

## Биомеханические аспекты техники прыжка в высоту

Адашевский В.М.<sup>1</sup>, Ермаков С.С.<sup>2</sup>, Марченко А.А.<sup>1</sup>

Национальный технический университет «ХПИ»<sup>1</sup>

Харьковская государственная академия физической культуры<sup>2</sup>

### Аннотации:

Цель работы заключается в теоретическом обосновании оптимальных биомеханических характеристик в прыжках в высоту. Разработана математическая модель для определения влияния на высоту прыжка: скорости и угла вылета центра масс во время отталкивания, положения центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через планку, силы сопротивления воздушной среды, влияния момента инерции тела. Выделены основные технические ошибки спортсмена при выполнении упражнений. К биомеханическим характеристикам, повышающим результативность прыжков в высоту относятся: скорость вылета центра масс спортсмена (4.2-5.8 метров в секунду), угол вылета центра масс тела (50-58 градусов), высота вылета центра масс тела (0.85- 1.15 метра). Показаны направления выбора необходимых биомеханических характеристик, которые способен реализовать спортсмен. Предложены рекомендации по повышению результативности прыжков в высоту.

Адашевський В.М., Ермаков С.С., Марченко О.О. Біомеханічні аспекти техніки стрибка у висоту. Мета роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні оптимальних біомеханічних характеристик в стрибках у висоту. Розроблена математична модель для визначення впливу на висоту стрибка: швидкості і кута вильоту центру мас під час відштовхування, положення центру мас тіла спортсмена у фазах відштовхування і переходу через планку, сили опору повітряної середовища, впливу моменту інерції тіла. Виділені основні технічні помилки спортсмена при виконанні вправ. До біомеханічних характеристик, що підвищують результативність стрибків у висоту відносяться: швидкість вильоту центру мас спортсмена (4.2-5.8 метра в секунду), кут вильоту центру мас тіла (50-58 градусів), висота вильоту центру мас тіла (0.85- 1.15 метра). Показані напрямки вибору необхідних біомеханічних характеристик, які здатний реалізувати спортсмен. Запропоновані рекомендації по підвищенню результативності стрибків у висоту.

Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Marchenko A.A. Biomechanics aspects of technique of high jump. The purpose of work consists in the theoretical ground of optimum biomechanics descriptions in high jumps. A mathematical model is developed for determination of influence on the height of jump: speed and corner of flight of centre-of-mass during pushing away, positions of centre-of-mass body of sportsman in the phases of pushing away and transition through a slat, forces of resistance of air environment, influences of moment of inertia of body. The basic technical run-time errors of sportsman are selected exercises. To biomechanics descriptions, to the step-up effectiveness of high jumps belong: speed of flight of centre-of-mass sportsman (4.2-5.8 meters in a second), corner of flight of centre-of-mass body (50-58 degrees), height of flight of centre-of-mass body (0.85-1.15 meter). Directions of choice of necessary biomechanics descriptions which a sportsman can realize are shown. Offered recommendation on the increase of effectiveness of high jumps.

### Ключевые слова:

биомеханический, траектория, поза, спортсмен, прыжок, высота.

біомеханічний, траєкторія, поза, спортсмен, стрибок, висота.

biomechanics, trajectory, pose, sportsman, jump, height.

### Введение.

Важной составляющей повышения эффективности движений спортсмена является выбор оптимальных параметров, которые определяют успешность выполнения технических действий. Одно из ведущих позиций в таком движении занимают биомеханические аспекты техники и возможности ее моделирования на всех этапах подготовки спортсмена. В свою очередь процесс моделирования требует учета как общих закономерностей построения техники движения, так и индивидуальных особенностей спортсмена. Такой подход во многом способствует поиску оптимальных параметров техники и ее реализации на определенных этапах подготовки спортсмена

Теоретической основой исследований о биомеханических закономерностях спортивных движений являются работы Н.А. Бернштейна [3], В.М. Дьячкова [7], В.М. Зацюрского [10], А.Н. Лапутина [4, 12], Г. Дарена [18], Р.А. Eisenman [20]. Необходимость предварительного построения моделей и последующего выбора наиболее рациональных биомеханических параметров спортсмена отмечается в работах Адашевского В.М. [1, 2, 28], Ермакова С.С. [8, 28], Чинко В.Е. [14] и других.

Важное значение при этом приобретает поиск оптимального сочетания кинематических и динамических параметров прыжка спортсмена [15-17] с учетом закономерной передачи механической энергии от звена к звену [18-20, 27]. Такой подход позволяет успеш-

но влиять на результат спортивной деятельности при выполнении прыжка в высоту [21, 25, 26]. При этом рекомендуется использовать математические модели движений [5-8, 23, 24], характеристики поз и перемещений спортсмена [8].

Спортивный результат в прыжках в высоту во многом определяется рациональными биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: скоростью разбега, скоростью отталкивания, углом вылета центра масс тела спортсмена, положением центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через планку.

Вместе с тем, требуют уточнения некоторые изложенные выше позиции применительно к прыжкам в высоту.

