

Биомеханическое обоснование техники движений спортсмена в барьерном беге (на примере фазы полета)

Адашевский В.М.¹, Ермаков С.С.², Корж Н.В.¹, Мушкета Радослав², Прусик Кристоф³, Цеслицка Мирослава²

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина¹

Университет Казимира Великого, Быдгощ, Польша²

Академия физического воспитания и спорта, Гданьск, Польша³

Аннотации:

Цель: конструирование теоретической биомеханической модели техники движения спортсмена в барьерном беге с последующей проверкой ее на реальных движениях спортсменов. **Материал:** в практической части исследования принимали участие 10 студентов-спортсменов. **Результаты:** показаны возможности построения теоретической модели техники барьерного бега. В основе построения модели используются известные в теоретической механике подходы. Представлены расчетные и реальные показатели движения спортсмена. **Выводы:** разработанная модель дает хорошее теоретическое представление о взаимосвязях отдельных элементов движения, а также возможность моделирования различных ситуаций и определения оптимальных значений кинематических и динамических характеристик движения спортсмена. Модель позволяет вести коррекцию отдельных элементов движения непосредственно в процессе тренировки. При анализе техники движения следует учитывать индивидуальные особенности физического развития и антропометрические характеристики тела спортсмена.

Адашевський В.М., Ермаков С.С., Корж Н.В., Мушкета Радослав, Прусик Кристоф, Цеслицка Мирослава. Біомеханічне обґрунтування техніки рухів спортсмена в бар'єрному бігу (на прикладі фази польоту). Мета: конструювання теоретичної біомеханічної моделі техніки руху спортсмена в бар'єрному бігу з подальшою перевіркою її на реальних рухах спортсменів. **Матеріал:** у практичній частині дослідження брали участь 10 студентів – спортсменів. **Результати:** показано можливості побудови теоретичної моделі техніки бар'єрного бігу. В основі побудови моделі використовуються відомі в теоретичній механіці підходи. Представлені розрахункові та реальні показники руху спортсмена. **Висновки:** розроблена модель дає гарне теоретичне уявлення про взаємозв'язки окремих елементів руху, а також можливість моделювання різних ситуацій і визначення оптимальних значень кінематичних і динамічних характеристик руху спортсмена. Модель дозволяє вести корекцію окремих елементів руху безпосередньо в процесі тренування. При аналізі техніки руху слід враховувати індивідуальні особливості фізичного розвитку та антропометричні характеристики тіла спортсмена.

Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Korzh N.V., Muszkieto Radoslaw, Prusik Krzysztof, Ciešlicka Mirosława. Biomechanical study athletes' movement techniques in the hurdles (on example of phase of flight). Purpose: To design a theoretical biomechanical model of athletes' movement techniques in the hurdles and then check there movements on real athletes. **Material:** In the practical part of the study participated 10 sportsmen. **Results:** Showing the possibility of constructing a theoretical model of hurdling technique. The basis of constructing a model using the known approaches in theoretical mechanics. Shows the calculated and actual performance movement of the athlete. **Conclusions:** The developed model provides a good theoretical understanding of the interactions of individual elements of movement and the ability to simulate different situations and to determine the optimal values of the kinematic and dynamic characteristics of the movement of the athlete. The model allows the individual elements of motion correction directly in the process of training. When analyzing art movement should consider specific features of physical development and anthropometric characteristics of the athlete's body.

Ключевые слова:

модель, биомеханика, барьерный бег, полет, фаза.

модель, біомеханіка, бар'єрний біг, політ, фаза.

model, biomechanics, hurdling, flight, phase.

Введение

Моделирование различных движений в спортивной деятельности относится к важным элементам анализа структуры и отдельных ее составляющих, таких как скорость, ускорение, кинематические и динамические характеристики. Вместе с тем при конструировании самой модели необходимо иметь определенное представление о виде спорта и его характерных особенностях. Также важным моментом является правильное понимание взаимосвязей между отдельными элементами движения. Все это вместе взятое позволяет создавать некоторое механическое подобие реальному движению. Одним из препятствий в создании качественной модели может быть отсутствие возможности проверки ее работоспособности на практике. Однако, даже теоретическая модель создает хорошие предпосылки к построению реального движения или коррекции его отдельных элементов. Поэтому биомеханическое моделирование является одной из составляющих общего процесса обучения и совершенствования движений, как начинающих, так и опытных спортсменов.

В данном контексте, решение практических задач подготовки спортсменов можно проследить на примере барьерного бега, важной составляющей которого является фаза полета. Известно, что спортивный результат в барьерном беге определяются в основном рациональными биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен на этапах гладкого бега и в фазе полета. В фазе полета такие характеристики определяются скоростью отталкивания, углом вылета, расстоянием от барьера до центра масс тела (ЦМТ) спортсмена, положением ЦМТ спортсмена в фазах отталкивания и перехода через барьер с учетом сил сопротивления воздушной среды.

Проблемы создания биомеханических моделей достаточно подробно представлены в различных исследованиях, направленных на решение как общих, так и приближенных к конкретным видам спорта задачам. Необходимо отдельно выделить фундаментальные работы таких ученых, как Берштейн Н.А. [4], Лапутин А.Н. [15], Донской Д.Д. [11], Дмитриев С.В. [10], которые фактически определили общее направление создания биомеханических моделей и тем самым дали возможность и создали основу для конструирования конкретных движений спортсменов.

© Адашевский В.М., Ермаков С.С., Корж Н.В., Мушкета Радослав, Прусик Кристоф, Цеслицка Мирослава, 2014
doi: 10.6084/m9.figshare.996012

Среди других исследований можно выделить работы, ориентированные на определенные виды спорта: спортивные игры (Носко Н.А. [19]; Строганов С.В. [26]), армспорт (Подригало Л.В., Галашко М.Н., Галашко Н.И. [22]), бег и ходьба (Ермаков С.С., Адашевский В.М. [12]; Адашевский В.М., Ермаков С.С., Зиелинськи Е. [2]; Шепеленко Г.П., Прусик Кр., Прусик К., Ермаков С.С. [33]), таэквондо (Адашевский В.М., Ермаков С.С. [1]), тяжелая атлетика (Сулим С.В., Сергиенко К.Н., Бакум А.В. [27]), легкая атлетика (Ахметов Р.Ф. [3]; Leite Werlaune [39]), гимнастика (Потоп В.А., Град Р., Болобан В.Н. [23]; Потоп В.А., Град Р., Болобан В.Н., Оцупок А.П. [24]). Кроме того, целый ряд исследований техники барьерного бега отражен в публикациях отечественных и зарубежных авторов: проблемы технической подготовки юных барьеристов [16], женщин [17], общих проблем подготовки спортсменов [20, 25, 35]. Биомеханические [3, 6, 12, 34, 36-38, 40-42] и другие проблемы подготовки спортсменов в легкой атлетике и барьерном беге нашли свое отражение в нескольких работах [7-9, 14, 18, 28-32].

Среди исследований биомеханических параметров техники барьерного бега выделяется работа Мехрикадзе В.В., Черенева Л.А., 2008 [5]. Авторы отмечают, что техническое мастерство выполнения барьерного шага обусловлено слитным выполнением всех пяти фаз по наиболее пологой траектории движения ОЦМТ, высшая точка которой находится перед барьером.

