

П. А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
В. М. АДАШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
В. И. ГАЛИЦА, инж. НИЧ НТУ «ХПИ»,
А. С. ГОРЛОВ, канд. пед. наук, доц. НТУ «ХПИ»,

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МЕТАНИИ КОПЬЯ

В статье проведен анализ биомеханических характеристик спортсмена – копьеметателя, которые в наибольшей степени влияют на результат, а также параметры действий, используемые в физико-математическом моделировании биомеханических систем в метании копья.

Ключевые слова: Биомеханика, диагностическая система, интерактивный тренажер, динамическая модель, кинематическая модель, симулятор.

Актуальность темы: Главной проблемой современных исследований в спорте являются биомеханические действия, которые способен реализовать спортсмен для повышения результативности [1]. Эта проблема может быть реализована только с помощью комплексных экспериментально-теоретических исследований, позволяющих определить, а затем выполнить действия с эффективными и рациональными биомеханическими параметрами за наименьшее время и с наименьшими физическими и материальными затратами.

Такое комплексное решение позволит кардинально улучшить существующие методы подготовки спортсменов, откорректировать двигательные действия в различных фазах и существенно повысить результативность [2].

Спортивный результат в метании копья - дальность полета - определяется в основном биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: абсолютной начальной скоростью вылета, углом вылета, углом атаки, высотой выпуска копья [6,7].

Абсолютная скорость копья в момент вылета является основной биомеханической характеристикой при метании и оказывает наибольшее влияние на конечный результат попытки. Эта скорость должна быть сообщена рабочему звену тела (кисти), которая находится в контакте с копьем. Она является результирующей скоростью переносного движения тела при разбеге и относительного движения кисти.

Высота выпуска копья приближённо увеличивает или уменьшает дальность полёта снаряда соответственно на величину ее увеличения или уменьшения.

Угол вылета выбирается как наиболее рациональный в пределах 35- 39 градусов к горизонту с учётом угла атаки и силы сопротивления воздуха. Теоретически максимальный результат возможен, когда угол вылета равен

45°. Однако в силу антропометрических особенностей метателей обеспечить такой угол при других максимально эффективных параметрах вылета снаряда невозможно. Поэтому каждый атлет подчас интуитивно подбирает параметры своего финального движения вплоть до момента выпуска снаряда.

Теоретические исследования. Расчётная схема для определения параметров вылета копья (рис.1).

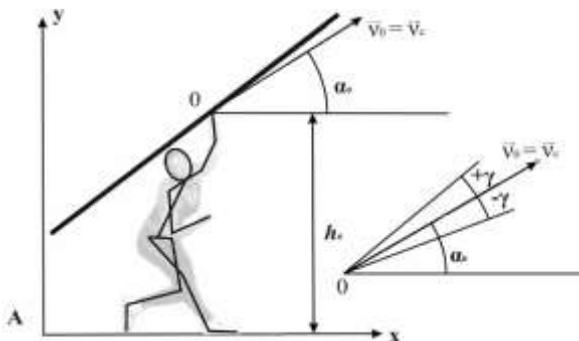


Рис. 1. – Расчетная схема для определения параметров вылета копья.

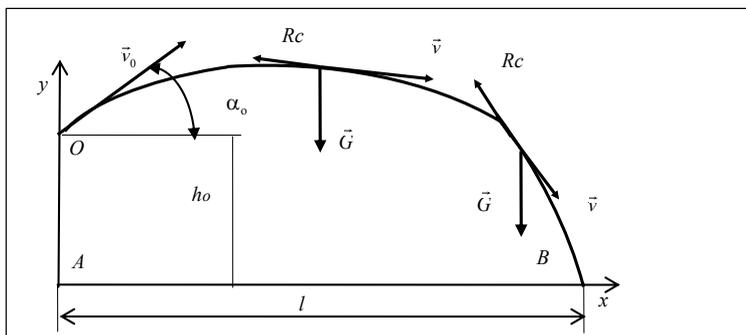


Рис.2. – Расчетная схема для определения дальности полёта от параметров вылета копья.

