



## Физико-математическое моделирование сложных элементов акробатического рок-н-ролла

Адашевский В.М.<sup>1</sup>, Ермаков С.С.<sup>2</sup>, Фирсова Ю.Ю.<sup>1</sup>

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

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

### Аннотации:

Показаны направления биомеханического обоснования выполнения элемента акробатического рок-н-ролла Фус–сальто с учётом конкретных физических данных спортсменов. Разработана математическая модель для определения влияния на качество выполнения технического элемента таких параметров как: скорость и угол вылета центра масс тела спортсмена, положение центра масс тела спортсмена в начальных фазах бросковых упражнений, начальная угловая скорость вращения тела спортсмена. Определены параметры влияния осевых моментов инерции при различных группировках тела на угловую скорость вращения тела спортсмена в полете и сил сопротивления воздушной среды на характеристики полёта тела. Показаны направления выбора необходимых биомеханических характеристик, которые способны реализовать спортсмены. Предложены рекомендации по повышению эффективности выполнения элемента акробатического рок-н-ролла Фус–сальто.

**Адашевський В.М., Ермаков С.С., Фирсова Ю.Ю.** Фізико-математичне моделювання складних елементів акробатичного рок-н-ролу. Показані напрями біомеханічного обґрунтування виконання елементу акробатичного рок-н-ролу Фус-сальто з врахуванням конкретних фізичних даних спортсменів. Розроблена математична модель для визначення впливу на якість виконання технічного елементу таких параметрів як: швидкість і кут вильоту центру мас тіла спортсмена, положення центру мас тіла спортсмена в початкових фазах кидкових вправ, початкова кутова швидкість обертання тіла спортсмена. Визначені параметри впливу осевих моментів інерції при різних угрупованнях тіла на кутову швидкість обертання тіла спортсмена у польоті і сил опору повітряної середі на характеристики польоту тіла. Показані напрями вибору необхідних біомеханічних характеристик, які здатні реалізувати спортсмени. Запропоновані рекомендації по підвищенню ефективності виконання елементу акробатичного рок-н-ролу Фус-сальто.

**Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Firsova Yu.Yu.** Physical mathematical modelling of difficult elements of acrobatic rock-and-roll. It is shown directions of biomechanics substantiation of implementation acrobatic rock-and-roll Fus-salto element taking into account concrete physical data of sportsmen. Mathematical model is developed for determination the influence on a quality of implementation of technical element of such parameters as: speed and angle of flight of centre-of-mass sportsman's body, position of centre-of-mass body of sportsman in the initial phases of throw exercises, initial angular velocity of rotation of body of sportsman. It is developed mathematical model to determine the impact on the quality of the technical element parameters such as speed and angle of flight of centre-of-mass of the athlete's body, the position of center-of-mass of the athlete's body in the initial phases of throwing exercises in the initial angular velocity of the athlete's body. The parameters of exposure axial moments of inertia for different groupings of body angular velocity the athlete's body in flight and air resistance forces of environment to flight characteristics of the body. Directions of choice of necessary biomechanics descriptions which are able to realize sportsmen are shown. It is offered recommendations are on the increase of efficiency of implementation of element of acrobatic rock-and-roll of Fus-salto.

### Ключевые слова:

*рок-н-ролл, биомеханический, траектория, бросок.*

*рок-н-ролл, біомеханічний, траєкторія, кидок.*

*rock-and-roll, biomechanics, trajectory, throw.*

### Введение.

Акробатический рок-н-ролл относится к группе сложно координационных видов спорта, содержание технических элементов в котором основано на взаимодействии партнеров и представленное в виде двигательной композиции с музыкальным сопровождением. В основе акробатических элементов рок-н-ролла лежат такие движения как: броски, полеты и ловля партнера, взаимные перемещения, позы с удержанием равновесия в статике и динамике и другие. Одним из наиболее сложных элементов является «Фус – сальто» – безопорное вращение тела партнёрши с полным переворачиванием через голову, выполняемое за счет взброса партнером толчком в ступню ноги партнерши, которую она ставит на его соединенные кисти рук [10, 11, 15]. В этом случае наиболее целесообразным представляется использование методов математического моделирования, с целью получения оптимальных биомеханических параметров движений партнерш.

