applied physical training.

С точки зрения биомеханики движения все технические действия курсанта в единоборствах сложны, высококоординированы и требуют всесторонней подготовки как в техническом плане, физическом. То же самое относится и к области силовой подготовки как, например, при включении в систему подготовки курсантов упражнений из тяжелой атлетики, для которых необходима

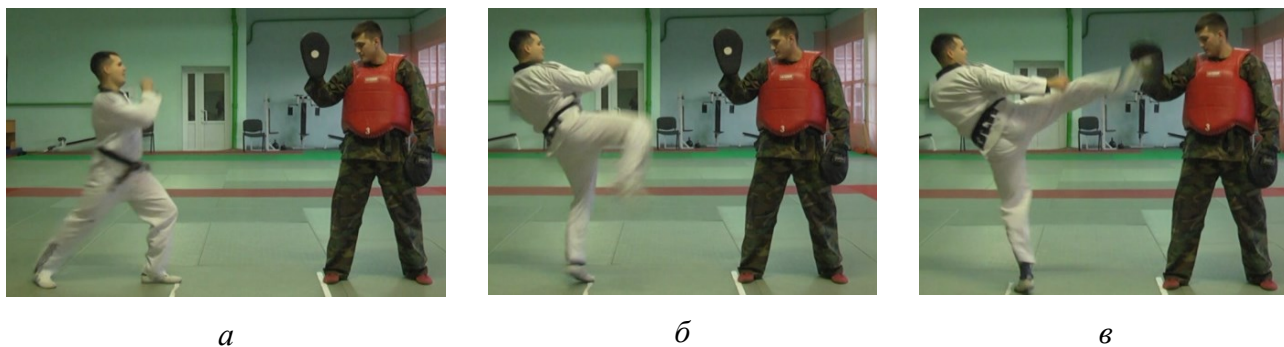
правильная техника выполнения [1]. Но исследования в этой области в определенной степени затруднены, так как требуют применения весьма сложной и дорогой исследовательской аппаратуры, специальных механо-математических моделей и достаточно трудоемки. В большой степени это связано с пространственным характером движения при выполнении любых сложных технических действий, в том числе приемов и упражнений. Обычно задачу упрощают, и биомеханическую систему, представляющую собой опорно-двигательный аппарат человека, моделируют плоской кинематической цепью с той или иной степенью свободы, достаточно приблизительно имитирующей движение курсанта. Сложность таких моделей в сравнении с реальным пространственным движением курсантов невелика [2].

Одним из путей решения данной проблемы является адаптация современных технологий «захвата движения», разрабатываемых в кинематографе, компьютерных играх, в робототехнике и пр., тем более что предмет исследования во всех этих отраслях один и тот же — человек. Существует два крупных направления в технологии «захвата движения»: маркерные и безмаркерные. Большинство из этих технологий при их адаптации к задачам биомеханики движения все равно требуют весьма значительных материальных и финансовых затрат, разработки специального программного обеспечения и механо-математических моделей движения, а также привлечения квалифицированного персонала из разных областей знаний, и потому такой путь исследований не всегда доступен.

Достаточно перспективен путь использования технологии «захвата движения» на основе «компьютерного зрения» при исследовании пространственного движения. Это достаточно дешевый, удобный, автоматизированный и доступный метод за одним исключением: он требует разработки моделей движения на основе алгебры кватернионов, что в свою очередь требует высокой профессиональной подготовки исследователя в данной области, что не всегда возможно [3].

Авторы же данного исследования предлагают для описания движения курсантов на кинематическом и динамическом уровнях использовать сферическую систему координат [4]. Такой подход позволяет в ряде случаев использовать всего одну видеокамеру. Сами модели просты и понятны, при этом их можно как записывать в сферических координатах, так и перевести в декартовую прямоугольную координатную систему.

На рисунке 1 *a–в* показано выполнение удара ногой. В этом движении задействованы звенья всей биомеханической системы (далее — БМС), и движение является пространственным. Для его моделирования с целью проведения биомеханического анализа требуется такая же пространственная модель биомеханической системы [5].