Вместе с тем, все еще все еще требуют более глубокого изучения проблемы техники барьерного бега с учетом новых условий тренировки спортсменов, современного оборудования и технических устройств.

Цель, задачи работы, материал и методы.

Цель работы – конструирование теоретической биомеханической модели техники движения спортсмена в барьерном беге с последующей проверкой ее на реальных движениях спортсменов.

Задачи исследования:

- составить расчётную схему для определения влияния на результативность скорости отталкивания, угла вылета центра масс тела спортсмена, силы сопротивления среды, положения центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через барьер;

- составить физико-математическую модель и решить задачу динамики полёта тела.

В исследовании принимали участие студенты-спортсмены Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Расчёты выполнялись с помощью программного комплекса «КИДИМ», разработанного на кафедре теоретической механики НТУ «ХПИ».

Результаты исследования

Теоретическая модель техники движений спортсмена позволила выделить характеристики траектории полёта тела в зависимости от: начальной скорости вылета центра масс тела спортсмена; угла вылета центра масс тела спортсмена; высоты вылета (оттал-

кивания) центра масс тела спортсмена; силы сопротивления среды; расстояния от барьера до центра масс тела спортсмена.

На первом этапе исследования была составлена расчётная схема для определения рациональных параметров в барьерном беге в зависимости от начальной скорости вылета, угла вылета, высоты вылета и полёта центра масс тела спортсмена (рис. 1).

Рассмотрим влияние начальной скорости вылета, угла вылета, высоты вылета и полёта центра масс тела с учётом переменных значений сил сопротивления аэросреды, в зависимости от миделя спортсмена.

В проекциях на оси декартовой абсолютной системы координат:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha_0$$

Выражение абсолютной начальной скорости вылета центра масс,

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

$h_{c_0} = h_0$ – высота вылета центра масс тела в начальное время вылета,

$\alpha_0 = \alpha_{c_0}$ – угол вылета центра масс тела,

G – сила тяжести тела,

R_c – сила сопротивления воздушной среды.

Для решения поставленной задачи сила аэродинамического сопротивления R_c для тел, движущихся в воздушной среде плотностью ρ , равна

$$R_c = 0.5 \cdot c_r \cdot \rho s V^2; \quad R_c = k V^2.$$

При подсчёте этих сил безразмерные коэффициенты лобового сопротивления c_r определяют в зависимости от формы тела и его ориентации в среде. Величина S (мидель) определяется величиной проекции площади поперечного сечения тела на плоскость перпендикулярную оси движения.

V – абсолютная скорость тела.

Плотность воздуха – $\rho \approx 1.3 \text{ кг/м}^3$.

Так как тело спортсмена в полете изменяет свою позу, соответственно изменяется величина миделя S . При решении данной задачи примем усреднённые переменные значения миделя S и коэффициента лобового сопротивления c_r , а соответственно коэффициентов (k) для 6-ти промежутков времени полёта.

Предварительно определим (положение) координаты центра масс тела спортсмена в момент перехода через барьер для его рациональной позы, которые в выбранной системе отсчёта вычисляют по следующим формулам:

$$x_C = \frac{\sum_{k=1}^n m_k x_k}{\sum_{k=1}^n m_k}; \quad y_C = \frac{\sum_{k=1}^n m_k y_k}{\sum_{k=1}^n m_k}$$

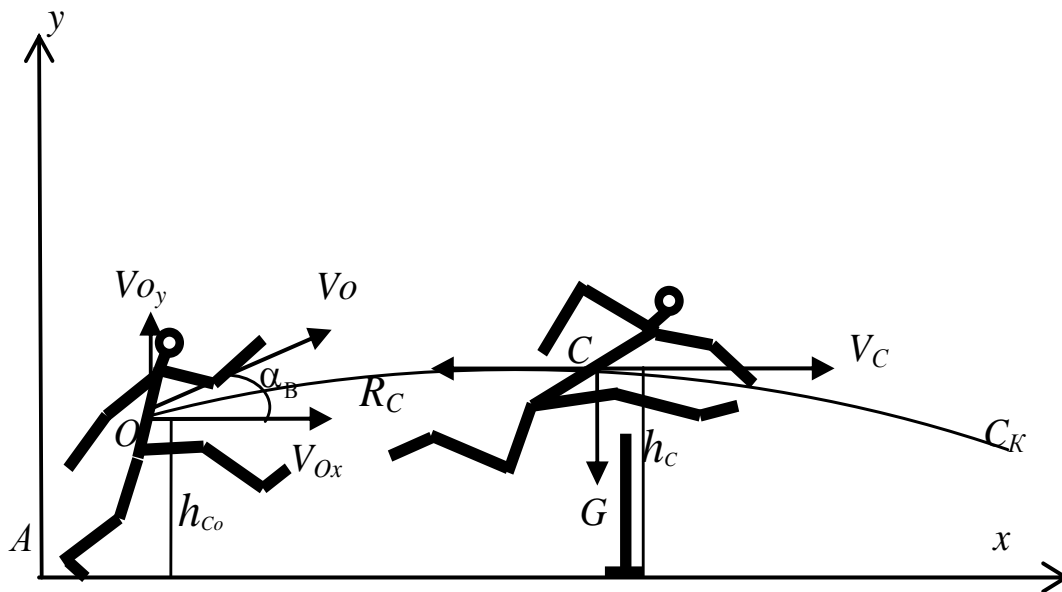


Рис. 1. Расчётная схема для определения начальной скорости вылета, угла вылета, высоты вылета центра масс тела перед барьером.

$V_0 = V_{C_0}$ - начальная скорость вылета центра масс тела, V_{0x} - проекция скорости вылета центра масс тела на ось Ox , V_{0y} - проекция скорости вылета центра масс тела на ось Oy , V - текущая скорость центра масс тела.