Спортивный результат в сложном элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто» определяется в основном рациональными биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен и которые зависят от:

- скорости вылета и угла вылета центра масс тела спортсмена,

- положения центра масс тела спортсмена в начальных фазах бросковых упражнений,
- начальной угловой скорости вращения тела спортсмена,
- влияния осевых моментов инерции при различных группировках тела на угловую скорость вращения тела спортсмена в полете,
- влияния сил сопротивления воздушной среды на характеристики полёта тела.

Эти биомеханические характеристики при рациональных их значениях и сочетаниях с учётом конкретных физических данных спортсмена позволяют на высоком техническом уровне выполнить «Фус – сальто», а спортсмен соответственно получить высокую оценку.

Теоретической основой исследований о биомеханических закономерностях спортивных движений являются работы Н.А. Бернштейна [2], В.М. Зациорского [7], А.Н. Лапутина [4, 8].

Необходимость предварительного построения моделей и последующего выбора наиболее рациональных биомеханических параметров движений спортсмена отмечается в работах Адашевского В.М. [1, 2, 14], Ермакова С.С. [6, 14], Lin C-F. [12], Pengelly F. [13] и других.

Важное значение при этом приобретает поиск оптимального сочетания кинематических и динамических параметров движений спортсмена [9, 12-14]

с учетом закономерной передачи механической энергии от звена к звену [4, 5, 8]. Такой подход позволяет успешно влиять на результат спортивной деятельности [4, 8]. При этом рекомендуется использовать математические модели движений [1, 6, 12-14].

Поэтому очевидна необходимость проведения более детальных теоретических и практических исследований с использованием методов математического моделирования.

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

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

Цель работы – заключалась в определении основных рациональных биомеханических характеристик в сложном элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто» с учётом конкретных физических данных спортсменов, а также в составлении рекомендаций, которые повышают технику, а, соответственно, судейскую оценку.

#### Задачи работы:

- выполнить критический анализ специальной литературы,
- составить расчётную схему для определения основных рациональных биомеханических характеристик: скорости вылета и угла вылета центра масс тела спортсмена, положения центра масс тела спортсмена в начальных фазах бросковых упражнений, начальной угловой скорости вращения тела спортсмена, влияние осевых моментов инерции при различных группировках тела на угловую скорость вращения тела спортсмена в полете, влияние сил сопротивления воздушной среды на характеристики полета в элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто».
- составить физико-математическую модель для определения основных рациональных биомеханических характеристик полета в элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто»,
- определить основные биомеханические характеристики полёта тела путём решения задачи динамики биомеханической системы,
- провести исследование биомеханических характеристик и получить их графические зависимости,
- составить рекомендации относительно улучшения оценок в «Фус – сальто».

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

#### Результаты исследования.

Рассмотрим расчётные схемы для определения основных рациональных биомеханических характеристик в элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто» с учётом конкретных физических данных спортсмена (рис. 1, 2).

$V_0$  – начальная скорость вылета центра масс тела спортсмена,

$V_{0x}$  – 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:

$$V_{0x} = V_0 \cos \alpha; \quad V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

Выражение абсолютной начальной скорости вылета

$$V_0 = \sqrt{V_{0x}^2 + V_{0y}^2}$$

$h_{c0}$  – высота центра масс тела в начальное время вылета,  $\alpha_0 = \alpha$  – угол вылета центра масс спортсмена во время броска,

$G$  – сила тяжести,

$h_c$  – текущая высота центра масс тела,

$R_c$  – сила сопротивления воздушной среды,

$M_c$  – момент сил сопротивления воздушной среды воздушной среды,

где  $M_c = (F_c)a$ ,

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

$$R_c = 0.5 \cdot c_t \rho S V^2; \quad R_c = k V^2.$$

$F_c$  – равнодействующая распределённых сил сопротивления воздушной среды

$$F_c = f V_{2vr}^2 = f \omega^2 (a/2)^2 \quad \text{или} \quad M_c = n \omega^2 = n \dot{\varphi}^2.$$