Удар ногой:

а — начальная фаза; *б* — текущее движение БМС; *в* — конечная фаза

На рисунке 2 *а–е* показаны фазы выполнения удара рукой. По рисункам видно, что движение является сложным и пространственным и включает в себя движение всех звеньев БМС.



Рисунок 2 — Фазы удара рукой

На рисунке 3 *а* и *б* пространственная кинематическая схема биомеханической системы совмещена с изображением курсанта во время выполнения удара ногой. Модель БМС является сложной незамкнутой кинематической цепью, показывающей основные звенья, благодаря которым появляется возможность проанализировать локомоции биомеханической системы.



Рисунок 3 — Моделирование движения БМС с помощью пространственной незамкнутой кинематической цепи:

а — начало движения; *б* — окончание приема (удар)

На рисунке 4 показан случай видеосъемки тремя камерами для получения пространственной картины движения.

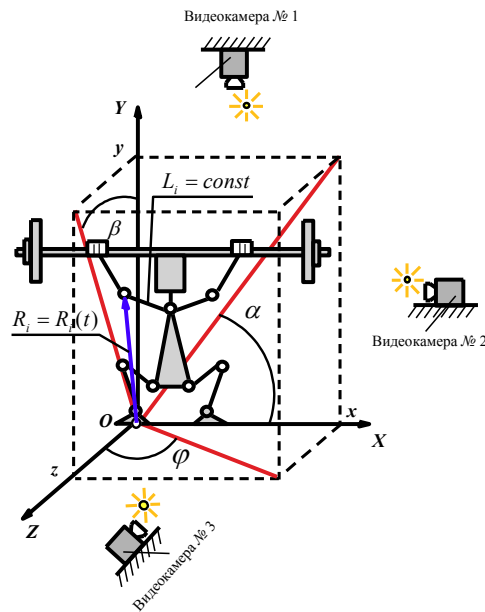


Рисунок 4 — Видеосъемка рывка

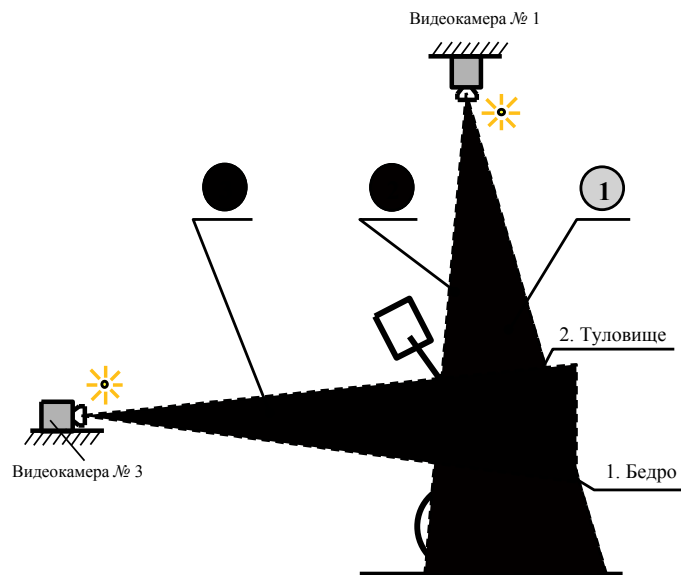


Рисунок 5 — Перекрытие зон видимости камер

Для примера взято выполнение рывка из тяжелой атлетики [6–10]. На рисунке 5 показано, что отдельные звенья БМС при съемке могут не попадать в зоны видимости соответствующих видеокамер. Отсюда возникает необходимость при биомеханическом анализе пространственного движения выбирать такие схемы по количеству и расположению видеокамер, чтобы они соответствовали исследуемому упражнению. Так, например, по рисункам 4 и 5 можно сделать вывод, что видеокамера 2 позволяет полностью записать движение всех звеньев во время упражнения [11–15]. Этот случай показан на рисунках 6 а, б.