Здесь $V_0 = V_c$ – абсолютная начальная скорость вылета копья (Рис.2)

V_0 - начальная скорость вылета центра масс,

V_{0x} - проекция скорости вылета центра масс на ось Ox ,

V_{0y} - проекция скорости вылета центра масс на ось Oy ,

В проекциях на оси декартовой абсолютной системы координат:

$$v_{Ox} = v_0 \cos \alpha; \quad v_{Oy} = v_0 \sin \alpha \quad (1)$$

Выражение абсолютной начальной скорости вылета

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

h_{c0} - высота центра масс копья в начальное время вылета,

$\alpha_0 = \alpha$ - угол вылета центра масс копья во время броска,

G - сила тяжести,

h_c - текущая высота центра масс копья,

R_c - сила сопротивления воздушной среды,

M_c - момент сил сопротивления воздушной среды,

где $M_c = (F_c)a$,

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

$$R_c = 0.5 \cdot c_r \cdot \rho S V^2 \quad (3); \quad R_c = kV^2 \quad (4).$$

F_c – равнодействующая распределённых сил сопротивления воздушной среды $F_c = fV_{ep}^2 = f\omega^2(a/2)^2$ или

$$M_c = n\omega^2 = n\dot{\zeta} \quad (5)$$

При подсчёте этих сил безразмерные коэффициенты лобового сопротивления C_r определяют экспериментально в зависимости от формы тела и его ориентации в среде, которые можно получить из справочного материала динамики полёта тел [7].

Величина S (мидель) определяется значением проекции площади поперечного сечения тела на плоскость, перпендикулярную оси движения, V - абсолютная скорость тела. Известно, что плотность воздуха - $\rho \approx 1.3 \text{ кг/м}^3$. Копье будем рассматривать, как тело, которое в полете совершает плоскопараллельное движение. Угол поворота тела в сагиттальной плоскости соответственно изменяет величину S .

Так как копье в фазе полёта движется в одной из плоскостей - сагиттальной плоскости, составим уравнения динамики плоскопараллельного движения в проекциях на оси координат.

$$m \ddot{x} = P_x^e - R_c \cos \alpha; \quad m \ddot{y} = P_y^e - R_c \sin \alpha; \quad J_z \ddot{\zeta} = M_c \quad (6)$$

Здесь m – масса тела, \ddot{x}, \ddot{y} - соответствуют проекциям ускорения центра масс, P_x^e, P_y^e – проекции равнодействующей внешних сил, действующих на тело, J_z – момент инерции относительно центральной фронтальной оси,

$\ddot{\zeta}$ – соответствует угловому ускорению при повороте тела вокруг фронтальной оси,

M_z^e - суммарный момент внешних сил сопротивления среды относительно фронтальной оси.

При движении в плоскостях Ay , систему уравнений можно записать так:

$$m \ddot{x} = -c_{cy} J_z \ddot{\alpha} \quad (8)$$

$$m \ddot{y} = -v^2 \sin \alpha; J_z \ddot{\alpha} = \dots \quad (9)$$

$$\cos \alpha = \frac{\dot{x}}{v}, \quad \sin \alpha = \frac{\dot{y}}{v}, \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \quad (10)$$

α – угол между текущими проекциями скорости центра масс копья и вектором его скорости.

Решение этой задачи потребует в дальнейшем интегрирования дифференциальных уравнений полёта с учётом переменных во времени коэффициентов аэродинамического сопротивления полёта снаряда.

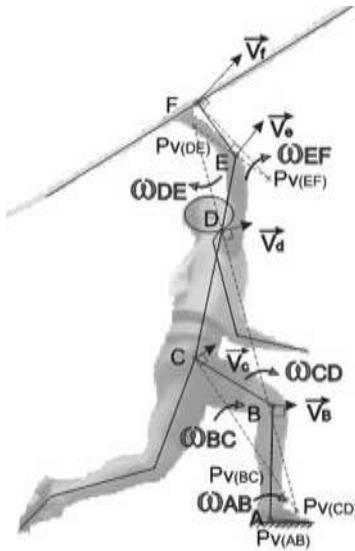


Рис.3–Кинематическая модель звеньев тела копьеметателя с мгновенными центрами скоростей.

Общепринято, что основой эффективной попытки копьеметателя является фаза выполнения броска при рациональном положении его тела.

Рассмотрим кинематическую модель звеньев тела копьеметателя финальной фазы разбега в момент выпуска копья(Рис.3). Скорость вылета копья определяется как сумма векторов скоростей звеньев тела атлета, участвующих

щих в процессе метания, а именно коленного, тазо-бедренного, плечевого, локтевого суставов и кисти в точке контакта с копьем.