При подсчёте этих сил безразмерные коэффициенты лобового сопротивления  $C_\tau$  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 совершает плоскопараллельное движение. Угол поворота тела в сагиттальной анатомической плоскости соответственно изменяется величина  $S$ . Определение переменных значений миделя  $S$  и коэффициента лобового сопротивления  $C_\tau$  требуют основательных дополнительных исследований, поэтому при решении данной задачи примем их усреднённые значения в допустимых границах.

Тогда значения коэффициентов  $k$  и  $f$ :

$$k = 0 - 2 \text{ кг/м}; \quad n = 0 - 0.04 \text{ кг/м}^2.$$

Так как тело спортсмена в фазе полёта движется в одной из анатомических плоскостей – сагиттальной плоскости, составим уравнения динамики плоскопараллельного движения в проекциях на оси координат.

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

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,

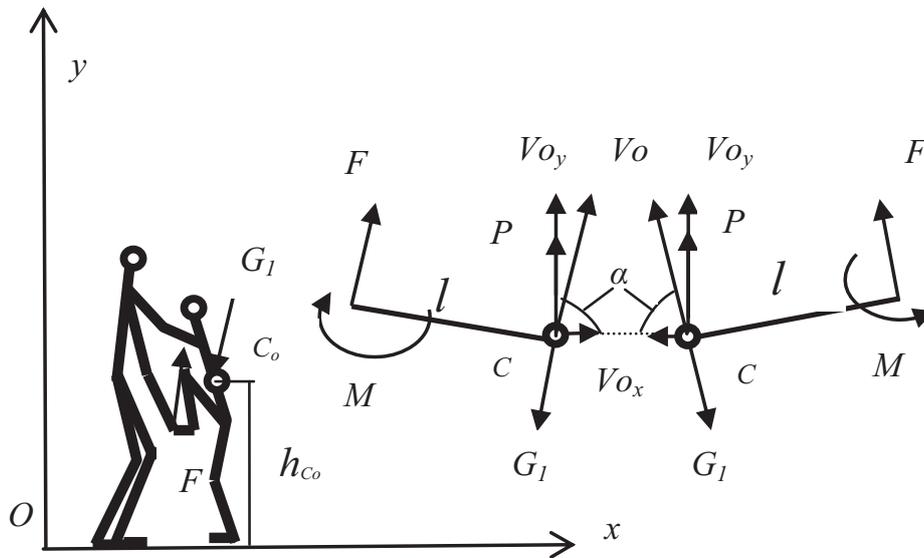


Рис. 1. Расчётная схема для определения начальных рациональных биомеханических характеристик броска

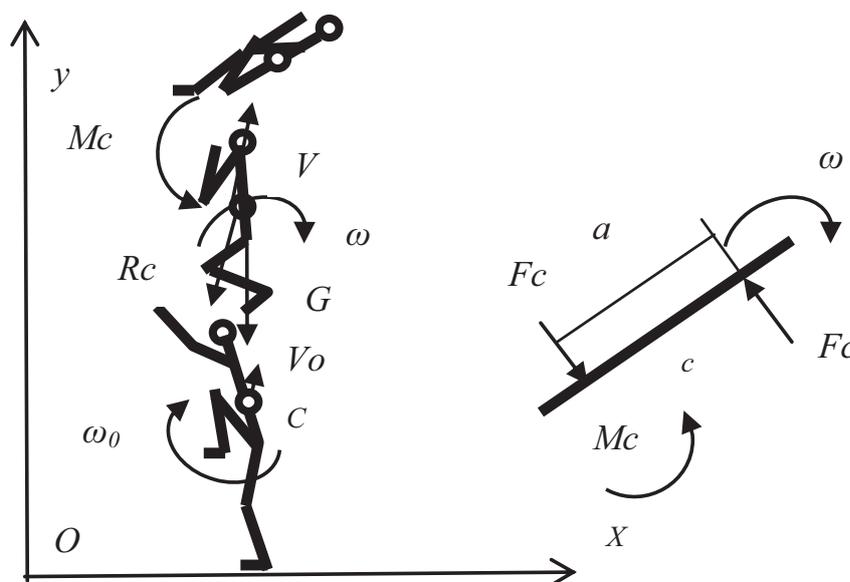


Рис. 2. Расчётная схема для определения рациональных биомеханических характеристик в фазе полёта

$J_z$  - момент инерции относительно фронтальной оси.