Так Лазарев И.В. отмечает, что определение особенностей техники фосбе-ри-флор на этапе становления спортивного мастерства, выявление структуры и механизмов отталкивания, разработка и использование в тренировке моделей прыжка является одной из актуальных проблем технической подготовки прыгунов в высоту с разбега. Наибольшее влияние на улучшение спортивных результатов в прыжках в высоту с разбега способом фосбери-флор оказывают кинематические (высота взлета в безопорной фазе прыжка, скорость разбега) и динамические (импульс отталкивания по вертикальной составляющей, средняя сила отталкивания по вертикальной составляющей, усилия в экстремуме) показатели [11, 13].

Заборский Г.А. считает, что сравнение модельных характеристик двигательного оптимума с реально

воспроизводимой структурой движения прыгуна в отталкивании, позволит выявить такие элементы его технической и скоростно-силовой подготовленности, коррекция и развитие которых позволят ему сформировать индивидуально-оптимальную технику отталкивания в прыжках [9].

Вместе с тем, в построении моделей прыжка для современных условий соревновательной деятельности все еще остро ощущается необходимость проведения исследований.

Исследования проводились по госбюджетной теме М0501. «Разработка инновационных методов и методов диагностики ведущих видов подготовленности спортсменов разной квалификации и специализации» 2012-2013г.г.

#### **Цель, задачи работы, материал и методы.**

*Цель работы* – теоретическое обоснование основных рациональных биомеханических характеристик в прыжках в высоту, а также в составлении рекомендаций по повышению результативности прыжков в высоту.

#### *Задачи работы*

- анализ специальной литературы,
- построение модели для определения влияния на высоту прыжка скорости и угла вылета центра масс во время отталкивания, положения центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через планку, силы сопротивления воздушной среды, влияния момента инерции тела,
- составление рекомендации по совершенствованию результатов в прыжках в высоту способом «фосбери – флоп».

*Предметом исследования* были биомеханические характеристики спортсмена, которые способствуют повышению результативности прыжков в высоту.

*Объект исследования* – спортсмены высокой квалификации – прыгуны в высоту.

В решении задач использовался специальный программный комплекс «КИДИМ», разработанный на кафедре теоретической механики НТУ «ХПИ».

#### **Результаты исследования.**

Спортивный результат в прыжках в высоту определяется в основном рациональными биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: скоростью разбега, а, следовательно, скоростью и углом вылета центра масс тела спортсмена, положением центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через планку. Поэтому очевидна необходимость проведения теоретических и практических исследований для реализации всех перечисленных выше биомеханических параметров с целью получения максимального результата в прыжках в высоту способом «фосбери-флоп».

При этом следует исходить из следующих предположений. Высота прыжка определяется в основном биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно:

- скоростью разбега,
- скоростью вылета центра масс во время отталкивания,

- углом вылета центра масс спортсмена во время отталкивания,
- положением центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания и перехода через планку.

Скорость и угол вылета центра масс спортсмена во время отталкивания являются основными биомеханическими характеристиками в прыжках в высоту.

Скорость вылета центра масс спортсмена во время отталкивания является результирующей скоростью вертикальной и горизонтальной составляющими скорости отталкивания спортсмена.

У мужчин – мастеров высокого класса горизонтальная скорость разбега 6.5 – 8 м/с, а результирующая скорость вылета центра масс спортсмена во время отталкивания 4.5-5.4 м/с.

Высота центра масс тела при отталкивании зависит от антропометрических параметров и способа прыжка. При переходе через планку центр масс тела в зависимости от способа прыжка может быть выше планки (перекидной) или ниже способом «фосбери-флоп».

Угол вылета центра масс спортсмена во время отталкивания выбирается как наиболее рациональный в пределах 56 – 58 градусов к горизонту с учетом силы сопротивления воздуха.

При рациональном сочетании этих биомеханических параметров результат прыжков способом «фосбери-флоп» 2.2 – 2.4м.

Рассмотрим, используя расчетную схему, влияние на скорость отталкивания, а, следовательно, скорость вылета центра масс тела спортсмена, вертикальной, горизонтальной составляющих скорости и угла вылета центра масс тела спортсмена (рис. 1).

$$\vec{v}_0 = \vec{v} = \vec{v}_\Gamma + \vec{v}_B$$

Здесь  $V_0$  начальная скорость отталкивания (вылета) центра масс тела спортсмена,

$V_\Gamma = V_x$  – горизонтальная скорость разбега тела (горизонтальная составляющая),

$V_B = V_y$  – вертикальная составляющая скорости отталкивания,

$h_{c0}$  – высота центра масс тела при отталкивании,

$\alpha_0 = \alpha_b$  – угол вылета центра масс спортсмена во время отталкивания

В проекциях на оси декартовой абсолютной системы координат это равенство имеет вид:

$$v_{0x} = v_\Gamma; \quad v_{0y} = v_B; \quad v_x = v_0 \cos \alpha; \quad v_y = v_0 \sin \alpha.$$

Выражение абсолютной начальной скорости вылета

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

$G$  – сила тяжести,  $Mc$  – момент сил сопротивления воздушной среды,  $h_c$  – текущая высота центра масс тела,  $Rc$  – сила сопротивления воздушной среды.