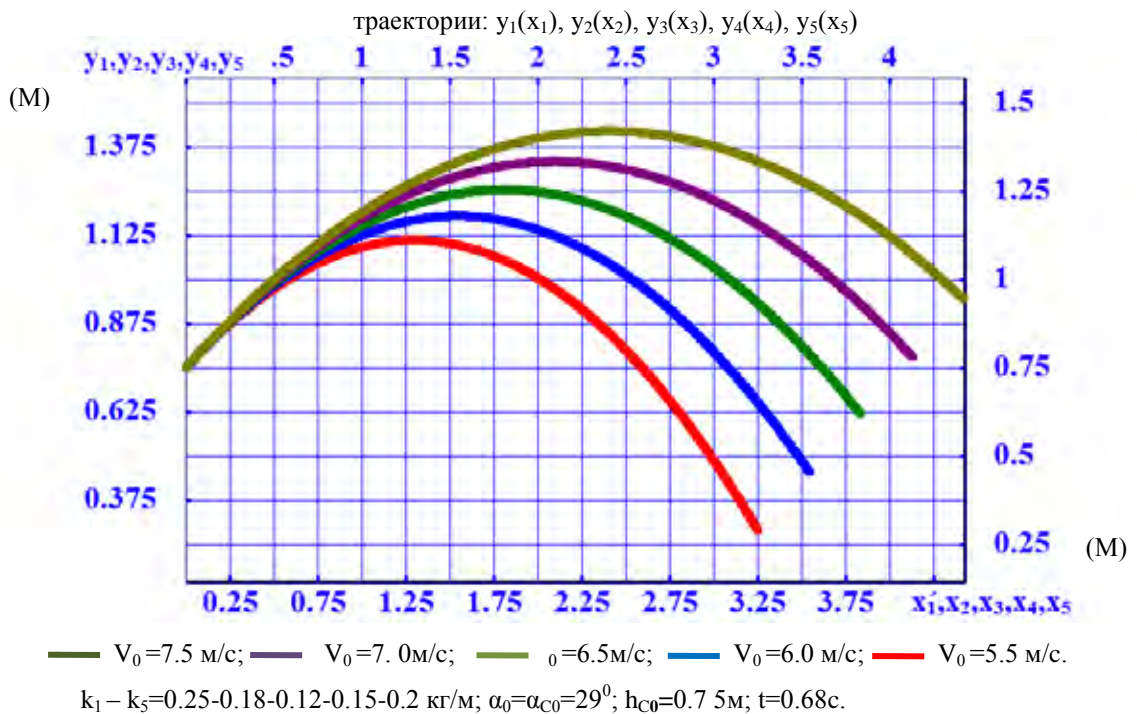


Рис. 2. Сравнительные графические характеристики траекторий в фазе полёта от начальных скоростей вылета центра масс тела

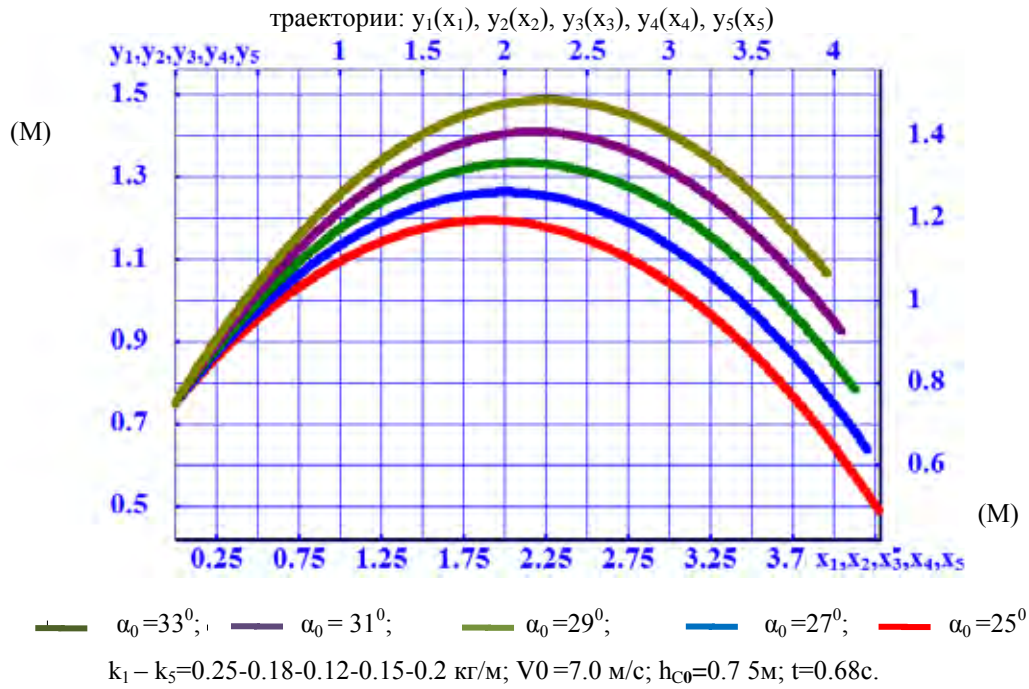


Рис. 3. Сравнительные графические характеристики траекторий в фазе полёта от углов вылета центра масс тела

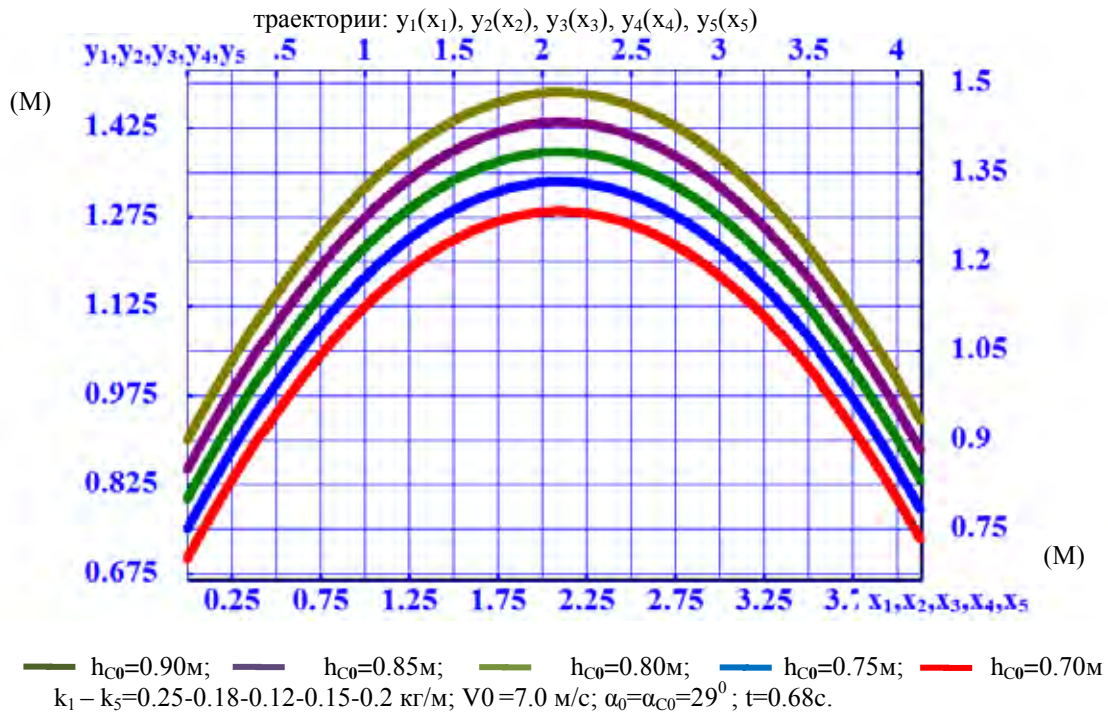


Рис. 4. Сравнительные графические характеристики траекторий в фазе полёта от высот вылета центра масс тела

$\sum_{k=1}^n m_k = m$ – масса биомеханической системы,
 x_k, y_k – координаты центра масс сегментов тела.

Получим, $x_c = 0,0013m$, $y_c = 0,14m$, для системы декартовых координат ОХУ, которая жестко связана с телом человека с началом отсчета в антропометрической точке, принадлежащей вершине остистого отростка пятого поясничного позвонка.

С учётом положения нижних конечностей в момент перехода через барьер минимальная рациональная высота центра масс тела над барьером в среднем должна быть в пределах 0,3-0,4м.