$\ddot{\varphi}$  - 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:

$$m\ddot{x} = -R_{cx}; \quad m\ddot{y} = -G - R_{cy}; \quad J_z\ddot{\varphi} = -M_c$$

$$m\ddot{x} = -kv^2 \cos \alpha; \quad m\ddot{y} = -mg - kv^2 \sin \alpha;$$

$$J_z\ddot{\varphi} = -n\dot{\varphi}^2$$

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

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

Решение этой задачи требует интегрирования дифференциальных уравнений движения.

Такая операция легко выполняется с помощью специального программного комплекса «КИДИМ», разработанного на кафедре теоретической механики НТУ «ХПИ».

Определим зависимость основных рациональных биомеханических характеристик в элементе акробатического рок-н-ролла «Фус – сальто» с учётом конкретных физических данных спортсмена от: скорости вылета и угла вылета центра масс тела спортсмена, положения центра масс тела спортсмена в начальных

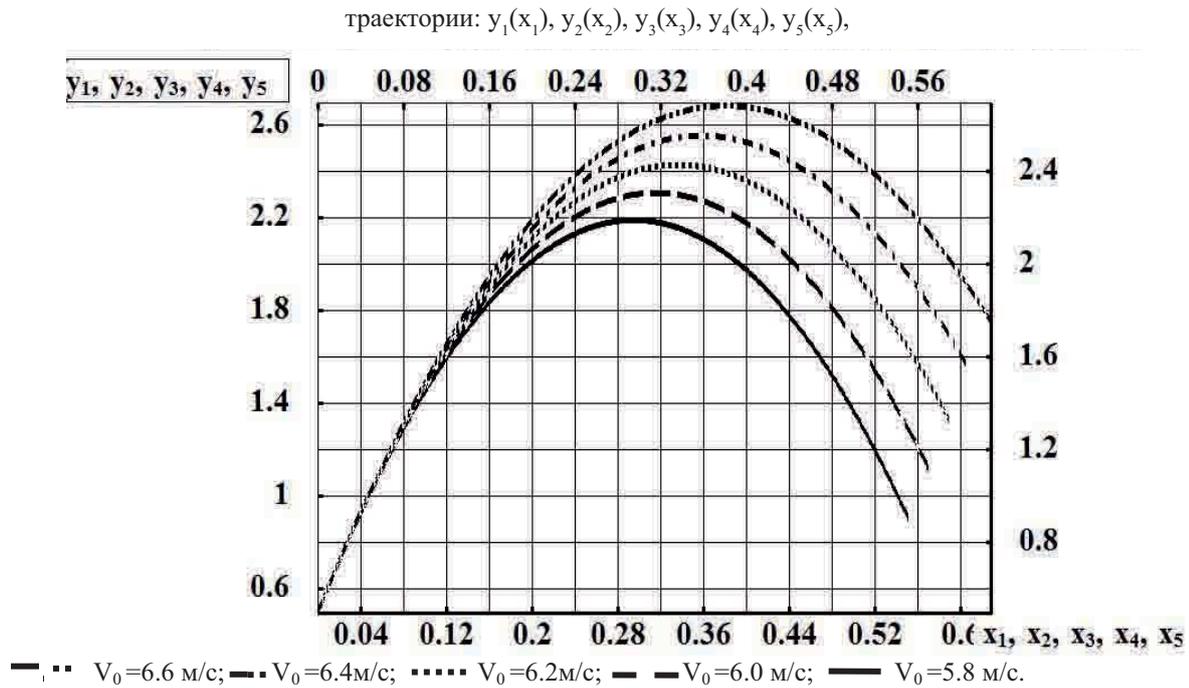


Рис.3. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений начальной скорости вылета

