

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)*

А. П. Скачинский

A. P. Skachinskiy

*Могилевский институт МВД,
начальник кафедры прикладной физической
и тактико-специальной подготовки (Беларусь)*

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПОДГОТОВКИ КУРСАНТОВ В ОБЛАСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО- ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

BIOMECHANICAL ASPECT OF TRAINING CADETS IN THE FIELD OF PROFESSIONALLY APPLIED PHYSICAL TRAINING

***Аннотация.** В статье показано, что при анализе движения курсанта в различных видах единоборств его опорно-двигательный аппарат необходимо рассматривать как пространственную биомеханическую систему. Показано ее использование в безмаркерной технологии «захвата движения» типа «компьютерного зрения». Применение последнего позволяет автоматизировать процесс получения траекторных положений, увеличить число степеней свободы модели биомеханической системы и приблизить ее к реальной картине движения курсанта.*

***Summary.** The article shows that when analyzing the movement of a cadet in various types of martial arts, his musculoskeletal system must be considered as a spatial biomechanical system. It is shown its use in markerless technology of «motion capture» of the «computer vision» type. The use of the latter makes it possible to automate the process of obtaining trajectory positions, to increase the number of degrees of freedom of the biomechanical system model and to bring it closer to the real picture of the cadet's movement.*

***Ключевые слова:** биомеханический анализ, кинематика, курсанты, пространственное движение, профессионально-прикладная физическая подготовка.*

***Keywords:** biomechanical analysis, kinematics, cadets, spatial movement, professionally applied physical training.*

Современные методики тренировок курсантов разрабатываются исходя из биомеханического анализа движения человеческого тела [1–3]. При этом необ-

ходимо учитывать, что если при исследовании движения человека в различных видах спорта можно упростить используемые модели движения с учетом того, что многие спортивные упражнения являются все же изолированными движениями и используют строго регламентированную технику, то специализированная подготовка курсантов, как, например, в боевом самбо и различных видах единоборств, базируется на одной из самых сложных техник движения, которая охватывает различные элементы многих видов спорта: акробатики, гимнастики, силовой подготовки и пр. Отсюда возникает необходимость проводить исследования с использованием пространственных биомеханических систем (далее — БМС) со многими степенями свободы, что в свою очередь, требует соответствующего оборудования, компьютерных программ и механико-математических моделей движения, позволяющих выполнить биомеханический анализ сложного движения [4].

Отметим, что на сегодняшний день применяемые модели опорно-двигательного аппарата человека достаточно просты и чаще всего ограничиваются плоскими кинематическими моделями биомеханической системы из-за сложности исследования пространственных структурных схем. Тем не менее методы исследования пространственного движения в биомеханике спорта разрабатываются и именно их применение является актуальным при анализе техники движения в различных видах единоборств.

В связи с современным прогрессом в смежных областях человеческой деятельности, как, например, в кинематографе, в разработке компьютерных игр, в робототехнике и пр., появилась возможность использовать результаты исследования движения человека из этих областей [5; 6]. Так в настоящее время широко используются и развиваются различные технологии «захвата движения». Большой интерес представляют безмаркерные технологии, основанные на применении «компьютерного зрения»: для них необходимо достаточно простое и дешевое оборудование и две компьютерные программы, например, фирмы iPi Soft, одна из которых выполняет запись движения одновременно из многих точек (3–6 и более), а вторая расшифровывает видеозаписи, записывая в текстовый файл координаты каждого звена человеческого тела. На рисунке 1 показана запись выполнения ката в карате четырьмя видеокамерами с помощью программы iPi Recorder, а на рисунке 2 *а* — результаты автоматической компьютерной расшифровки движения программой iPi Mocap Studio в виде скелета (модель БМС), наложенного на изображение курсанта. На рисунке 2 *б* представлена модель биомеханической системы без изображения человека.

На рисунке 3 отдельно показана модель БМС, используемая в технологии «компьютерного зрения».