Так как тело спортсмена движется в одной из анатомических плоскостей – сагиттальной, составим уравнения динамики в проекциях на две оси координат.

$$m\ddot{x}_c = P_x^e; \quad m\ddot{y}_c = P_y^e.$$

Здесь m – масса тела, \ddot{x}_c, \ddot{y}_c – соответствуют проекциям ускорения центра масс, P_x^e, P_y^e – проекции равнодействующей сил действующих на тело

При движении в плоскости хАу, систему уравнений можно записать так:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -R_{cx}; \quad m\ddot{y} = -G - R_{cy}; \\ m\ddot{x} &= -R_c \cos \alpha; \quad m\ddot{y} = -mg - R_c \sin \alpha; \\ \cos \alpha &= \frac{\dot{x}}{v}; \quad \sin \alpha = \frac{\dot{y}}{v}; \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \end{aligned}$$

α – угол между проекциями скорости центра масс и вектором его скорости, определяющий знаки проекций векторов сил на оси координат.

Решение этой задачи требует интегрирования дифференциальных уравнений движения.

Получим графические зависимости параметров траекторий барьерного бега:

- от абсолютной начальной скорости вылета центра масс тела перед барьером при принятом значении угла вылета и высоты центра масс тела (рис. 2);
- от угла вылета центра масс тела при принятом значении начальной скорости вылета (рис. 3);
- от начальной высоты центра масс тела при принятом значении начальной скорости вылета и угла вылета (рис. 4);
- от сил сопротивления среды (рис. 5.);
- от горизонтальных расстояний вылета центра масс тела от барьера (рис. 6).

Анализ сравнительных графических характеристик траекторий в фазе полёта от начальных скоростей вылета центра масс тела показывает, что спортсмены с более высокой начальной скоростью вылета $V_0 = 7.5$ м/с контактируют с дорожкой после преодоления барьера на большем расстоянии от барьера, что соответствующим образом улучшает результат бега. Спортсмены с малой начальной скоростью вылета $V_0 = 5.5$ м/с, контактируют с дорожкой после преодоления барьера на меньшем расстоянии от барьера, а в

некоторых случаях могут сбивать барьеры из-за критической высоты центра масс тела над барьером, чем соответственно ухудшают результат бега.

Анализ сравнительных графических характеристик траекторий в фазе полёта от углов вылета центра масс тела показывает, что выбор наименьших рациональных углов вылета ($\alpha_0 = 29^\circ$), также значительно улучшает результат. Здесь следует отметить, что при малых углах вылета ($\alpha_0 = 25^\circ$) спортсмен может не преодолеть барьер. То есть углы вылета центра масс тела необходимо выбирать согласно физическим данным конкретного человека и начальным параметрам вылета.

Анализ сравнительных графических характеристик траекторий в фазе полета от высот вылета центра масс тела при других постоянных кинематических и геометрических характеристиках показывает, что результат мало изменяется.

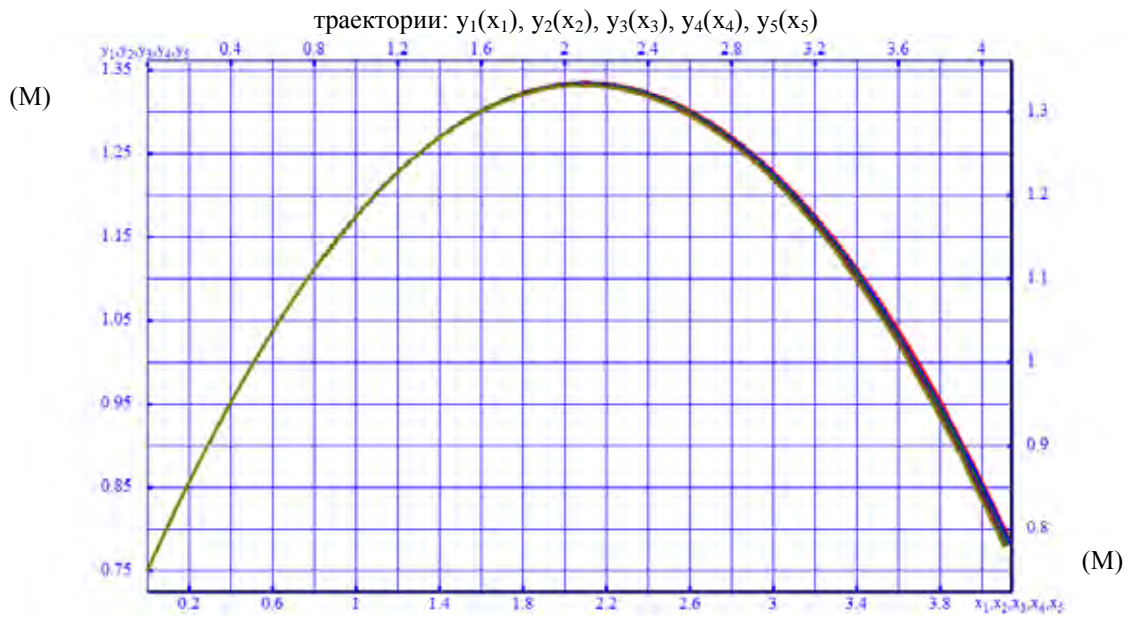
Анализ сравнительных графических характеристик траекторий в фазе полета от сил сопротивления среды выявил, что для рассматриваемых скоростей полёта над барьерами силы сопротивления среды оказывают малое влияние на результативность. В других случаях, например при встречном ветре большой силы это влияние может оказаться весьма значительным.

Анализ сравнительных графических характеристик траекторий в фазе полёта от горизонтальных расстояний вылета центра масс тела от барьера при других постоянных кинематических и геометрических характеристиках показывает, что место контакта с дорожкой после завершения фазы полёта обратно пропорционально расстояниям вылета центра масс тела от барьера. Высота траектории над барьером также обратно пропорциональна этим расстояниям и может иметь минимальные значения, при которых барьеры могут быть сбиты.

Таким образом, используя графические характеристики для определения параметров барьерного бега в зависимости от скорости вылета, угла и высоты центра масс тела вылета, возможно при их анализе откорректировать действия спортсмена в начальной фазе и улучшить результат с учётом конкретных физических данных и возможностей спортсменов.