Значение вектора скорости в коленном суставе относительно неподвижной точки опоры - пятки определяется в виде:

$$V_b = V_a + V_{ab} = V_a + \omega_{ab} \cdot AB \quad (11)$$

при $V_a = 0$ - точка опоры неподвижна

$$\omega_{ab} = \frac{V_b}{AB} \quad (12)$$

где V_b - вектор скорости коленного сустава опорной ноги атлета, ω_{ab} - угловая скорость вращения голени опорной ноги атлета относительно точки опоры, AB - расстояние от коленного сустава до точки опоры.

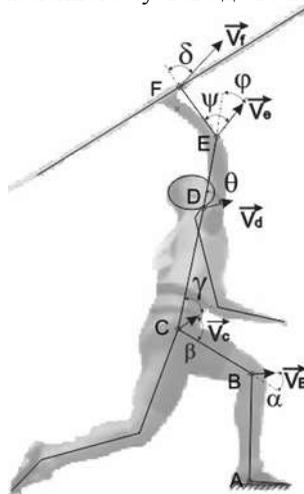


Рис.4— Кинематическая модель звеньев тела копьеметателя с проекциями скоростей.

Для последующих определений параметров движения звеньев и характерных точек тела атлета, участвующих в процессе метания, удобно использовать понятие мгновенного центра скоростей для каждого звена тела, а именно той точки, где в данный момент времени скорость равна нулю.

Так, угловая скорость вращения бедра относительно мгновенного центра скоростей точек:

$$\omega_{bc} = \frac{V_b}{P_{V(bc)}B} \quad (14)$$

где $P_{V(BC)}$ мгновенный центр скоростей звена СВ.

$$V_c = \omega_{bc} \cdot P_{V(bc)}C \quad (15)$$

где $P_{V(bc)}C$ - расстояние от точки С до мгновенного центра скоростей точек.

Аналогично определяются угловые скорости плеча и предплечья и скорости плечевого (точка D) и локтевого (точка E) суставов, а также скорость кисти (точкаF):

$$\omega_{cd} = \frac{V_c}{P_{V(cd)}C}, \quad (16)$$

$$V_d = \omega_{cd} \cdot P_{V(cd)}D, \quad (17)$$

$$\omega_{de} = \frac{V_d}{P_{V(de)}D}, \quad (18)$$

$$V_e = \omega_{de} \cdot P_{V(de)}E, \quad (19)$$

$$\omega_{ef} = \frac{V_e}{P_{V(ef)}E} \quad (20)$$

$$V_f = \omega_{ef} \cdot P_{V(ef)}F. \quad (21)$$

В результате натурального эксперимента получены направления векторов скоростей всех характерных точек, а для некоторых точек их значения. Поэтому становится возможным определить положения мгновенных центров скоростей для каждой звена, а, следовательно, угловые скорости звеньев и значения скоростей всех характерных точек.

Существует и другой метод вычисления скоростей характерных точек звеньев тела копьеметателя, удобный для анализа и определения рационального взаимного расположения звеньев его тела с использованием теоремы о проекциях скоростей двух точек звена на прямую их соединяющую (Рис.4):

$$V_b \cdot \cos\alpha = V_c \cdot \cos\beta, \quad (22)$$

$$V_c = \frac{V_b \cdot \cos\alpha}{\cos\beta} \quad (23)$$

где α – угол между вектором скорости в т. В и звеном ВС, β - угол между вектором скорости в т. С и звеном ВС.

И так для каждого звена:

$$V_c \cdot \cos\gamma = V_d \cdot \cos\theta, \quad (24)$$

$$V_d = \frac{V_c \cdot \cos \gamma}{\cos \theta}, \quad (25)$$

$$V_b \cdot \cos \theta = V_e \cdot \cos \varphi, \quad (26)$$

$$V_e = \frac{V_d \cdot \cos \theta}{\cos \varphi}, \quad (27)$$

$$V_e \cdot \cos \psi = V_f \cdot \cos \delta, \quad (28)$$

$$V_f = \frac{V_e \cdot \cos \psi}{\cos \delta}, \quad (29)$$

где δ , γ , θ , φ и ψ соответствующие углы между звеньями CD, DE, EF и векторами скоростей крайних точек этих звеньев C, D, E, F.