Сила аэродинамического сопротивления  $Rc$  для тел, движущихся в воздушной среде плотностью  $\rho$ , равна векторной сумме  $\vec{R}_c = \vec{R}_n + \vec{R}_\tau$  подъёмной силы –  $R_n = 0.5c_n \rho s V^2$  и силе лобового сопротивления  $R_\tau = 0.5c_\tau \rho s V^2$ . При подсчёте этих сил безразмерные коэффи-

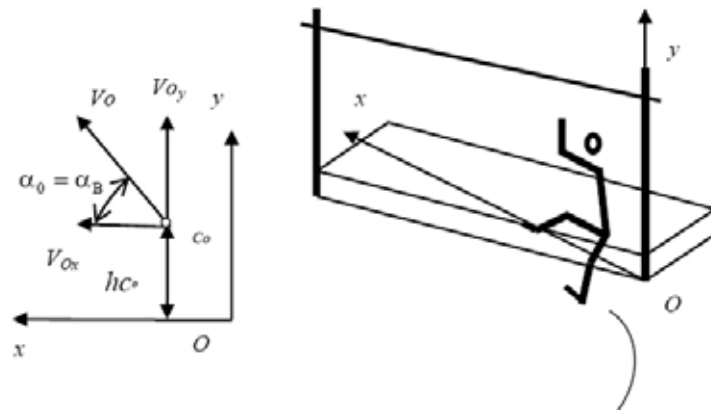


Рис. 1. Расчетная схема для определения начальных параметров при отталкивании

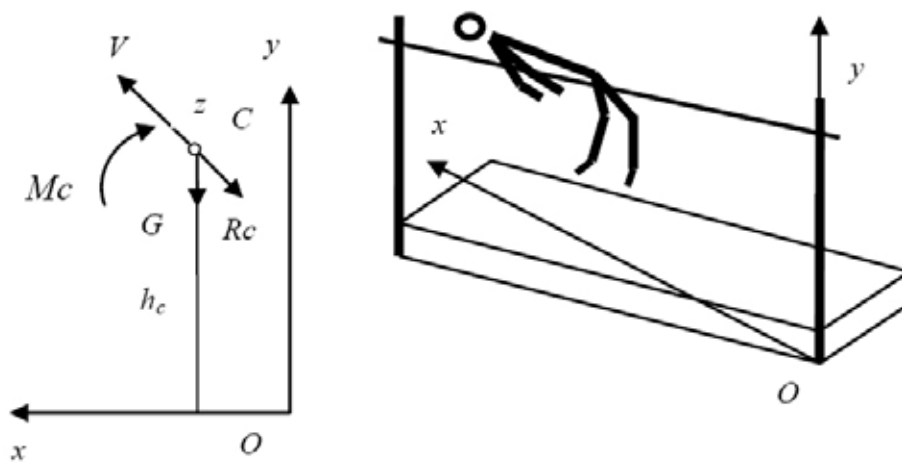


Рис. 2. Расчетная схема для определения рациональных биомеханических характеристик в фазе полета

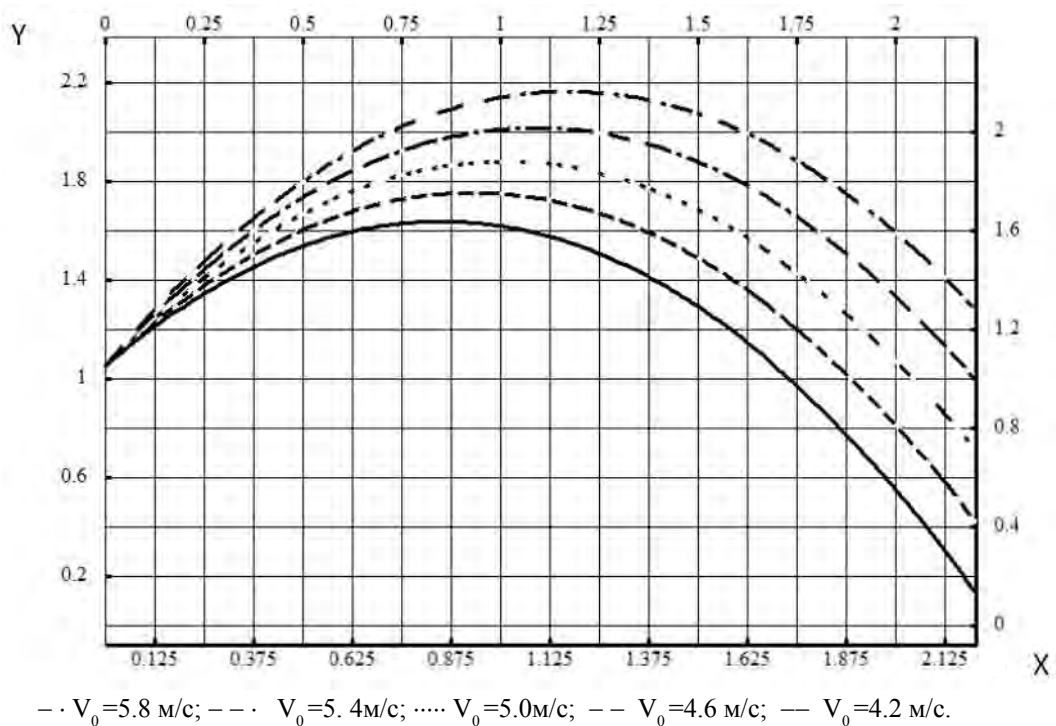


Рис.3. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений начальной скорости вылета

циенты лобового сопротивления ( $c_n$  и  $c_t$ ) определяют экспериментально в зависимости от формы тела и его ориентации в среде. Величина  $S$  (мидель) определяется значением проекции площади поперечного сечения тела на плоскость перпендикулярную оси движения,  $V$  – абсолютная скорость тела.