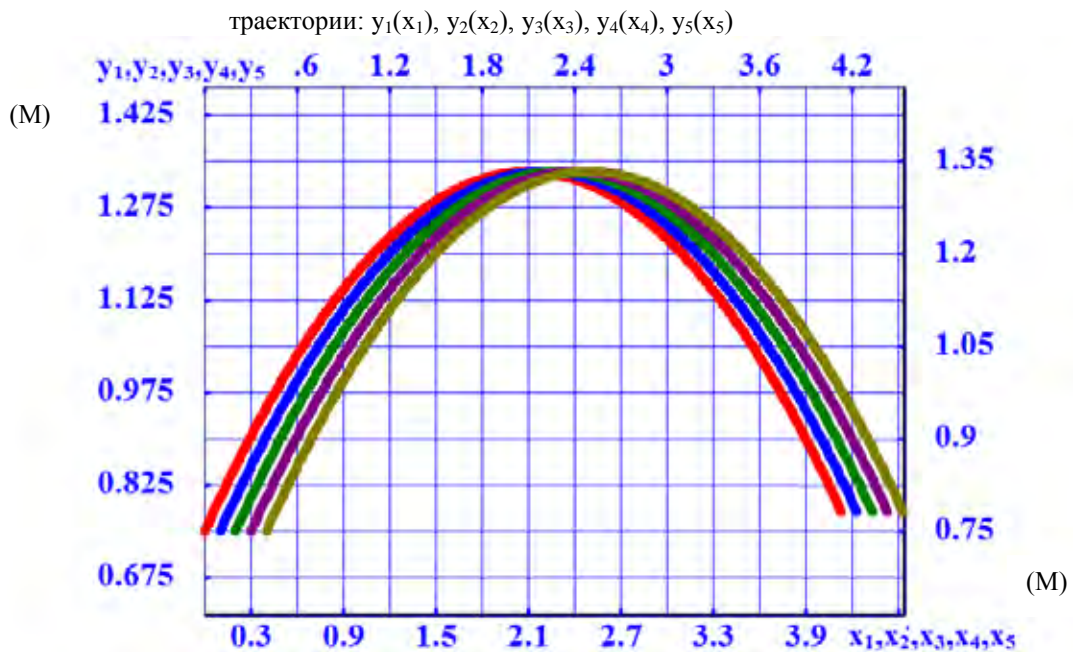
Результаты теоретических исследований в достаточной степени характеризуют практическую сторону особенности выполнения барьерного шага на дистанциях 100, 110 и 400 м у мужчин и женщин (рис 7).

Параметры барьерного бега характеризуются высоким положением ЦМТ перед отталкиванием на барьер, высокой скоростью и относительно далеким местом отталкивания, что позволяет: 1 – оттолкнуться под более острым углом и быстрее приземлиться, 2 – выполнить вход на барьер в беговом наклоне, 3 – предотвратить прыжковое действие. Во время барьерного шага отдельные части тела – руки, ноги, туловище приближаются к траектории ЦМТ и способствуют прямолинейности и непрерывности движения [5]. Такой подход позволяет создавать



$k_1 - k_5 = 0.25 - 0.18 - 0.12 - 0.15 - 0.2$ кг/м; $k_1 - k_5 = 0.5 - 0.36 - 0.24 - 0.3 - 0.4$ кг/м.
 $V_0 = 7.0$ м/с; $\alpha_0 = \alpha_{c0} = 29^\circ$; $h_{c0} = 0.75$ м; $t = 0.68$ с.

Рис. 5. Сравнительные графические характеристики траекторий в фазе полёта от сил сопротивления среды



— $X_{1c0} = 2.5$ м; — $X_{2c0} = 2.4$ м; — $X_{3c0} = 2.3$ м; — $X_{4c0} = 2.2$ м; — $X_{5c0} = 2.1$ м.
 $k_1 - k_5 = 0.25 - 0.18 - 0.12 - 0.15 - 0.2$ кг/м; $V_0 = 7.0$ м/с; $\alpha_0 = \alpha_{c0} = 29^\circ$; $h_{c0} = 0.75$ м; $t = 0.68$ с.

Рис. 6. Сравнительные графические характеристики траекторий в фазе полёта от горизонтальных расстояний вылета центра масс тела от барьера

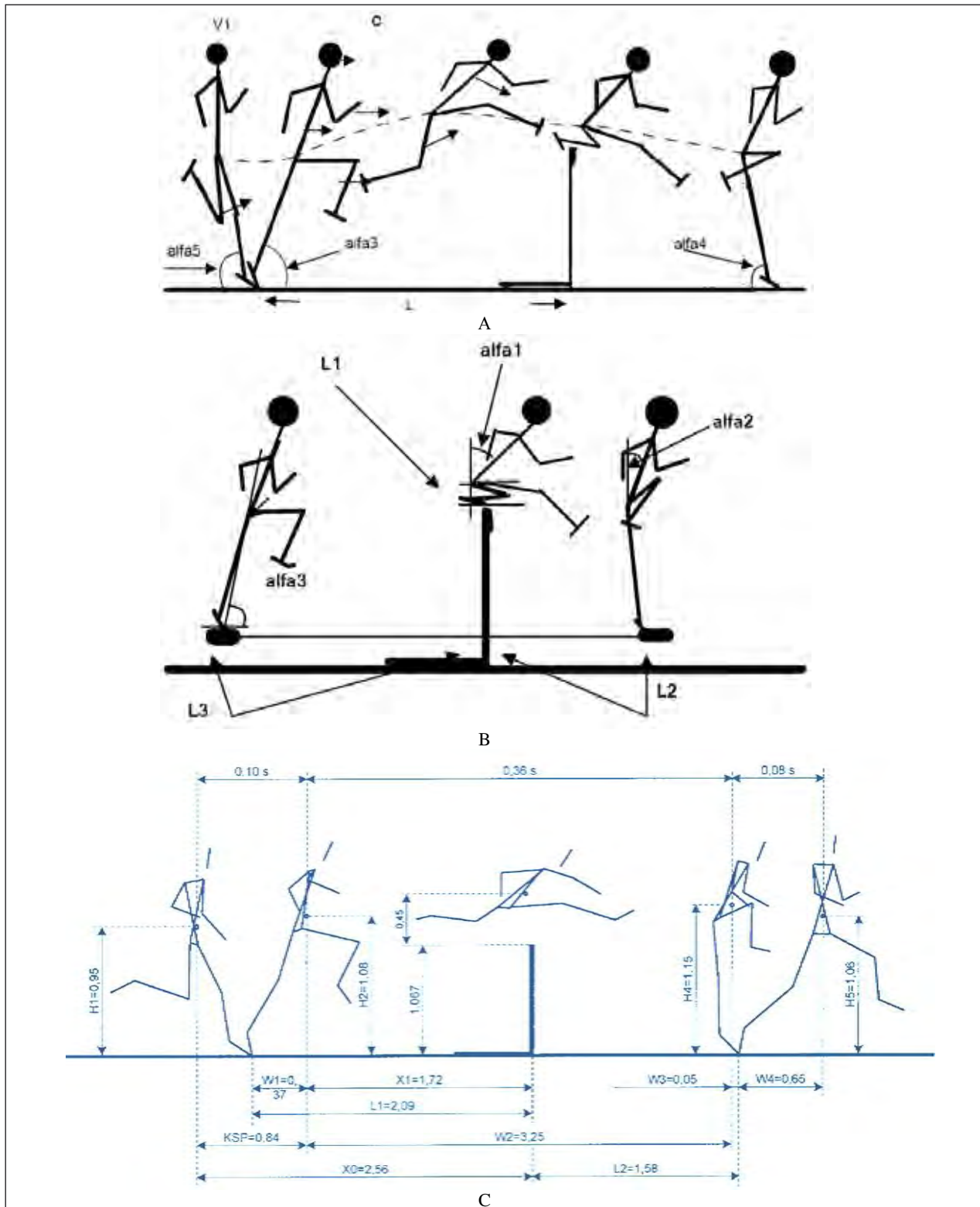


Рис. 7. Кинематические параметры барьерного шага (А, В - по данным Мехрикадзе В.В., Черенева Л.А., 2008; С - по данным Milan Coh, 2003):