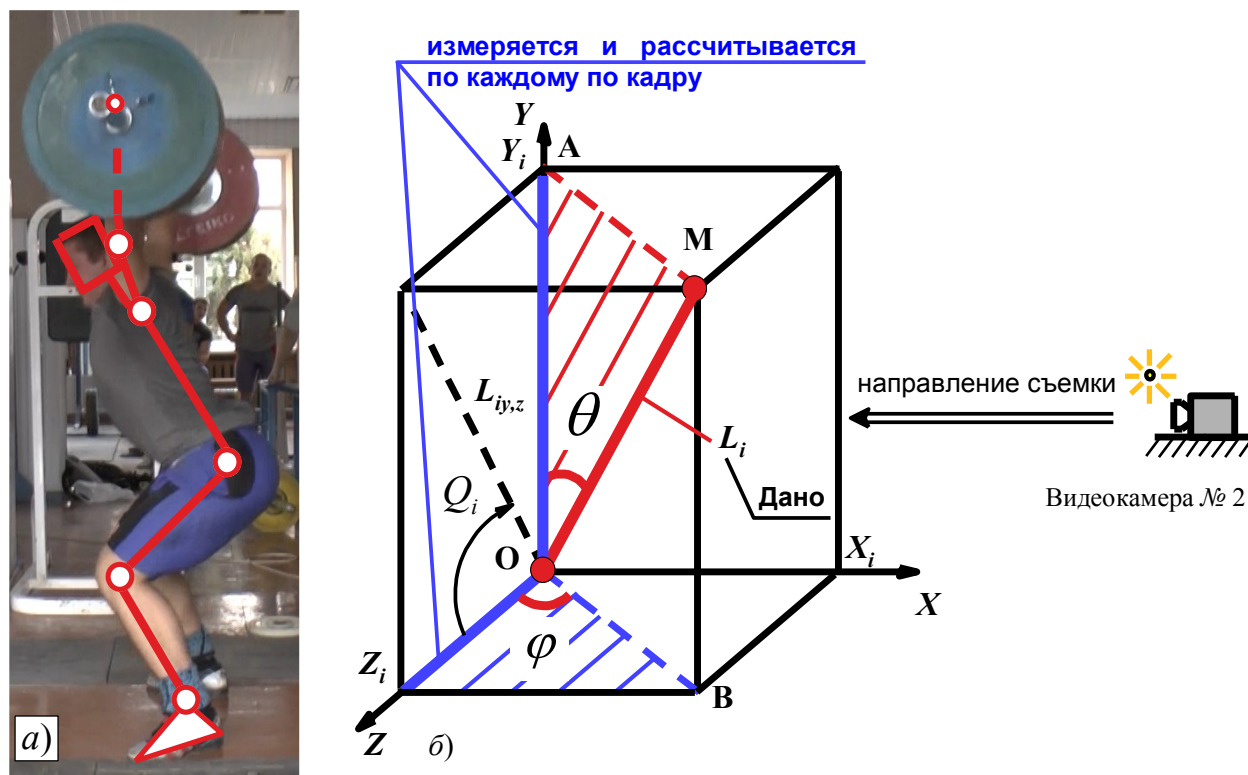


Рисунок 6 — Положения звеньев БМС в пространстве в проекции на сагиттальную плоскость:

а) кадр видеосъемки; б) пространственные координаты

Поэтому в ряде случаев, когда не происходит перекрытие зон видимости, можно ограничиться съемкой с одной видеокамеры.

Воспользуемся сферической системой координат для записи положения каждого звена БМС по рисунку 6 б. Сферическая система координат — это трёхмерная координатная система, и в ней положение каждой точки в пространстве определяется тремя числами (L , θ , φ) [4]. Здесь L — расстояние от точки до начала координат (радиальное расстояние), а θ и φ — зенитный и азимутальный углы соответственно. В нашем случае L — это длина i -го звена, поэтому для всей БМС будем показывать координаты с индексом номера звена i в следующем виде: L_i , θ_i , φ_i .