Известно, что плотность воздуха –  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ . Необходимо отметить, что тело, в полете имеет общий случай движения. Углы поворотов тела в анатомических плоскостях изменяются и при этом, соответственно, изменяется величина  $S$ . Определение переменных значений миделя  $S$  и коэффициента лобового сопротивления  $c_t$  требуют основательных дополнительных исследований, поэтому при решении данной задачи примем их усреднённые значения.

Также возможно определить и средние значения коэффициента ( $k$ ), стоящего при  $V^2$  – абсолютной скорости полёта тела в прыжке.

Без учёта подъёмной силы, величина которой очень мала, получим средние значения коэффициента.

$$k = 0,5 c_t \rho S \quad k = 0-1 \text{ кг/м.}$$

Тогда,  $R_t = R_c = kV^2$ .

Будем считать, что тело спортсмена в фазе полета движется в одной из анатомических плоскостей. В нашем случае это сагиттальная плоскость.

Составим уравнения динамики плоскопараллельного движения в проекциях на оси координат

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

Здесь  $m$  – масса тела,  $\ddot{x}_c, \ddot{y}_c$  – соответствуют проекциям ускорения центра масс,  $P_x^e, P_y^e$  – проекции равнодействующей внешних сил действующих на тело,  $J_z$  – момент инерции относительно фронтальной оси,  $\ddot{\phi}$  – соответствует угловому ускорению при повороте тела вокруг фронтальной оси,  $M_z^e$  – суммарный момент внешних сил сопротивления среды относительно фронтальной оси.

При движении в плоскости  $xAy$ , систему уравнений можно записать так:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -R_{cx}; & m\dot{y} &= -G - R_{cy}; & J_z\ddot{\phi} &= -M_c \\ m\ddot{x} &= -kv^2 \cos \alpha; & m\dot{y} &= -mg - kv^2 \sin \alpha; & J_z\ddot{\phi} &= -k\phi^2 \\ \cos \alpha &= \dot{x}/v; & \sin \alpha &= \dot{y}/v; & v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \end{aligned}$$

$\alpha$  – угол между текущими проекциями скорости центра масс тела и вектором скорости.

Решение этой задачи требует интегрирования дифференциальных уравнений движения.

Рассмотрим влияние скорости и угла вылета центра масс тела спортсмена, положения центра масс тела спортсмена в фазах отталкивания, момента инерции относительно фронтальной оси с учетом сил сопротивления воздушной среды.

Результаты расчетов на математических моделях и полученные графические характеристики показывают:

- различные значения моментов инерции тела отно-

сительно фронтальной оси во время полёта изменяют значение угловой скорости, а, следовательно, и изменяют значения чисел оборотов  $N$ , что при рациональных позах может способствовать более быстрым вращениям вокруг фронтальной оси при переходах через планку,

- для реальных скоростей полёта тела спортсмена, сила сопротивления среды для различных миделей оказывает малое влияние на изменение результата.
- для достижения высоких результатов необходимо увеличивать горизонтальную скорость разбега и, как следствие, начальную скорость вылета, угол вылета центра масс тела, высоту центра масс тела во время отталкивания при их рациональном сочетании.

Полученные расчетные биомеханические характеристики прыжка в высоту являются модельными и в практической деятельности будут несколько отличаться.

В исследованиях Лазарева И.В. были выявлены основные показатели, оказывающие наибольшее влияние на улучшение спортивных результатов в прыжках в высоту с разбега способом фосбери-флоп [11]:

А) кинематические показатели:

- высота взлета в безопорной фазе прыжка 0,74 -0,98м;
- скорость разбега 0,55м/с;

Б) динамические показатели:

- импульс отталкивания по вертикальной составляющей 0,67 – 0,73;
- средняя сила отталкивания по вертикальной составляющей 0,70 – 0,85;
- усилия в экстремуме 0,62 – 0,84.

Также были установлено, что особенности формирования внутрииндивидуальной структуры техники квалифицированных прыгунов по мере роста спортивного результата характеризуются целенаправленным изменением показателей скорости разбега, угла постановки ноги на отталкивание, пути вертикального перемещения общего центра масс (о.ц.м.) тела в отталкивании, угла вылета о.ц.м. тела. При выполнении отталкивания следует акцентировать внимание на характере постановки ноги на опору с последующим, а не одновременным, ускорением маховых звеньев. Постановка ноги на отталкивание должна выполняться активным беговым движением от бедра. Прыгун должен выполнять постановку ноги с полной стопы, при этом стопа должна располагаться вдоль линии последнего шага разбега [11, 22].

В работе Заборского Г.А. установлено, что сближение реальных характеристик движения в отталкивании с теоретически оптимальными значениями достигается через увеличение угла склонения центра масс над опорой при входе в отталкивание в условиях постоянного скорости разбега. При этом доля тормозных действий спортсменов в отталкивании уменьшается, а ускоренные маховые движения звеньев тела непосредственно в фазе отталкивания активизируется за счет переноса доли этих движений из фазы амортизации в фазу отталкивания [9].