L1 - расстояние (см) от барьера до наивысшей точки ОЦМТ 110 м = 14, 100 м = 37, 400 м, муж. = 38, жен. = 39; α_1 - угол наклона туловища над барьером: 110 м = 42°, 100 м = 40° 400 м, муж. = 32°, жен. = 30°; α_2 - угол наклона туловища при приземлении: 110 м = 27°, 100 м = 24° 400 м, муж. = 24°, жен. = 23°; α_3 - угол отталкивания; L2 - расстояние (см) от барьера до места приземления 1/3 барьерного шага или 110 м = 140, 100 м = 100, 400 м, муж. = 140, жен. = 115; L3 - расстояние (см) от места отталкивания до барьера 2/3 барьерного шага или 110 м = 209, 100 м = 200, 400 м, муж. = 225, жен. = 200; V1 - скорость бега перед отталкиванием; С - положение ЦМТ в момент отталкивания; L - расстояния от места отталкивания до барьера; α_4 - угол приземления; α_5 - угол постановки ноги.

оптимальные параметры в реальном движении спортсмена.

Выводы.

Таким образом, разработанная модель дает хорошее теоретическое представление о взаимосвязях отдельных элементов движения, а также возможность моделирования различных ситуаций и определения оптимальных значений кинематических и динамических характеристик движения спортсмена. Модель позволяет вести коррекцию отдельных эле-

ментов движения непосредственно в процессе тренировки. При анализе техники движения следует учитывать индивидуальные особенности физического развития и антропометрические характеристики тела спортсмена.

В перспективе имеется возможность совершенствования самой модели на основе использования существующих систем видеоанализа движений.

Литература

1. Адашевский В.М., Ермаков С.С. Основные кинематические характеристики ударных действий в таэквондо // Физическое воспитание студентов. – 2010. – № 4. – С. – 3 – 5.
2. Адашевский В.М., Ермаков С.С., Зиелинский Е. Определение энергетических и силовых характеристик при ходьбе со вспомогательными средствами отталкивания (палками) от нижней опоры // Физическое воспитание студентов. – 2012. – № 4. – С. – 5 – 8.
3. Ахметов Р.Ф. Современные биомеханические технологии в практике подготовки спортсменов. // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2011. – № 1. – С. – 7 – 9.
4. Бернштейн Н.А. О построении движений. М., 1947. – 144 с.
5. Мехриказде В.В., Черенева Л.А. Барьерный бег (техника и методика обучения) / Учебно-методическое пособие. – М.: РГСУ, РГУФКСИТ, 2008. – 78 с.
6. Бобровник В.И. Структура и логическая организация современных исследований в легкоатлетическом спорте // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2014. – № 3. – С. 3-18. doi:10.6084/m9.figshare.936956
7. Буренко М. С. Влияние антропометрических данных мужчин-спринтеров на результат в беге на 200 м. // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2009. – № 5. – С. – 32 – 36.
8. Виноградов В.Е. Воздействия восстановительной и мобилизационной направленности для реализации потенциала специальной работоспособности легкоатлетов-спринтеров высокой квалификации // Физическое воспитание студентов. – 2011. – № 1. – С. – 29 – 33.
9. Горлов А.С. Изменения педагогических показателей двигательной функции у бегунов-спринтеров 14-17 лет под влиянием восстановительных микроциклов подготовительных периодов // Физическое воспитание студентов. – 2011. – № 4. – С. – 22 – 26.
10. Дмитриев С.В. Д.Д.Донской и развитие отечественной биомеханики: от биоцентризма к психосемантике двигательных действий // Физическое воспитание студентов. – 2011. – № 1. – С. – 59 – 67.
11. Донской Д. Д. Биомеханика : [уч. пособие] / Д. Д. Донской. – М. : Просвещение, 1975. – 240 с.
12. Ермаков С.С., Адашевский В.М. Теоретическое и экспериментальное определение биомеханических характеристик бега // Физическое воспитание студентов. – 2010. – № 4. – С. – 26 – 29.
13. Искра Я. Скорость бега и способность к воспроизведению ритма в сравнении с результатами в беге с барьерами у 13-15-летних не тренирующихся девочек и мальчиков / Я. Искра // Теория и практика физической культуры. – 1999. – № 6. - С. 16-18.
14. Кедровский Б.Г., Шалар О.Г., Гриневич А.В. Взаимопонимание тренеров с юными спортсменами // Физическое воспитание студентов. – 2013. – № 4. – С. 31-34. doi:10.6084/m9.figshare.669666
15. Лапутин А. Н. Практическая биомеханика / А. Н. Лапутин, В. В. Гамалий, А. А. Архипов. – К. : Науковий світ, 2000. – 298 с.
16. Ледовская О.А. Технология формирования ритмической структуры барьерного бега у юных легкоатлетов на этапе начальной спортивной специализации / Ледовская Ольга Анатольевна. дисс.канд.пед.наук. Челябинск. – 2009. – 165 с.
17. Лисовская Т. И. Исследование техники и скорости бега на 100 м с барьерами у женщин и пути ее совершенствования : автореф.

References:

1. Adashevskij V.M., Iermakov S.S. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2010, vol.4, pp. 3 - 5.
2. Adashevskij V.M., Iermakov S.S., Zielins'ki E. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2012, vol.4, pp. 5 - 8.
3. Akhmetov R.F. *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologicni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2011, vol.1, pp. 7 - 9.
4. Bernshtejn N.A. *O postroenii dvizhenij* [On the construction of movements], Moscow, 1947, 144 p.
5. Mekhrikadze V.V., Chereveva L.A. *Bar'ernyj beg* [Hurdling], Moscow, RSUPCST, 2008, 78 p.
6. Bobrovnik V.I. *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologicni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2014, vol.3, pp. 3-18. doi:10.6084/m9.figshare.936956
7. Burenko M. S. *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologicni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2009, vol.5, pp. 32 - 36.
8. Vinogradov V.E. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2011, vol.1, pp. 29 - 33.
9. Gorlov A.S. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2011, vol.4, pp. 22 - 26.
10. Dmitriev S.V. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2011, vol.1, pp. 59 - 67.
11. Donskoj D. D. *Biomehanika* [Biomechanics], Moscow, Education, 1975, 240 p.
12. Iermakov S.S., Adashevskij V.M. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2010, vol.4, pp. 26 - 29.
13. Iskra IA. *Teoriia i praktika fizicheskoj kul'tury* [Theory and practice of physical culture], 1999, vol.6, pp. 16-18.
14. Kedrovskij B.G., Shalar O.G., Grinevich A.V. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2013, vol.4. - C. 31-34. doi:10.6084/m9.figshare.669666
15. Laputin A. N., Gamalij V. V., Arkhipov A. A. *Prakticheskaia biomehanika* [Practical biomechanics], Kiev, Scientific World, 2000, 298 p.
16. Ledovskaia O.A. *Tekhnologija formirovaniia ritmicheskoi struktury bar'ernogo bega u iunykh legkoatletov na etape nachal'noj sportivnoj specializacii* [The technique of forming the rhythmic structure of hurdling in young athletes at the initial stage of sports specialization], Cand. Diss., Chelyabinsk, 2009, 165 p.
17. Lisovskaia T. I. *Issledovanie tekhniki i skorosti bega na 100 m s bar'erami u zhenshchin i puti ee sovershenstvovaniia* [Study of technique and running speed at 100 m hurdles for women and ways to improve], Cand. Diss., Moscow, 1974, 20 p.
18. Maleniuk T.V. *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologicni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2010, vol.5, pp. 90 - 92.
19. Nosko N. A. *Pedagogicheskie osnovy obucheniiia molodezhi i vzroslykh dvizheniiam so slozhnoj biomehanicheskoi strukturoj* [Pedagogical foundations of youth and adult education movements