Результирующая скорость кисти метателя вычисляется через скорость коленного сустава в виде:

$$V_f = V_b \frac{\cos \alpha \cdot \cos \gamma \cdot \cos \psi}{\cos \beta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta} \quad (30)$$

Выводы. Таким образом, используя аналитические выражения для определения дальности полета копья в зависимости от взаимосвязанных кинематических параметров звеньев тела метателя, скорости выпуска копья, угла и высоты выпуска, с помощью полученных математических моделей становится возможным определить, откорректировать биомеханические параметры, а соответственно улучшить спортивный результат с учетом конкретных физических данных и возможностей спортсменов.

Список литературы: 1. Аванесов В.У. Применение специального кистевого отягощения в процессе выполнения бросковой работы легкоатлетами-метателями / Аванесов В.У., Ефремова В.И. // Моделирование спортивной деятельности в искусственно созданной среде (стенды, тренажеры, имитаторы) : (материалы конф.). - М.: 1999. - С. 4-5. 2. Адашевский В.М. Теоретические основы механики биосистем: Учебное пособие/ В. М. Адашевский. - Харьков НТУ "ХПИ", 2001. - 258 с. 3. Александров А.В. Биомеханическая модель тела человека для описания многосуставных движений в трехмерном пространстве / А.В. Александров, А.А. Фролов // Биомеханика-2006 : 8 Всерос. конф. по биомеханике, Н. Новгород, 22-26 мая 2006 г. : тез. докл. / Рос. акад. наук [и др.]. - Н. Новгород, 2006. - С. 73. 4. Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. - 254 с. 5. Захаровська Тетяна, Горбенко Василь. Факторна структура кінематичних показників техніки металевих списів на етапі початкової підготовки // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. - Харків, 2008. - №4, - С. 6. Козлова Н.И. Формирование двигательной структуры финального усилия в метании копья на этапе начальной спортивной подготовки: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. / Н.И. Козлова. - Минск, 1994. - 172 с. 7. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. - ГНТИ Оборонгиз, Москва, 1962. - 34 с. 8. Попов Г.И., Ермолаев Б.В., Аракелов А.Л. Координационные перестройки в технике метания копья: модельные и экспериментальные оценки. - Теория и методика физической культуры, 1993. - №1. - С.7-10. 9. Совершенствование техники движения в метаниях с использованием технических средств и локальных отягощений / Попов Г.И., Ханнин И.В., Логинов А.А., Иванов А.Н. // Моделирование спортивной деятельности в искус-

ственно созданной среде (стенды, тренажеры, имитаторы) : (материалы конф.). - М.: 1999. - С. 85-87. **10.** Campos J., Brizuela G., Ramon V. Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics <http://www.iaaf-rdc.ru/ru/docs/publication/64.html>. **11.** PrusikKa. [Methods of kinezometria in solving the problem of physical culture] Metodakinezometrii w rozwiązywaniuwybranychproblemówkulturyfizycznej. / Prusik. Ka.,Görner K. - In: *Súčasnosc' a perspektivytel'ovychovnéhoprocesunaškolách.* BanskáBystrica: PF UMB KTV, 2006 - S. 246 - 252.