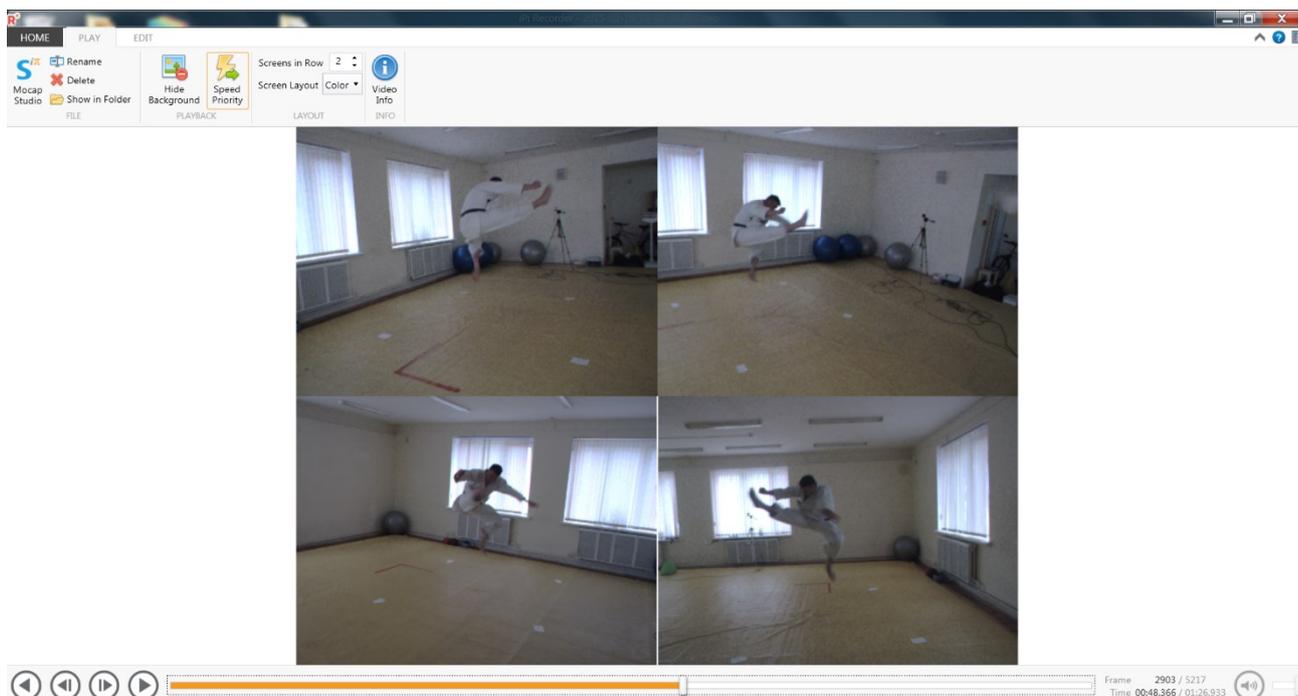
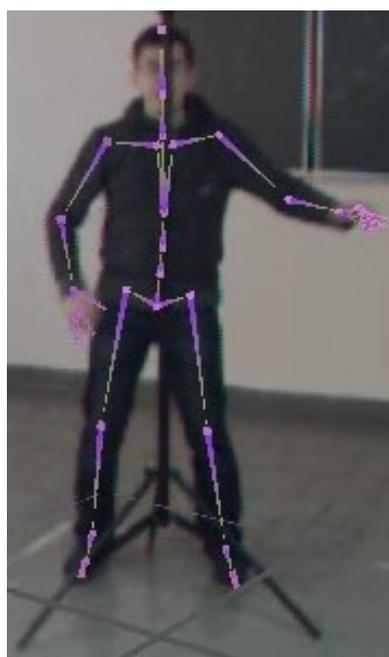
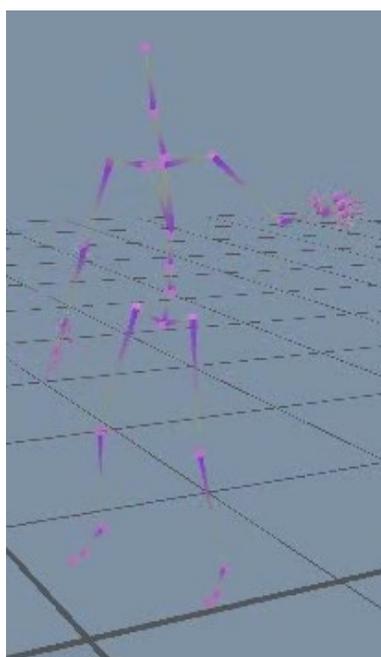