- дис. . канд. пед. наук / Т. И. Лисовская ; ГЦОЛИФК. – М., 1974. – 20 с.
18. Маленюк Т.В. Совершенствование технической подготовки спринтеров на начальном этапе спортивной тренировки // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2010. – № 5. – С. – 90 – 92.
 19. Носко Н. А. Педагогические основы обучения молодежи и взрослых движениям со сложной биомеханической структурой / Н. А. Носко. – К. : Науковий світ, 2000. – 336 с.
 20. Оринчук В.А. Легкая атлетика и методика преподавания: учебное пособие для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 034400 – «Физическая культура для лиц с отклонением в состоянии здоровья (Адаптивная физическая культура)», 034300 – «Физическая культура» / В. А. Оринчук, А. Н. Оринчук. – Нижний Новгород: ООО Издательство Пламя, 2012. – 122 с.
 21. Отрубянников Р. Я. Спринт с барьерами / Р. Я. Отрубянников, Е. А. Разумовский. – Киев : Здоров'я, 1988. – 117 с.
 22. Подригало Л.В., Галашко М.Н., Галашко Н.И. Гониометрическое исследование спортсменов армспорта // Физическое воспитание студентов. – 2013. – № 1. – С. 45-48. doi:10.6084/m9.figshare.156357
 23. Потоп В.А., Град Р., Болобан В.Н. Биомеханические показатели узловых элементов спортивной техники гимнастических упражнений // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2013. – № 9. – С. 59-72. doi:10.6084/m9.figshare.751559
 24. Потоп В.А., Град Р., Болобан В.Н., Оцупок А.П. Биомеханическая характеристика соскоков с гимнастического бревна на основе анализа узловых элементов спортивной техники // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2013. – № 12. – С. 58-66. doi:10.6084/m9.figshare.880619
 25. Степанова М. Барьерный бег на 400 метров / М. Степанова, В. Степанов. – М. : Олимпия Пресс : Terra-Спорт, 2002. – 176 с.
 26. Строганов С.В. Особенности силовых взаимодействий между стопой и опорой при выполнении специальных тестов юными баскетболистами // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2013. – № 12. – С. 82-86. doi:10.6084/m9.figshare.880632
 27. Сулим С.В., Сергиенко К.Н., Бакум А.В. Влияние веса отягощения на биодинамические характеристики системы спортсмен-штанга // Физическое воспитание студентов. – 2010. – № 3. – С. – 95 – 98.
 28. Трофимов В.А. Шилкин Г.Н. Особенности методики проведения урока по легкой атлетике в современной школе // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2009. – № 6. – С. – 150 – 154.
 29. Тюпа В. Биодинамика преодоления барьера (исследование внутри-циклового характера барьерного бега) / В. Тюпа, Н. Михайлов, Н. Якунин, М. Каймин // Легкая атлетика. – 1978. – № 12. – С. 12-13.
 30. Фоменко Л.А. Адаптационный потенциал у спринтеров при физических нагрузках. // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2009. – № 3. – С. – 151 – 154.
 31. Халилов В. Отбор в барьерном беге / В. Халилов, Б. Табачник // Легкая атлетика. – 1984. – № 2. – С. 6-8.
 32. Чистяков В. В. Экспериментальное обоснование применения средств специальной физической подготовки спортсменов-барьеристов высокой квалификации (110 м с/б): автореф. дис. . канд. пед. наук / В. В. Чистяков ; ВНИИФК. – М., 1975. – 22 с.
 33. Шепеленко Г.П., Прусик Кр., Прусик К., Ермаков С.С. Терминологические понятия и структурные особенности техники ходьбы с палками. // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2012. – № 11. – С. – 108 – 112. doi:10.6084/m9.figshare.97374
 34. Bergamini E., Picerno P., Pillet H., Natta F., Thoreux P., Camomilla V. Estimation of temporal parameters during sprint running using a trunk-mounted inertial measurement unit. *Journal of Biomechanics*. 2012, vol.45(6), pp. 1123-1126. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.12.020.
 35. Blazeovich A.J., Jenkins D. Physical performance differences between weight-trained sprinters and weight trainers. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 1998, vol.1(1), pp. 12-21. doi:10.1016/S1440-2440(98)80004-2.
 36. Exell T.A., Gittos M.J.R., Irwin G., Kerwin D.G. Gait asymmetry: Composite scores for mechanical analyses of sprint running. *Journal of Biomechanics*. 2012, vol.45(6), pp. 1108-1111. doi:10.1016/j.jbiomech.2012.01.007.
 - with complex biomechanical structure], Kiev, Scientific World, 2000, 336 p.
 20. Orinchuk V.A., Orinchuk A.N. *Legkaia atletika i metodika prepodavaniia* [Athletics and teaching methods], Nizhny Novgorod, Flame Publ., 2012, 122 p.
 21. Otrubiannikov R. Ia., Razumovskij E. A. *Sprint s bar'erami* [Sprint hurdles], Kiev, Health, 1988, 117 p.
 22. Podrigalo L.V., Galashko M.N., Galashko N.I. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2013, vol.1, pp. 45-48. doi:10.6084/m9.figshare.156357
 23. Potop V.A., Grad R., Boloban V.N. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2013, vol.9, pp. 59-72. doi:10.6084/m9.figshare.751559
 24. Potop V.A., Grad R., Boloban V.N., Ocupok A.P. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2013, vol.12, pp. 58-66. doi:10.6084/m9.figshare.880619
 25. Stepanova M., Stepanov V. *Bar'ernyj beg na 400 metrov* [Hurdling 400 meters], Moscow, Terra-Sport, Olympia Press, 2002, 176 p.
 26. Строганов С.В. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2013, vol.12, pp. 82-86. doi:10.6084/m9.figshare.880632
 27. Sulim S.V., Sergienko K.N., Bakum A.V. *Fiziceskoe vospitanie studentov* [Physical Education of Students], 2010, vol.3, pp. 95 - 98.
 28. Trofimov V.A. Shilkin G.N. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2009, vol.6, pp. 150 - 154.
 29. Tiupa V., Mikhajlov N., Iakunin N., Kajmin M. *Legkaia atletika* [Track and field], 1978, vol.12, pp. 12-13.
 30. Fomenko L.A. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2009, vol.3, pp. 151 - 154.
 31. Khalilov V., Tabachnik B. *Legkaia atletika* [Track and field], 1984, vol.2, pp. 6-8.
 32. Chistiakov V. V. *Eksperimental'noe obosnovanie primeneniia sredstv special'noj fizičeskoj podgotovki sportsmenov-bar'eristov vysokoj kvalifikacii* [Experimental substantiation of the use of means of special physical preparation of athletes, hurdler qualifications], Cand. Diss., Moscow, 1975, 22 p.
 33. Shepelenko G.P., Prusik Kr., Prusik K., Iermakov S.S. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologični problemi fizičnogo vohovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2012, vol.11, pp. 108 - 112. doi:10.6084/m9.figshare.97374
 34. Bergamini E., Picerno P., Pillet H., Natta F., Thoreux P., Camomilla V. Estimation of temporal parameters during sprint running using a trunk-mounted inertial measurement unit. *Journal of Biomechanics*. 2012, vol.45(6), pp. 1123-1126. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.12.020.
 35. Blazeovich A.J., Jenkins D. Physical performance differences between weight-trained sprinters and weight trainers. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 1998, vol.1(1), pp. 12-21. doi:10.1016/S1440-2440(98)80004-2.
 36. Exell T.A., Gittos M.J.R., Irwin G., Kerwin D.G. Gait asymmetry: Composite scores for mechanical analyses of sprint running. *Journal of Biomechanics*. 2012, vol.45(6), pp. 1108-1111. doi:10.1016/j.jbiomech.2012.01.007.
 37. Huang C-F., Kao C-S. Biomechanical differences between jumpers and sprinters on long jump performance. *Journal of Biomechanics*. 2007, vol.40, pp. 748-752. doi:10.1016/S0021-9290(07)70736-4.
 38. Iiboshi A., Ae M., Suenaga M., Miyashita K. Biomechanical study on sprint form and muscle strain. *Journal of Biomechanics*. 1989, vol.22(10), pp. 1028. doi:10.1016/0021-9290(89)90294-7.
 39. Leite Werlayne. Biomechanical analysis of running in the high jump. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, 2013, vol.2, pp. 99-105. doi:10.6084/m9.figshare.639261