В этом случае, измерив на кадре проекции Y_i , Z_i каждого звена на продольную Y и сагиттальную Z оси и имея действительные размеры звена L_i , легко рассчитать фронтальную координату X_i и углы сферической системы координат: наклона — θ_i , и азимута — φ_i . На основе рисунка 6 б запишем уравнения для расчета координат и соответствующих проекций:

$$\theta_i = \arccos \frac{Y_i}{L_i}, \quad (1)$$

$$MA = OB = \sqrt{L_i^2 - Y_i^2}, \quad (2)$$

$$\varphi_i = \arccos \frac{Z_i}{L_i}, \quad (3)$$

$$X_i = OB \sin \varphi_i = \sqrt{L_i^2 - Y_i^2} \sin \varphi_i. \quad (4)$$

Таким образом, выражения (1–4) позволяют получить пространственные декартовы и сферические координаты из результатов расшифровки кадров только одной (боковой) видеокамеры.

При расчете необходимо действительные размеры звеньев перевести в масштаб кадра или, наоборот, проекции с кадра пересчитать в реальный масштаб размеров звеньев БМС.

Дополнительно найдем угол Q_i , так как именно он принимается за обобщенную координату при видеосъемке одной камерой № 2 и представлении кинематической модели БМС как плоской в проекции на сагиттальную плоскость:

$$Q_i = \operatorname{arctg} \frac{Y_i}{Z_i}. \quad (5)$$

В формуле (5) нет необходимости учитывать масштаб проекций, так как он у них одинаков.

Отметим, что применительно к задачам биомеханического анализа БМС имеем следующую функциональную связь в уравнениях движения для сферических координат отдельного звена

$$L_i = \text{const}, \quad (6)$$

$$\theta_i = \theta_i(t), \quad (7)$$

$$\varphi_i = \varphi_i(t). \quad (8)$$

На основании уравнений (1–8) и разрабатываются механо-математические модели кинематики и динамики пространственного движения БМС с использованием сферических и декартовых координат [16]. Целью такого биомеханического анализа является повышение уровня профессионально-прикладной физической подготовки курсантов [17].

Исследования методов биомеханического анализа и получения траекторных положений курсанта во время выполнения упражнений или иных технических действий показывают перспективность проведения биомеханического анализа пространственного движения биомеханических систем на основе использования сферических и декартовых координат одновременно. В ряде случаев, т. е. при отсутствии перекрытия звеньев друг другом для определенных видеокамер, можно ограничиться видеосъемкой лишь одной из них и при этом получить картину пространственного движения курсанта.

1. Дубровский В. И., Федорова В. Н. Биомеханика. М. : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. 672 с. [Вернуться к статье](#)

2. Бегун П. И., Шукейло Ю. А. Биомеханика : учебник для вузов. СПб. : Политехника, 2000. 463 с. [Вернуться к статье](#)

3. Исследование пространственного движения в биомеханике спорта / А. Е. Покатилов [и др.] // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы VII Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., 21–22 нояб. 2019 г., Москва / Рос. гос. акад. физ. культуры, спорта и туризма, Моск. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост. А. Н. Фураев. М. : Малаховка, 2019. С. 102–107. [Вернуться к статье](#)

4. Гусак А. А., Гусак Г. М. Справочник по высшей математике. Минск : Навука і техника, 1991. 480 с. [Вернуться к статье](#)

5. Киркор М. А., Покатилов А. Е., Гальмак А. М. Математические модели движения в биомеханике спорта // Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля : материалы Междунар. науч. пр. конф., 25 окт. 2019 г., Гомель / Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта». Гомель : БелГУТ, 2019. С. 18–21. [Вернуться к статье](#)

6. Воронович Ю. В., Солонец А. В., Лавшук Д. А. Эволюция бесконтактных биомеханических методов регистрации техники соревновательных упражнений // Здоровье для всех : материалы четвертой междунар. науч.-практ. конф., УО «Полесский государственный университет», Пинск, 26–27 апр. 2012 г. / Национальный банк Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. Пинск, 2012. С. 148–150. [Вернуться к статье](#)