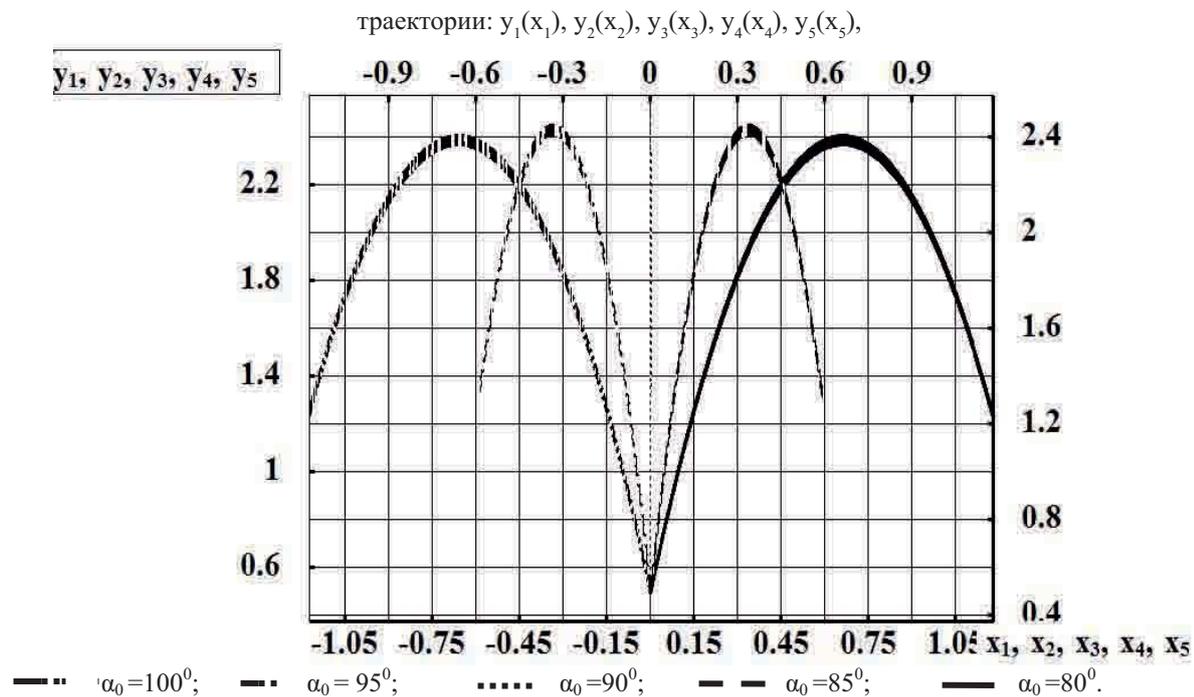


Рис. 4. Графические характеристики зависимости траектории центра масс для различных значений углов вылета тела

фазах бросковых упражнений, начальной угловой скорости вращения тела спортсмена, значений осевых моментов инерции при различных группировках тела, значений сил сопротивления воздуха (рис. 3-9).

Результаты расчётов математических моделей и полученные графические характеристики показывают:

- начальная скорость вылета и угол вылета центра

масс тела, положение центра масс тела спортсмена в начальных фазах, тела спортсмена оказывают значительное влияние на характеристики полета (рис.3, 4),

- траектории центра масс для различных значений высоты центра масс тела во время броска изменяются в среднем на такие же значения (рис. 5),