Рисунок 1 — Видеозапись ката (карате) программой iPi Recorder



a



б

Рисунок 2 — Анализ движения по технологии «компьютерного зрения»: *a* — видеокادر с БМС; *б* — скелет БМС

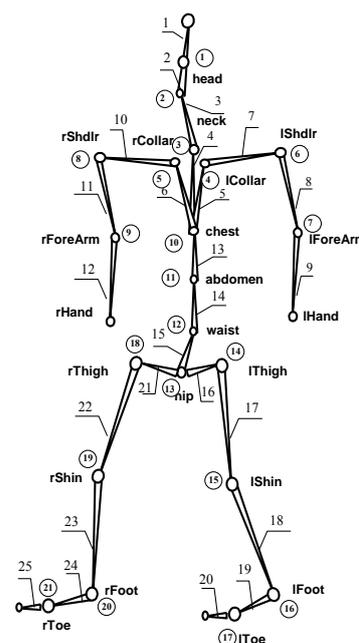


Рисунок 3 — Модель БМС

Отметим, что модель БМС, по рисунку 3, является пространственной со многими степенями свободы и наиболее полно моделирует кинематику и динамику движения курсанта в таких сложных видах спорта, как различные виды единоборств, которые являются одной из форм профессионально-прикладной физической подготовки [7].

На рисунке 4 (*a* и *б*) показано выполнение удара ногой курсантом факультета милиции Могилевского института МВД: *a* — то начальная фаза приема, т. е. стойка; *б* — конечная фаза приема, т. е. сам удар. На рисунках 4 (*a* и *б*) с изображением совмещена пространственная модель БМС.

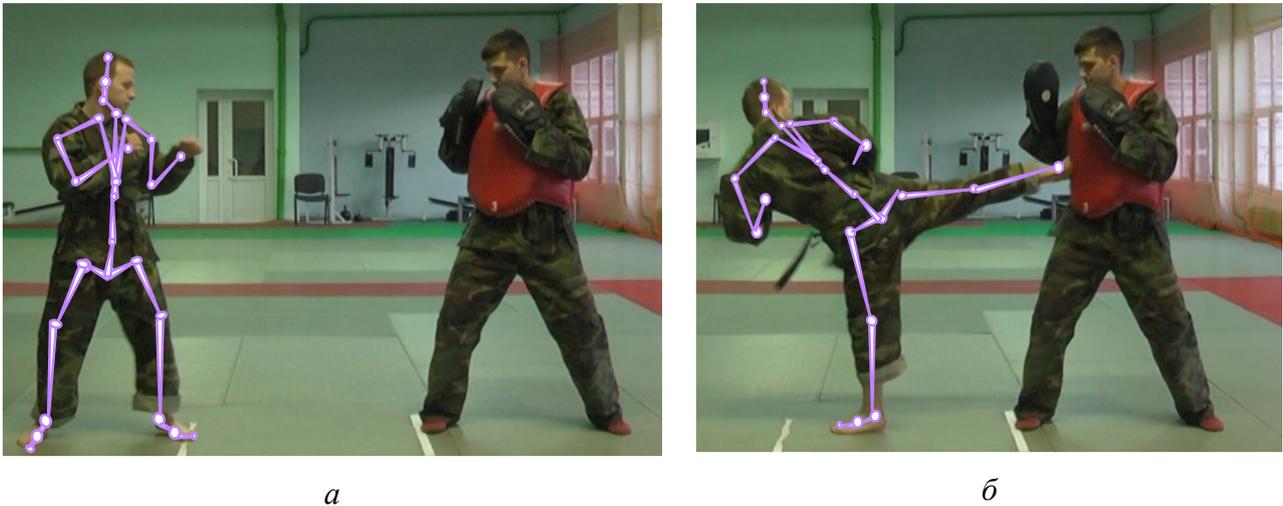


Рисунок 4 — Пространственное движение курсанта:
a — стойка (начало движения); *б* — окончание приема (удар)

Для представления формализованного движения выбирается формат BVH, как наиболее распространенный и наиболее полно описывающий структуру человеческого тела. Аббревиатура BVH обозначает данные Bio Vision Hierarchical [8]. Этот формат дает возможность представления информации об иерархии каркаса тела человека в дополнение к данным о движении. Каждый элемент скелета содержит в себе информацию о смещении и вращении относительно родительского элемента. Вращение представляется в углах Эйлера.

