

УДК 531.391

М.С. Молчанова, А.С. Попков, О.Р. Ильялов, О.А. Панченко
M.S. Molchanova, A.S. Popkov, O.R. Ilyalov, O.A. Panchenko

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ
АТАКУЮЩЕГО ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ УДАРЕ:
ПРАКТИКА АЙКИДО**

**STUDY OF TRAJECTORY MOVEMENT OF ATTACKING
PERSON IN THE CASE OF A STRAIGHT STRIKE:
AIKIDO PRACTICE**

Построена трехзвенная модель руки человека без учета основных мышц и связок, предназначенная для описания траекторий движения элементов руки при отклонении ее во время прямого удара. Получены траектории движения локтя и запястья.

Ключевые слова: биомеханика, айкидо, траектория, отклонение от удара, трехзвенная модель.

The paper presents a three-body model neglecting main muscles and filaments influence. The model was adopted to describe trajectories of moving arm elements during its rejection from a strike line. Wrist and elbow trajectories were calculated.

Keywords: biomechanics, aikido, trajectory, rejection from strike line, three-body model.

В имеющихся научных работах по айкидо, касающихся непосредственно влияния этого вида единоборств на физическое состояние человека, рассматриваются основы биомеханики как необходимый базис для грамотного преподавания айкидо [1–3], а также влияние продолжительной практики айкидо на психомоторику человека и энергетические затраты при выполнении физических упражнений [4–6].

Однако в рассмотренных работах отсутствуют подробное описание выполнения приемов, поведения практикующих айкидо при их выполнении и их математическое моделирование.

Анализ различных техник удара в единоборствах, в частности карате, приведен в работах [7, 8].

В данной работе рассматривается модель элемента часто встречающихся в практике айкидо приемов, когда укэ (атакующий) наносит прямой удар рукой в корпус нагэ (нейтрализующего), а нагэ отклоняет удар, вращаясь при этом вокруг неподвижной оси, проходящей преимущественно через его позвоночник. Важную роль при этом играет момент включения, так как от него зависит первоначальное расстояние от оси вращения до точки контакта, иными словами, на каком расстоянии от корпуса нагэ его рука встретится с рукой укэ.

Если контакт произойдет слишком поздно, т.е. на небольшом расстоянии, то нагэ может получить повреждения, так как рука укэ попадет в корпус или лицо. Но даже при контакте на достаточном расстоянии нагэ должен приложить определенные усилия и развить необходимую скорость, чтобы избежать прямого удара.

Материалы и методы. Задача № 1 «Простейшая модель движения руки укэ». Укэ атакует нагэ прямым ударом руки в корпус. Вращением вокруг некоторой неподвижной оси нагэ отводит рукой удар в сторону. Определите траекторию движения руки атакующего.

Закрепленную массу будем рассматривать как материальную точку массой m , движущуюся по некоторой траектории вокруг неподвижной оси вращения. Материальная точка связана с осью, к которой приложен вращающий момент M , стержнем, способным свободно изменять свою длину.

В начальный момент времени точка движется к оси вращения со скоростью V_0 , длина стержня – l (рис. 1).

Данные о начальных массе и скорости взяты из работы [9].

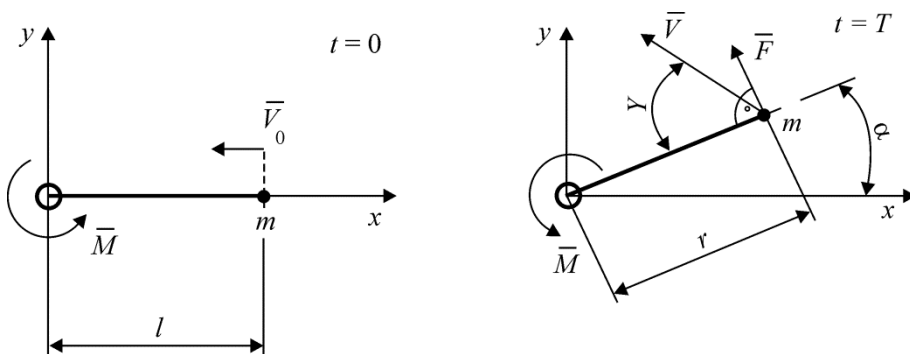


Рис. 1. Схема атаки

Математическая постановка задачи:

$$\begin{cases} F_x = m\ddot{x}, \\ F_y = m\ddot{y}. \end{cases}$$

Начальные условия:

$$\begin{cases} \dot{x} = -11 \text{ м/с}, \\ \dot{y} = 0 \text{ м/с}, \\ x = 0,7 \text{ м}, \\ y = 0 \text{ м}, \end{cases} \quad (1)$$