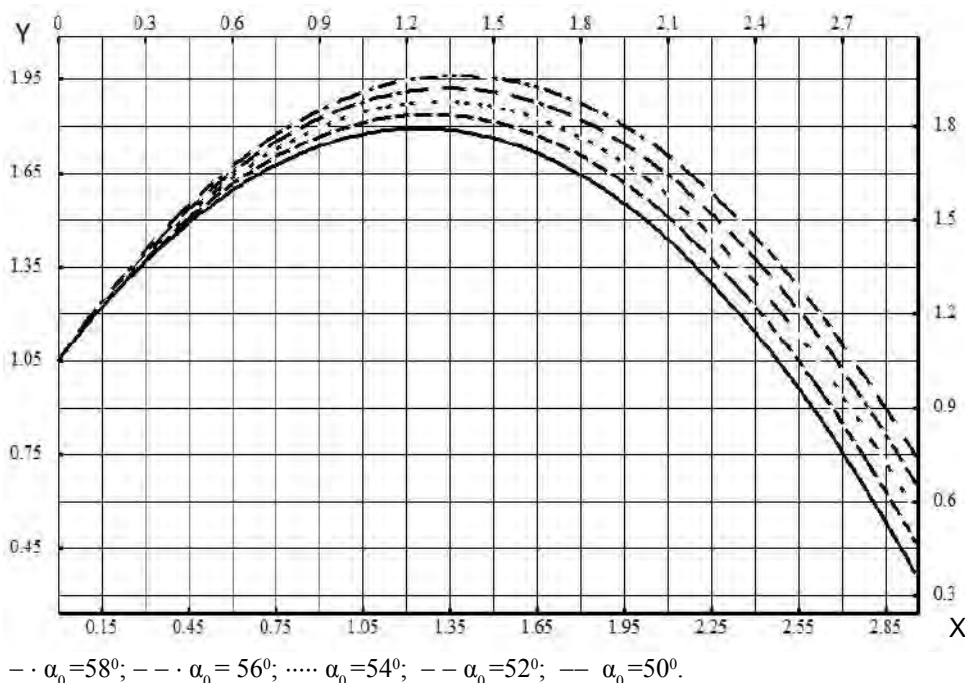


Рис. 4. Графические характеристики зависимости траектории центра масс для различных значений углов вылета центра масс тела

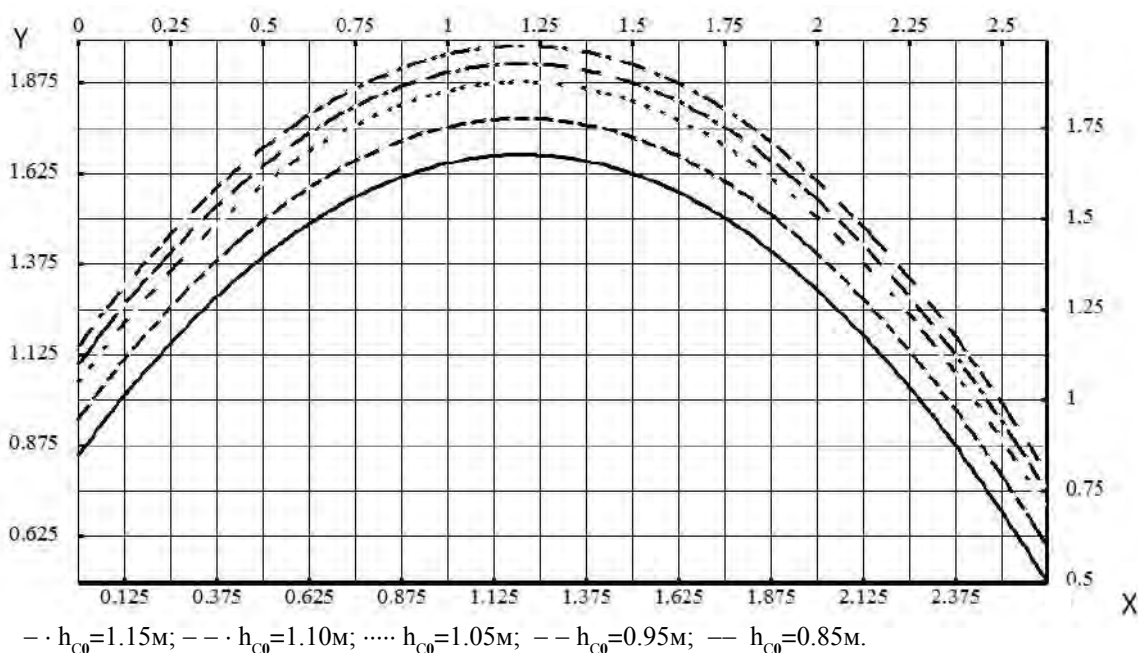


Рис. 5. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений высоты центра масс тела во время отталкивания