Для отображения движения в BVH-файле для каждой кости в каждом кадре рассчитывается ее локальная матрица трансформации:

$$M=TRS,$$

где T, R, S — матрицы перемещения (translation), вращения (rotation), масштабирования (scale) соответственно в координатах родительского элемента.

Чтобы получить глобальную матрицу трансформации для конкретного узла скелета, локальную матрицу необходимо умножить на матрицу трансформации родительского элемента, для которого работает этот же принцип [9]. Глобальную матрицу трансформации для каждого элемента скелета можно рассчитать по формуле:

$$M_{\text{глоб}}^n = \prod_{i=0}^n M_{\text{локал}}^i. \quad (1)$$

Данные о движении предоставляются в виде иерархии основных узлов скелета человека, где вращение одних суставов относительно других представлено в виде кватернионов (роль вращающихся векторов выполняют кости ске-

лета) [8–11], а смещение представлено в виде трехмерных векторов в локальной для каждого узла системе координат:

$$T_{\text{лок}}^n = (x_n - x_{n-1}, y_n - y_{n-1}, z_n - z_{n-1}),$$

где $T_{\text{лок}}^n$ — локальное смещение n -го узла относительно родительского узла, $n > 0$;

$$T_{\text{глоб}}^n = \prod_{i=0}^n T_{\text{локал}}^i,$$

$T_{\text{глоб}}^n$ — смещение n -го узла относительно глобальной системы координат;

$$Q_{\text{глоб}}^n = \prod_{i=0}^n Q_{\text{локал}}^i,$$

$Q_{\text{глоб}}^n$ — кватернион, представляющий вращение в глобальной СК; $Q_{\text{локал}}^i$ — кватернион, представляющий вращение в локальной СК (относительно родительского элемента); n — порядковый номер узла в иерархической цепочке скелета тела человека; i — порядковый номер дочернего узла в цепочке, $i < n$.

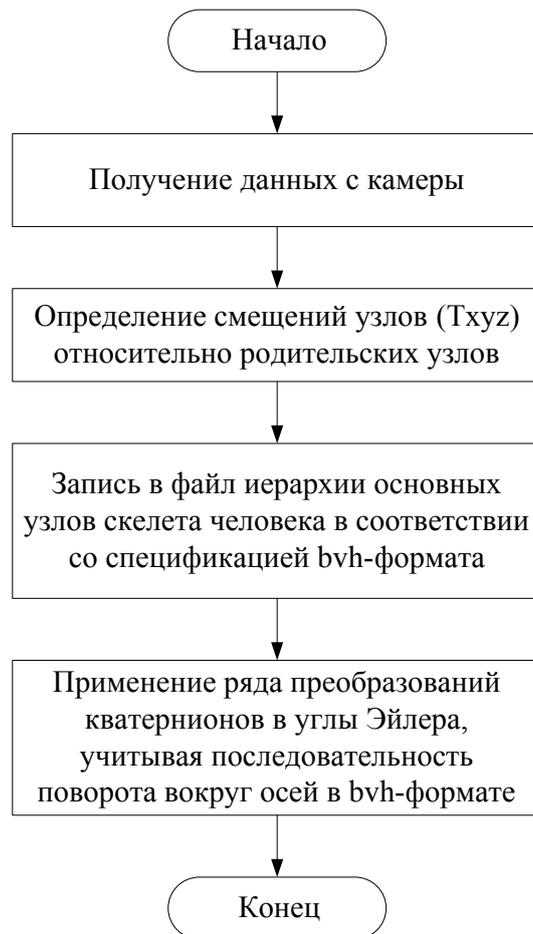
Таким образом, любой узел человеческого тела в представлении движения характеризуется вектором смещения T и кватернионом вращения Q для каждого кадра f :

$$J_n = \langle Q_n T_n f \rangle \begin{matrix} ; n, f \in \mathbb{N} \\ ; Q \in \mathbb{H} \\ ; T \in \mathbb{R}^3 \end{matrix} \quad (2)$$

Чтобы представить движение в формате BVH, необходимо найти соответствие между кватернионными представлениями углов вращений основных суставов человеческого тела и представлением этих же вращений в углах Эйлера.