7. Воронович Ю. В. Анализ вертикальной скорости штанги у тяжелоатлетов различной весовой категории // VI Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирант. и молод. ученых, Витебск, 27–28 сент. 2012 г. / Витебск. гос. ун-т ; редкол.: А. П. Солодков (гл. ред.) [и др.]. Витебск, 2012. С. 490. [Вернуться к статье](#)

8. Воронович Ю. В. Управление тренировочным процессом тяжелоатлетов на основе биомеханического анализа // Молодая наука-2013. Региональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов вузов Могилевской области : материалы конф. / под ред. А. В. Бирюкова. Могилев : УО «МГУ им. А. А. Кулешова», 2013. С. 157. [Вернуться к статье](#)

9. Воронович Ю. В. Использование бесконтактных методов регистрации движений в контроле технической деятельности тяжелоатлетов / Ю.В. Воронович // Актуальные проблемы физической культуры, спорта, туризма и рекреации : материалы студ. межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 135-летию Томск. гос. ун-та, 75-летию кафедры физ. воспитания, 50-летию оздоровительно-учебного центра. Томск, 2013. С. 255–259. [Вернуться к статье](#)

10. Воронович Ю. В. Педагогическое структурирование тяжелоатлетического упражнения рывок // Молодая наука-2015. Региональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов вузов Могилевской области : материалы конф. / под ред. А. В. Бирюкова ; УО «МГУ им. А. А. Кулешова». Могилев, 2015. С. 157. [Вернуться к статье](#)

11. Педагогическое структурирование соревновательных упражнений в тяжелой атлетике / В. И. Загrevский [и др.] // Среднее профессиональное и высшее образование в сфере физической культуры и спорта: современное состояние и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 30 марта 2016 г. / под ред. М. В. Чабова ; Уральская Академия. Челябинск, 2016. С. 234–237. [Вернуться к статье](#)

12. Пространственная характеристика граничных положений в фазовой структуре соревновательного упражнения «рывок» в тяжелой атлетике / В. И. Загrevский [и др.] // Среднее профессиональное и высшее образование в сфере физической культуры и спорта: современное состояние и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 30 марта 2016 г. / Уральская Академия ; под ред. М. В. Чабова. Челябинск, 2016. С. 237–243. [Вернуться к статье](#)

13. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Совершенствование биомеханической структуры тяжелоатлетического упражнения «Рывок» [Электронный ресурс] // Физическое воспитание, спорт, физическая реабилитация и рекреация: перспективы и проблемы развития : материалы VI междунар. электрон. науч.-практ. конф, Красноярск, 20–21 мая 2016 г. : электрон. сб. / под общ. ред. Т. Г. Арутюняна ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2016. URL: https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/15894/1/Klochko_NV_Davydov_Vlu_Fizicheskaia%20podgotovlennost%20detei%205-6%20let%20na%20osnove%20konstitutsional'noi%20identifikatsii.pdf (дата обращения: 11.07.2020) [Вернуться к статье](#)

14. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Загrevский В. И. Биомеханика тяжелоатлетических упражнений : монография. Могилев : Могилев. институт МВД, 2014. 196 с. : ил. [Вернуться к статье](#)

15. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Методика организации промера тяжелоатлетических упражнений по материалам видеосъемки // Ученые записки : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол.: М. Е. Кобринский (гл. ред.) [и др.]. 2011. Вып. 14. С. 142–151. [Вернуться к статье](#)

16. Киркор М. А., Покатилов А. Е., Гальмак А. М. Математическое описание синтеза целенаправленного движения спортсмена // Веснік МДУ імя А. А. Куляшова. Сер. В. Прыродазнаўчыя навукі. № 1(55). 2020. С. 44–50. [Вернуться к статье](#)

17. Воронович Ю. В., Ревин Д. А. Профессионально-прикладная физическая подготовка. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальностей 1-93 01 01 «Правовое обеспечение общественной безопасности», 1-93 01 03 «Правовое обеспечение оперативно-розыскной деятельности». Могилев. 76 с. [Вернуться к статье](#)