### Выводы

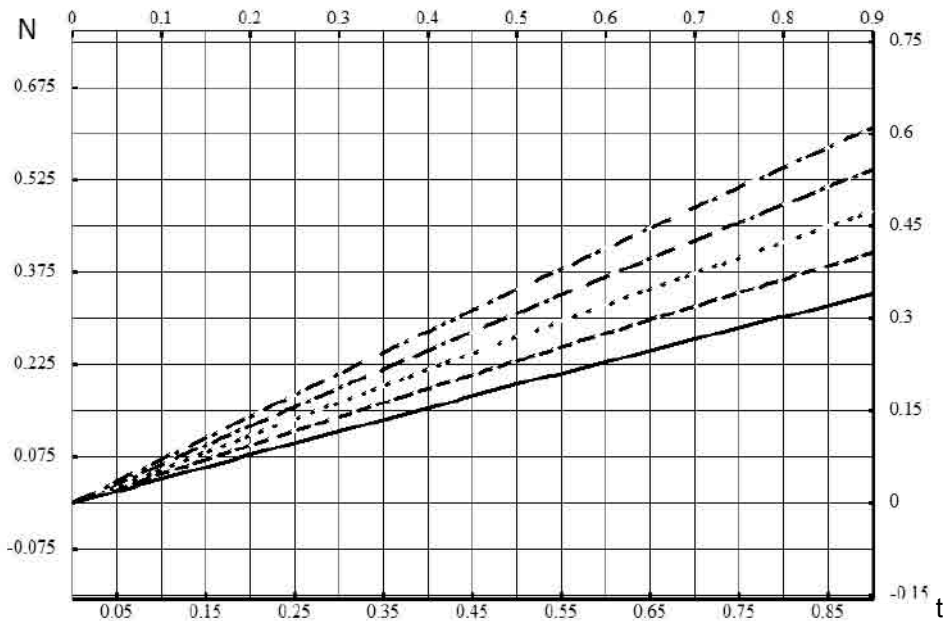
Анализ специальной литературы показал, что для обеспечения высокого результата в прыжках в высоту необходимо учитывать ряд многосвязных факторов, которые обеспечивают максимальную высоту полёта тела.

В основном спортивный результат в прыжках в высоту определяются биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: скоростью разбега, скоростью и углом вылета центра масс тела спортсмена, высотой отталкивания центра масс тела спортсмена.

К биомеханическим характеристикам, повышающим результативность прыжков в высоту относятся такие их диапазоны:

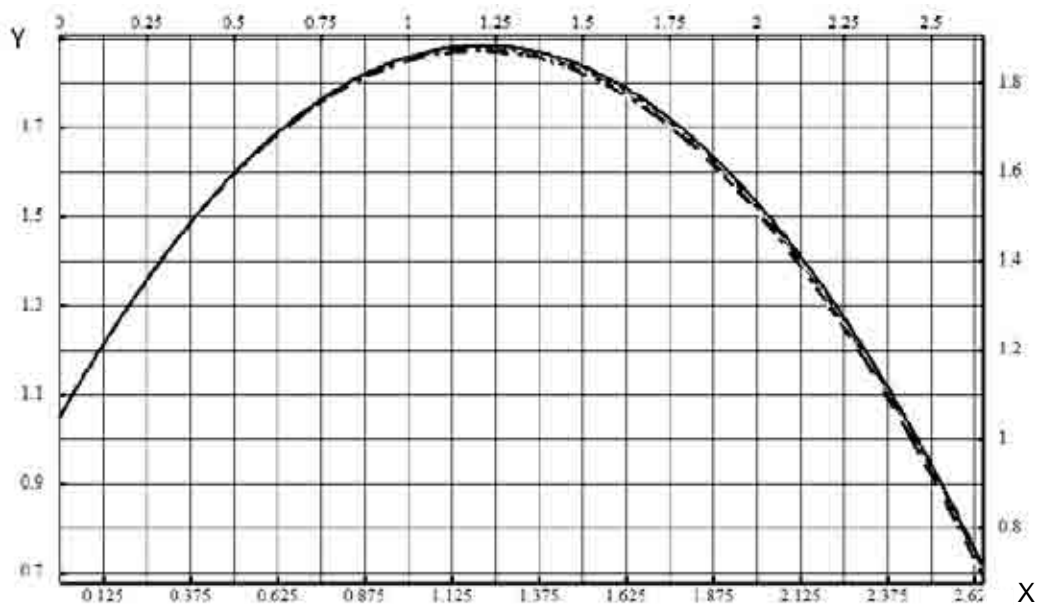
- скорость вылета центра масс спортсмена – 4.2-5.8 м/с,
- угол вылета центра масс тела –  $50^\circ$  -  $58^\circ$ ,
- высота вылета центра масс тела – 0.85- 1.15м.

Установлено, что для достижения высоких результатов необходимо увеличивать горизонтальную скорость разбега и как следствие начальную скорость вылета, угол вылета центра масс тела, высоту центра масс тела во время отталкивания при их рациональном сочетании.



---  $I_c=5\text{кгм}^2$ ; ---  $I_c=9\text{кгм}^2$ ; .....  $I_c=13\text{кгм}^2$ ; ---  $I_c=17\text{кгм}^2$ ; ---  $I_c=21\text{кгм}^2$ .