Таким образом, на основе формул (1) и (2) можно разработать алгоритм представления данных, получаемых в виде кватернионов вращения в виде углов Эйлера, что дает возможность формализовать движения в BVH-файле.

Эту математическую модель представим в виде блок-схемы. Технология «компьютерного зрения» позволяет получить данные с видеокамер о положении тела человека в пространстве в автоматическом режиме [12–16].



Использование видеосъемки с последующей расшифровкой по технологии «компьютерного зрения» позволяет усложнить применяемые в исследованиях модели биомеханических систем и максимально приблизить их к структуре опорно-двигательного аппарата курсанта. Это, в свою очередь, дает возможность провести биомеханический анализ сложных движений, как, например, в различных видах единоборств, и выявить закономерности технических действий на кинематическом и динамическом уровнях с учетом специфики профессионально-прикладной физической подготовки курсантов.

1. Бегун П. И., Афонин П. Н. Моделирование в биомеханике : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 2004. 390 с. [Вернуться к статье](#)

2. 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, Москов. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост. А. Н. Фураев. М. ; Малаховка, 2019. С. 102–107. [Вернуться к статье](#)

3. К вопросу оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы спортсмена / 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. 108–112. [Вернуться к статье](#)

4. 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](#)

5. Motion Capture File Formats Explained [Electronic resource]. URL: <http://www.dcs.shef.ac.uk/intranet/research/public/resmes/CS0111.pdf> (дата обращения: 11.03.2020). [Вернуться к статье](#)

6. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А. В. Заболевая-Зотова [и др.] // Открытое образование. 2011. № 2. С. 59–62. [Вернуться к статье](#)

7. 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](#)

8. Киркор М. А., Покатилов А. Е., Гальмак А. М. Исследование пространственного движения в биомеханике спорта с помощью кватернионов // Проблемы физики, математики и техники. 2019. № 4 (41). С. 92–97. [Вернуться к статье](#)

9. Kulpers Jack V. Quaternions and rotation sequences. Princeton, New Jersey. 1999. 371 с. [Вернуться к статье](#)

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

11. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Загrevский В. И. Сравнительный биомеханический анализ основных динамических характеристик техники рывка в тяжелой атлетике // Мир спорта. 2013. № 1 (50). С. 35–40. [Вернуться к статье](#)

12. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Программно-аппаратный комплекс анализа и коррекции техники тяжелоатлетических упражнений // Вісн. Чернігів. нац. пед. ун-ту. Сер. Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. 2013. Вип. 112 (Т. 3). С. 18–20. [Вернуться к статье](#)

13. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Вариация основных кинематических характеристик штанги в тяжелоатлетическом упражнении «рывок» в зависимости от массы спортивного снаряда // Мир спорта. 2015. № 2 (59). С. 66–69. [Вернуться к статье](#)

14. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Загrevский В. И. Срочная педагогическая коррекция техники рывка в тяжелой атлетике // Мир спорта. 2016. № 3 (64). С. 35–38. [Вернуться к статье](#)

15. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Энергетические характеристики рывка в тяжелой атлетике // Восток-Беларусь-Запад. Физическая культура, спорт, здоровый образ жизни в 21 веке: сб. науч. ст. 17 Междунар. симпозиума ; Могилев, МГУ им. А. А. Кулешова, 11–13 дек. 2014 г. Могилев, 2015. С. 203–207. [Вернуться к статье](#)

16. Воронович Ю. В. Компьютерная программа построения биомеханических характеристик техники тяжелоатлетических упражнений // Актуальные вопросы права, образования и психологии : сб. науч. тр. / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь» ; редкол.: В. В. Борисенко (отв. ред.) [и др.]. Вып. 7. Могилев, 2019. С. 94–98. [Вернуться к статье](#)