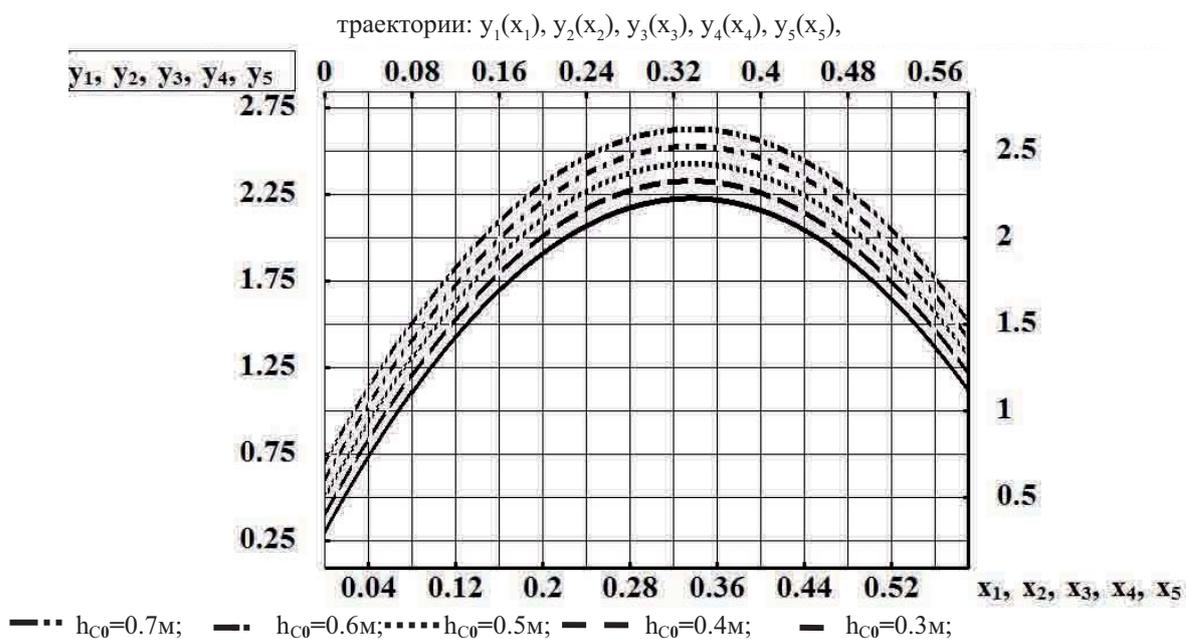


Рис. 5. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений высоты центра масс тела во время броска

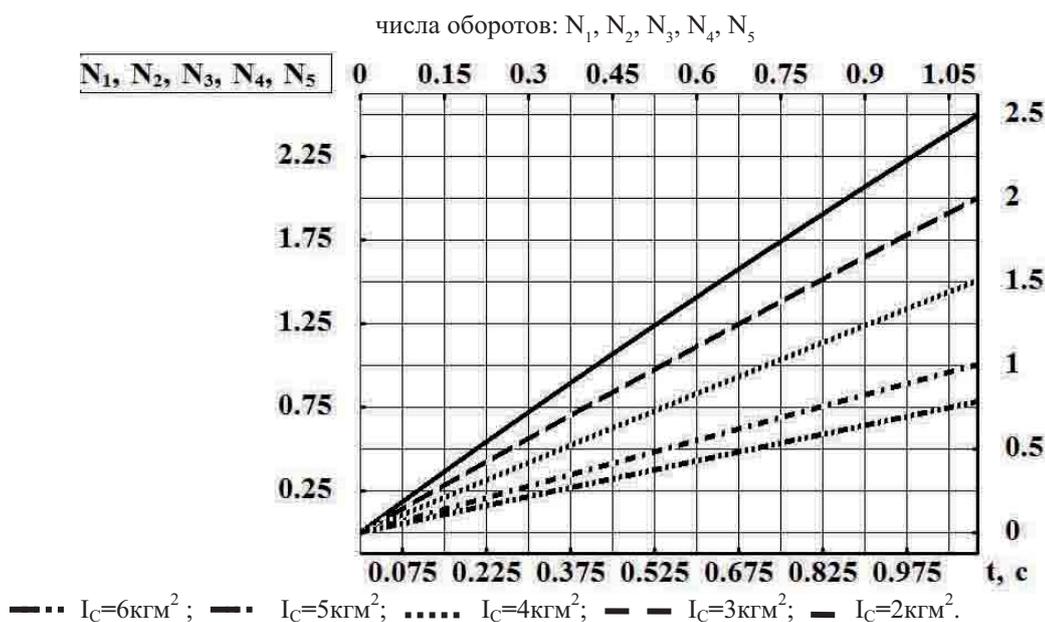


Рис. 6. Графические характеристики чисел оборотов для различных значений момента инерции относительно фронтальной оси