Рис. 6. Графические характеристики количества оборотов для различных значений момента инерции относительно фронтальной оси



---  $k=1\text{кг/м}$ ; ---  $k=0.75\text{кг/м}$ ; .....  $k=0.5\text{кг/м}$ ; ---  $k=0.25\text{кг/м}$ ; ---  $k=0\text{кг/м}$ .

Рис. 7. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений сил сопротивления воздушной среды

#### Литература:

1. Адашевский В.М. Теоретические основы механики биосистем. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 260 с.
2. Адашевский В.М. Метрологія у спорті. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – 76 с.
3. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Медицина, 1966. -349 с.
4. Біомеханіка спорту / За ред. А.М. Лапутіна. – К.:Олімпійська література, 2001. – 320 с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1988. – 400 с.
6. Дернова В.М. Эффективность применения прыжка в высоту способом «фосбери» в пятиборье у женщин// Вопросы физического воспитания студентов. -Л.: ЛГУ, 1980. -вып.ХІУ. -С.50-54.

#### References:

1. Adashevskij V.M. *Teoreticheskie osnovy mekhaniki biosistem* [Theoretical basis of mechanics of biosystems], Kharkov, KPI Publ., 2001, 260 p.
2. Adashevskij V.M. *Metrologiia u sporti* [Metrology in sport], Kharkov, KPI Publ., 2010, 76 p.
3. Bernshtejn N.A. *Ocherki po fiziologii dvizhenij i fiziologii aktivnosti* [Essays on physiology of motions and physiology of activity], Moscow, Medicine, 1966, 349 p.
4. Laputin A.M. *Biomekhanika sportu* [Biomechanics of sport], Kiev, Olympic literature, 2001, 320 p.
5. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems], Moscow, Science, 1988, 400 p.
6. Dernova V.M. *Voprosy fizicheskogo vospitaniia studentov* [Questions of physical education of students], 1980, vol.14, pp. 50-54.