Bibliography (transliterated): **1.** Avanesov V.U. Primenenie special'nogo kistevogo otjagoshhenija v processe vypolnenija broskovoj raboty legkoatletami-metateljami / Avanesov V.U., Efreмова V.I. // Modelirovanie sportivnoj dejatel'nosti v iskusstvenno sozdannoj srede (stendy, trenazhery, imitatory) : (materialy konf.). - M.: 1999. - S. 4-5. **2.** Adashevskij V.M. Teoreticheskie osnovy mehaniki biosistem: Uchebnoe posobie/ V. M. Adashevskij. - Har'kov NTU "HPI", 2001. - 258 s. **3.** Aleksandrov A.V. Biomechanicheskaja model' tela cheloveka dlja opisanija mnogostavnyh dvizhenij v trehmernom prostanstve / A.V. Aleksandrov, A.A. Frolov // *Biomehanika-2006* : 8 Vseros. konf. po biomehanike, N. Novgorod, 22-26 maja 2006 g. : tez.dokl. / Ros.akad. nauk [i dr.]. - N. Novgorod, 2006. - S. 73. **4.** Bernshtejn N.A. O postroenii dvizhenij. M.: Medgiz, 1947. - 254 s. **5.** Zaharovs'kaTetjana, Gorbenko Vasil'. Faktorna struktura kinematichnihpokaznikovtehniki metal'nikivspisu na etapipochatkovoipidgotovki // *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologichni problemifizichnogovihovannja i sportu.* - Harkiv, 2008. - №4, - S. **6.** Kozlova N.I. Formirovanie dvigatel'noj struktury final'nogo usilija v metanii kop'ja na jetape nachal'noj sportivnoj podgotovki: dis. ... kand. ped. nauk: 13.00.04. / N.I.Kozlova. - Minsk, 1994. - 172 s. **7.** Lebedev A.A., Chernobrovkin L.S. Dinamika poleta bespilotnyh letatel'nyh apparatov. - GNTI Oborongiz, Moskva, 1962. -34 s. **8.** Popov G.I., Ermolaev B.V., Arakelov A.L. Koordinacionnye perestrojki v tehnike metanija kop'ja: model'nye i jeksperimental'nye ocenki. - Teorija i metodika fizicheskoj kultury, 1993. - №1. - S.7-10. **9.** Sovershenst-vovanie tehniki dvizhenija v metanijah s ispol'zovaniem tehniceskikh sredstv i lokal'nyh otjagoshhenij / Popov G.I., Hanin I.V., Loginov A.A., Ivanov A.N. // Modelirovanie sportivnoj dejatel'nosti v iskusstvenno sozdannoj srede (stendy, trenazhery, imitatory) : (materialy konf.). - M.: 1999. - S. 85-87. **10.** Campos J., Brizuela G., Ramon V. Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics <http://www.iaaf-rdc.ru/ru/docs/publication/64.html>. **11.** PrusikKa. [Methods of kinezometria in solving the problem of physical culture] Metodakinezometrii w rozwiązywaniuwybranychproblemówkulturyfizycznej. / Prusik. Ka.,Görner K. - In: *Súčasnosc' a perspektivytel'ovychovnéhoprocesunaškolách.* BanskáBystrica: PF UMB KTV, 2006 - S. 246 - 252.

Поступила (received) 11.03.2014

В.А. КРЫЛОВА, ст. преподаватель каф. АУТС, НТУ «ХПИ»

РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА КОДИРОВАНИЯ/ДЕКОДИРОВАНИЯ НА ПЛИС

Предлагается разработка устройства для адаптивного помехоустойчивого кодирования/декодирования для систем передачи информации с оценкой качества информационного состояния канала связи.

Ключевые слова: адаптивная система, канал передачи данных, ПЛИС-технологии, канал связи, статистика ошибок.

Введение. Современные системы управления сложными объектами имеют распределенную модульную архитектуру, в которой функции управления выполняются автономными блоками, связь между которыми осуществляется с помощью каналов обмена данными, реализующих стандартные протоколы. Разрабатываемая система кодирования/декодирования должна быть динамической, т.к. в процессе моделирования меняются параметры системы, а также должна быть обеспечена возможность отслеживания производительности системы в условиях реальной работы. Аппаратная реализация системы должна быть осуществлена с использованием технологии ПЛИС SoC (System on Chip) – система на кристалле, основным преимуществом которой является универсальность, а также высокая производительность обмена данными, но при этом возможность изменения параметров системы. Основные изменения выполняются в программе микроконтроллера.

Цель статьи – разработка устройства адаптивного кодирования/декодирования с переменными параметрами для систем связи, тем самым увеличивая выигрыш за счет кодирования и скорость передачи.

Материалы исследований. Общая схема адаптивного кодирования для систем передачи информации представлена на рисунке 1, где возможно раздельное применение информационной и обратной связи в контурах оперативного и адаптивного управления. Объект управления представлен в виде совокупности блоков: входного накопителя (Вх. НК), кодера (К), модулятора (М), переключателей каналов (ПК) и группы каналов связи (КС), а также демодулятора (ДМ), декодера (ДК), выходного накопителя (Вых. НК). Блок идентификации состояний обеспечивает оценивание параметров или структуры системы по совокупности сигналов X_1, X_2, X_3 . Для определенного состояния блоком оперативного управления выбирается стратегия, в соответствии с которой перестраивается режим работы, структура и параметры - кодера, модулятора, переключателя каналов, а также декодера и