- различные значения моментов инерции тела относительно фронтальной оси во время полёта существенно изменяют угловую скорость вращения тела, а, следовательно, и изменяют значения чисел оборотов  $N$ , что при рациональных позах может способствовать более быстрым вращениям вокруг фронтальной оси (рис. 6) и даже изменять значения чисел оборотов  $N$  в три раза,
- для реальных скоростей полёта тела спортсмена,

сила сопротивления среды оказывает малое влияние на характеристики полета (рис. 7-8),

- значения чисел оборотов естественно прямо пропорциональны значениям начальных угловых скоростей тела (рис. 9).

#### Выводы

Анализ полученных в результате расчётов графических характеристик показывает, что для достижения высоких результатов необходимо увеличивать

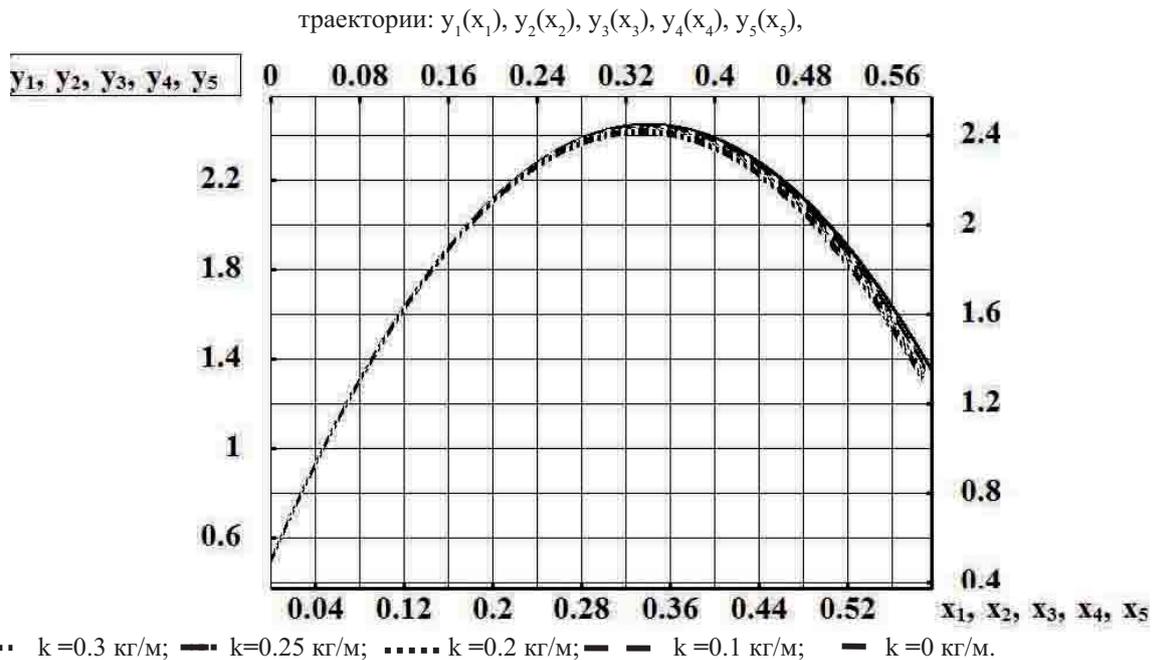


Рис.7. Графические характеристики траектории центра масс для различных значений коэффициентов сопротивления воздушной среды