где x – расстояние от оси вращения до точки контакта по оси x ; y – расстояние от оси вращения до точки контакта по оси y ; \dot{x} – начальная скорость удара по оси x ; \dot{y} – начальная скорость удара по оси y ; \ddot{x} – ускорение по оси x ; \ddot{y} – ускорение по оси y .

При решении задачи рассматривались два варианта:

♦ нагэ создает постоянную силу $|\vec{F}| = \text{const} = 500 \text{ Н}$,

♦ нагэ вращается с постоянным моментом $|\vec{M}| = |\vec{F}| \cdot \vec{r} = \text{const} = 350 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Задача № 2 «Движение руки укэ как двухстержневая система». Поскольку приведенная выше модель, несмотря на ее некоторую достоверность, является слишком простой и мало соответствующей реальной системе, было принято решение об усложнении модели: была введена дополнительная степень свободы и усложнено силовое взаимодействие между укэ и нагэ (приложение усилия нагэ перпендикулярно вектору скорости движения кулака укэ).

Укэ атакует нагэ прямым ударом рукой в корпус. Вращением вокруг некоторой неподвижной оси и совокупным усилием мышц нагэ отводит рукой удар в сторону, прикладывая усилие таким образом, что оно всегда направлено перпендикулярно вектору скорости движения кулака укэ. Определите траектории движения руки атакующего.

Рука укэ рассматривается как система двух однородных стержней с плоским шарниром и материальной точки, закрепленной на конце одного из стержней. Стержни, обозначающие плечо и предплечье имеют массы m_a и m_b соответственно, точка, обозначающая кулак, имеет массу m_f .

Решение производится в обобщенных координатах методами аналитической динамики.

Общая схема системы изображена на рис. 2.

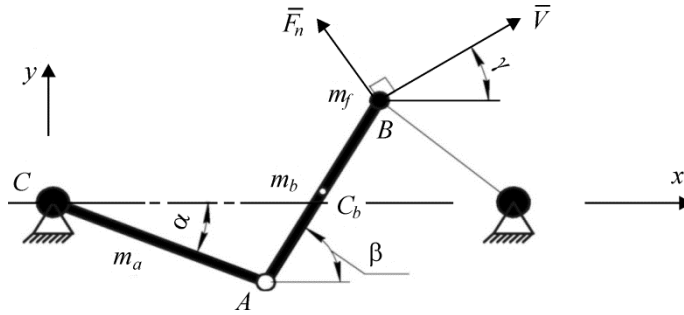


Рис. 2. Общая схема удара, где α, β – обобщенные координаты (углы отклонения от линии атаки плеча и предплечья соответственно); m_a, m_b, m_f – массы плеча, предплечья и кулака соответственно; γ – угол между вектором скорости точки B и осью Ox ; F_n – действующая внешняя сила

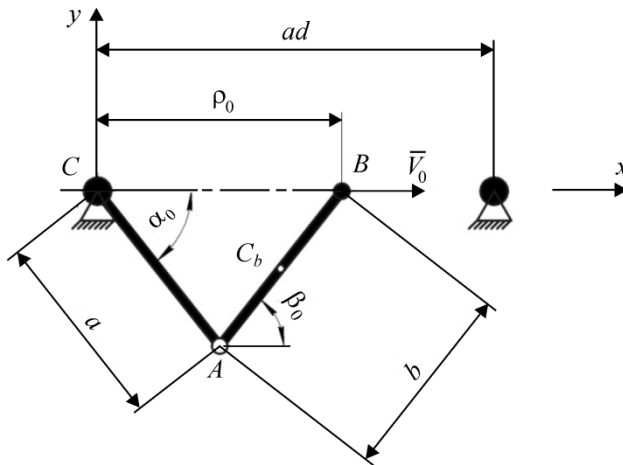


Рис. 3. Начальное состояние системы

Переход от обобщенных координат к координатам x, y :