7. Дьячков В.М. Прыжок в высоту с разбега// Учебник тренера по легкой атлетике. -М.: Физкультура и спорт, 1974. С.287-322.
8. Ермаков С.С. Обучение технике ударных движений в спортивных играх на основе их компьютерных моделей и новых тренажерных устройств: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 24.00.01. – Киев, 1997. – 47 с.
9. Заборский Г.А. Индивидуализация техники отталкивания у прыгунов в длину и в высоту с разбега на основе моделирования движений. Автореф. дис. канд. пед. наук. Омск, 2000, 157 с.
10. Зациорский В.М., Аурич А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: ФиС, 1981. – 143 с.
11. Лазарев И.В. Структура техники прыжков в высоту с разбега способом Фосбери-Флоп. Автореф. дис. канд. пед. наук, Москва, 1983, 20 с.
12. Лапутин А.Н. Обучение спортивным движениям. – К.: Здоров'я, 1986. – 216 с.
13. Михайлов Н.Г., Якунин Н.А., Лазарев И.В. Биомеханика взаимодействия с опорой в прыжках в высоту. Теория и практика физической культуры, 1981, №2, с. 9-11.
14. Чинко В.Е. Особенности технической подготовки прыгунов в высоту с разбега: Автореф. дис. . канд. пед. наук. -Л., 1982. -26 с.
15. Athanasios Vanezis, Adrian Lees. A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 2005, vol.48(11-14), pp. 1594 – 1603.
16. Aura O., Viitasalo J.T. Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1989, vol.5, pp. 89-98.
17. Canavan P.K., Garrett G.E., Armstrong L.E. Kinematic and kinetic relationships between an olympic style lift and the vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1996, vol.10, pp. 127-130.
18. Dapena G. Mechanics of Translation in the Fosbury Flop. -*Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1980, vol. 12, №1, p.p.37 44.
19. Duda Georg N., Taylor William R., Winkler Tobias, Matziolis Georg, Heller Markus O., Haas Norbert P., Perka Carsten, Schaser Klaus-D. Biomechanical, Microvascular, and Cellular Factors Promote Muscle and Bone Regeneration. *Exercise & Sport Sciences Reviews*. 2008, vol.36(2), pp. 64-70. doi: 10.1097/JES.0b013e318168eb88
20. Eisenman P.A. The influence of initial strength levels on responses to vertical jump training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 1978, vol.18, pp. 227 – 282.
21. Fukashiro S., Komi P.V. Joint moment and mechanical flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sport Medicine*, 1987, vol.8, pp. 15 – 21.
22. Harman E.A., Rosenstein M.T., Frykman P.N., Rosenstein R.M. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1990, vol.22, pp. 825 – 833.
23. Hay James G. Biomechanical Aspects of Jumping. *Exercise & Sport Sciences Reviews*. 1975, vol.3(1), pp. 135-162.
24. Lees A., Van Renterghem J., De Clercq D., Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 2004, vol.37, pp. 1929 – 1940.
25. Li Li. How Can Sport Biomechanics Contribute to the Advance of World Record and Best Athletic Performance? *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2012, vol.16(3), pp. 194-202.
26. Paasuke M., Ereline J., Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in Nordic combined athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2001, vol.41, pp. 354 – 361.
27. Stefanyshyn D.J., Nigg B.M. Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jumps. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol.16, pp. 177-186.
28. Volodymyr Adashevsky, Sergii Iermakov, Krzysztof Prusik, Katarzyna Prusik, Karol Gorner. *Biomechanics: theory and practice*. Gdansk, Zdrowie-Projekt, 2012, 184 p.
7. D'iachkov V.M. *Pryzhok v vysotu s razbega* [High jump from running approach], Moscow, Physical Culture and Sport, 1974, pp. 287-322.
8. Iermakov S.S. *Obuchenie tekhnike udarnykh dvizhenij v sportivnykh igrakh na osnove ikh komp'uternykh modelej i novykh trenazhernykh ustrojstv* [Education to the technique of shock motions in sport games on the basis of their computer models and new trainer devices], Dokt. Diss., Kiev, 1997, 47 p.
9. Zaborskij G.A. *Individualizacija tekhniki ottalkivaniia u prygunov v dlinu i v vysotu s razbega na osnove modelirovaniia dvizhenij* [Individualization of technique of pushing away for jumpers in length and in height from running on the basis of design of motions], Cand. Diss., Omsk, 2000, 157 p.
10. Zaciorskij V.M., Aurin A.S., Seluianov V.N. *Biomechanika dvigatel'nogo apparata cheloveka* [Biomechanics of motive vehicle of a man], Moscow, Physical Culture and Sport, 1981, 143 p.
11. Lazarev I.V. *Struktura tekhniki pryzhkov v vysotu s razbega sposobom Fosberi-Flop* [Structure of technique of high jumps from running by means of Fosbury Flop], Cand. Diss., Moscow, 1983, 20 p.
12. Laputin A.N. *Obuchenie sportivnym dvizheniiam* [Education to sport motions], Kiev, Health, 1986, 216 p.
13. Mikhajlov N.G., Jakunin H.A., Lazarev I.V. *Teoriia i praktika fizicheskoj kul'tury* [Theory and practice of physical culture], 1981, vol.2, pp. 9-11.
14. Chinko V.E. *Osobennosti tekhnicheskoi podgotovki prygunov v vysotu s razbega* [Features of technical preparation of high jumpers from running], Cand. Diss., Leningrad, 1982, 26 p.
15. Athanasios Vanezis, Adrian Lees. A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 2005, vol.48(11-14), pp. 1594 – 1603.
16. Aura O., Viitasalo J.T. Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1989, vol.5, pp. 89-98.
17. Canavan P.K., Garrett G.E., Armstrong L.E. Kinematic and kinetic relationships between an olympic style lift and the vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1996, vol.10, pp. 127-130.
18. Dapena G. Mechanics of Translation in the Fosbury Flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1980, vol. 12, №1, p.p.37 44.
19. Duda Georg N., Taylor William R., Winkler Tobias, Matziolis Georg, Heller Markus O., Haas Norbert P., Perka Carsten, Schaser Klaus-D. Biomechanical, Microvascular, and Cellular Factors Promote Muscle and Bone Regeneration. *Exercise & Sport Sciences Reviews*. 2008, vol.36(2), pp. 64-70. doi: 10.1097/JES.0b013e318168eb88
20. Eisenman P.A. The influence of initial strength levels on responses to vertical jump training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 1978, vol.18, pp. 227 – 282.
21. Fukashiro S., Komi P.V. Joint moment and mechanical flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sport Medicine*, 1987, vol.8, pp. 15 – 21.
22. Harman E.A., Rosenstein M.T., Frykman P.N., Rosenstein R.M. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1990, vol.22, pp. 825 – 833.
23. Hay James G. Biomechanical Aspects of Jumping. *Exercise & Sport Sciences Reviews*. 1975, vol.3(1), pp. 135-162.
24. Lees A., Van Renterghem J., De Clercq D., Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 2004, vol.37, pp. 1929 – 1940.
25. Li Li. How Can Sport Biomechanics Contribute to the Advance of World Record and Best Athletic Performance? *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2012, vol.16(3), pp. 194-202.
26. Paasuke M., Ereline J., Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in Nordic combined athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2001, vol.41, pp. 354 – 361.
27. Stefanyshyn D.J., Nigg B.M. Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jumps. *Journal of Sports Sciences*, 1998, vol.16, pp. 177-186.
28. Volodymyr Adashevsky, Sergii Iermakov, Krzysztof Prusik, Katarzyna Prusik, Karol Gorner. *Biomechanics: theory and practice*. Gdansk, Zdrowie-Projekt, 2012, 184 p.

#### Информация об авторах:

**Адашевский Владимир Михайлович**

adashevsky@ukr.net

Национальный технический университет «ХПИ»

ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

**Ермаков Сергей Сидорович**

sportart@gmail.com

Харьковская государственная академия физической культуры

ул. Ключковская 99, г. Харьков, 61022, Украина.

**Марченко Александр Александрович**

adashevsky@ukr.net

Национальный технический университет «ХПИ»

ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

Поступила в редакцию 12.01.2013г.

#### Information about the authors:

**Adashevskiy V.M.**

adashevsky@ukr.net

National Technical University "KPI"

Frunze str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

**Iermakov S.S.**

sportart@gmail.com

Kharkov State Academy of Physical Culture

Klochkovskaya str. 99, Kharkov, 61022, Ukraine.

**Marchenko A.A.**

adashevsky@ukr.net

National Technical University "KPI"

Frunze str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

Came to edition 12.01.2013.