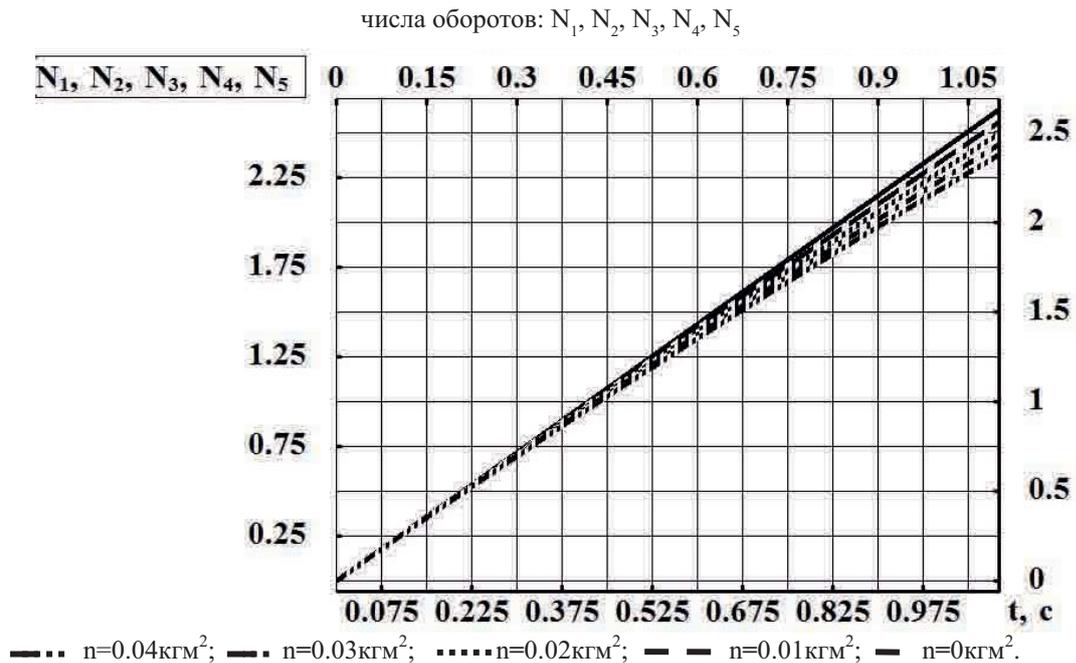


Рис.8. Графические характеристики значений чисел оборотов для различных коэффициентов сопротивления воздушной среды

начальную скорость вылета, высоту центра масс тела во время вылета, уменьшать моменты инерции, что позволит увеличить угловую скорость вращения в группировках, уменьшать углы вылета центра масс тела, при рациональном сочетании перечисленных параметров.

Таким образом, построенные графические характеристики позволяют при их анализе и последующем их использовании улучшить результат с учётом конкретных физических данных и возможностей спортсменов.



**Информация об авторах**

**Адашевский Владимир Михайлович:** adashevsky@ukr.net; Национальный технический университет «ХПИ»; ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

**Ермаков Сергей Сидорович:** д.п.н., проф; sportart@gmail.com; Харьковская государственная академия физической культуры; ул. Клочковская 99, г. Харьков, 61022, Украина.

**Фирсова Юлия Юрьевна:** adashevsky@ukr.net; Национальный технический университет «ХПИ»; ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

**Цитируйте эту статью как:** Адашевский В.М., Ермаков С.С., Фирсова Ю.Ю. Физико-математическое моделирование сложных элементов акробатического рок-н-ролла // Физическое воспитание студентов. – 2013. – № 3. – С. 3-10. doi:10.6084/m9.figshare.662463

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

Эта 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: 25.03.2013 г.  
Опубликовано: 23.04.2013 г.

**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.

**Firsova Iu.Iu.:** adashevsky@ukr.net; National Technical University "KPI"; Frunze str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

**Cite this article as:** Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Firsova Iu.Iu. Physical mathematical modelling of difficult elements of acrobatic rock-and-roll. *Physical education of students*, 2013, vol.3, pp. 3-10. doi:10.6084/m9.figshare.662463

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: 25.03.2013  
Published: 23.04.2013