37. Huang C-F, Kao C-S. Biomechanical differences between jumpers and sprinters on long jump performance. *Journal of Biomechanics*. 2007, vol.40, pp. 748-752. doi:10.1016/S0021-9290(07)70736-4.
38. Iiboshi A., Ae M., Suenaga M., Miyashita K. Biomechanical study on sprint form and muscle strain. *Journal of Biomechanics*. 1989, vol.22(10), pp. 1028. doi:10.1016/0021-9290(89)90294-7.
39. Leite Werlayne. Biomechanical analysis of running in the high jump. //Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports, 2013, vol.2, pp. 99-105. doi:10.6084/m9.figshare.639261
40. Milan Coh. Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. // *New Studies in Athletics*. 2003, vol.18(1), pp. 37-45.
41. Slawinski J., Bonnefoy A., Ontanon G.. Segment-interaction in sprint start: Analysis of 3D angular velocity and kinetic energy in elite sprinters. *Journal of Biomechanics*. 2010, vol.43(8), pp. 1494-1502. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.01.044.
42. Ward-Smith A.J. The influence of aerodynamic and biomechanical factors on long jump performance. *Journal of Biomechanics*. 1983, vol.16(8), pp. 655-658. doi:10.1016/0021-9290(83)90116-1.

Информация об авторах

Адашевский Владимир Михайлович: ORCID: 0000-0002-9061-8124; adashevsky@ukr.net; Национальный технический университет «ХПИ»; ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина

Ермаков Сергей Сидорович: д.п.н., проф.; ORCID: 0000-0002-5039-4517; sportart@gmail.com; Университет Казимира Великого в Быдгощ; ул. Ходкевича 30, г.Быдгощ 85-064, Польша.

Корж Наталья Васильевна: ORCID: 0000-0001-6330-5360; Korzhnata@mail.ru; Национальный технический университет «ХПИ»; ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина

Мушкета Радослав Каролиевич: д.п.н., проф.; ORCID: 0000-0001-6057-1583; radek@muszkieteta.com; Университет Казимира Великого в Быдгощ; ул. Ходкевича 30, г.Быдгощ 85-064, Польша.

Прусик Кристоф Янович: д.п.н., проф.; ORCID: 0000-0001-7534-675X; prusik@hot.pl; Академия физического воспитания и спорта; Ул. Веска 1, 80-336, Гданьск, Польша

Цеслицка Мирослава Зигмунтовна: ORCID: 0000-0002-0407-2592; rektor@ukw.edu.pl; Университет Казимира Великого в Быдгощ; ул. Ходкевича 30, г.Быдгощ 85-064, Польша.

Цитируйте эту статью как: Адашевский В.М., Ермаков С.С., Корж Н.В., Мушкета Радослав, Прусик Кристоф, Цеслицка Мирослава. Биомеханическое обоснование техники движений спортсмена в барьерном беге (на примере фазы полета) // *Физическое воспитание студентов*. – 2014. – № 4 – С. 3-12. doi:10.6084/m9.figshare.996012

Электронная версия этой статьи является полной и может быть найдена на сайте: <http://www.sportpedagogy.org.ua/html/arhive.html>

Это статья Открытого Доступа распространяется под терминами Creative Commons Attribution License, которая разрешает неограниченное использование, распространение и копирование любыми средствами, обеспечивающими должное цитирование этой оригинальной статьи (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.ru>).

Дата поступления в редакцию: 13.01.2014 г.
Опубликовано: 27.02.2014 г.

Information about the authors

Adashevskiy V.M.: ORCID: 0000-0002-9061-8124; adashevsky@ukr.net; National Technical University KPI; Frunze Str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine

Iermakov S.S.: ORCID: 0000-0002-5039-4517; sportart@gmail.com; Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz; Chodkiewicza str. 30, 85-064 Bydgoszcz, Poland.

Korzh N.V.: ORCID: 0000-0001-6330-5360; Korzhnata@mail.ru; National Technical University KPI; Frunze Str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine

Muszkieteta Radoslaw: ORCID: 0000-0001-6057-1583; radek@muszkieteta.com; Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz; Chodkiewicza str. 30, 85-064 Bydgoszcz, Poland.

Prusik Krzysztof: ORCID: 0000-0001-7534-675X; prusik@hot.pl; Academy of Physical Education and Sports; ul. Wiejska 1, 80-336 Gdansk, Poland

Cieślicka Mirosława: ORCID: 0000-0002-0407-2592; rektor@ukw.edu.pl; Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz; Chodkiewicza str. 30, 85-064 Bydgoszcz, Poland.

Cite this article as: Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Korzh N.V., Radoslaw Muszkieteta, Prusik Krzysztof, Cieślicka Mirosława. Biomechanical study athletes' movement techniques in the hurdles (on example of phase of flight). *Physical education of students*, 2014, vol.4, pp. 3-12. doi:10.6084/m9.figshare.996012

The electronic version of this article is the complete one and can be found online at: <http://www.sportpedagogy.org.ua/html/arhive-e.html>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en>).

Received: 13.01.2014
Published: 27.02.2014