$$\begin{aligned}
 x_A &= a \cdot \cos(\alpha) & y_A &= -a \cdot \sin(\alpha), \\
 x_B &= a \cdot \cos(\alpha) + b \cdot \cos(\beta) & y_B &= -a \cdot \sin(\alpha) + b \cdot \sin(\beta), \\
 x_{C_b} &= a \cdot \cos(\alpha) + \frac{b}{2} \cdot \cos(\beta) & y_{C_b} &= -a \cdot \sin(\alpha) + \frac{b}{2} \cdot \sin(\beta), \\
 \dot{x}_A &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) & \dot{y}_A &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha), \\
 \dot{x}_B &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) - b \cdot \dot{\beta} \cdot \sin(\beta) & \dot{y}_B &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) + b \cdot \dot{\beta} \cdot \cos(\beta), \\
 \dot{x}_{C_b} &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) - \frac{b}{2} \cdot \dot{\beta} \cdot \sin(\beta) & \dot{y}_{C_b} &= -a \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) + \frac{b}{2} \cdot \dot{\beta} \cdot \cos(\beta),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где x_A и y_A – координаты точки A ; x_B и y_B – координаты точки B ; \dot{x}_A и \dot{y}_A – проекции скорости движения точки A ; \dot{x}_B и \dot{y}_B – проекции скорости движения точки B ; x_{Cb} и y_{Cb} – координаты центра масс предплечья; \dot{x}_{Cb} и \dot{y}_{Cb} – проекции скорости движения центра масс предплечья.

Начальное состояние системы определяется исходя из схемы, показанной на рис. 3.

Используя теорему косинусов и принимая положительным направлением изменения углов движение против часовой стрелки, определяем начальные углы, получаем начальные отклонения от стержней:

$$\begin{aligned}\beta_0 &= \arccos\left(\frac{b^2 + \rho_0^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot \rho_0}\right), \\ \alpha_0 &= -\arccos\left(\frac{a^2 + \rho_0^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot \rho_0}\right),\end{aligned}\quad (3)$$

где a , b – длины плеча и предплечья; ad – дистанция атаки; ρ_0 – начальное удаление кулака от тела нападающего; V_0 – начальная скорость удара.

Зная начальную скорость удара и соотношение угловых скоростей, определим начальные угловые скорости:

$$\begin{aligned}V_0 = \dot{x}_{B_0} &= -a \cdot \dot{\alpha}_0 \cdot \sin(\alpha_0) - b \cdot \dot{\beta}_0 \cdot \sin(\beta_0), \\ \dot{\beta}_0 &= \dot{\alpha}_0 \cdot n, \\ \dot{\alpha}_0 &= \frac{-V_0}{a \cdot \sin(\alpha_0) + b \cdot n \cdot \sin(\beta_0)}.\end{aligned}\quad (4)$$

Движение системы описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_\alpha, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \beta} = Q_\beta, \end{cases}\quad (5)$$

где T – кинетическая энергия системы стержней; Q_α , Q_β – обобщенные силы.

$$T = \frac{I_a \cdot \dot{\alpha}^2}{2} + \frac{I_b \cdot \dot{\beta}^2}{2} + \frac{m_b \cdot \dot{x}_{Cb}^2}{2} + \frac{m_b \cdot \dot{y}_{Cb}^2}{2} + \frac{m_f \cdot \dot{x}_B^2}{2} + \frac{m_f \cdot \dot{y}_B^2}{2}, \quad (6)$$

$$\delta A = -F_n \cdot \sin(\gamma) \cdot \delta x_B + F_n \cdot \cos(\gamma) \cdot \delta y_B,$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{\dot{x}_B}{\sqrt{\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2}}\right),$$

где I_a, I_b – моменты инерции стержней (плеча и предплечья):

$$I_a = \frac{m_a \cdot a^2}{3}; \quad I_b = \frac{m_b \cdot b^2}{12}.$$

Раскроем ряд выражений для кинетической энергии системы и работы, совершаемой силой F_n .

Окончательно система уравнений принимает вид

$$\begin{cases} 2 \cdot \ddot{\alpha} \cdot a^2 \cdot C_1 - \ddot{\beta} \cos(\alpha + \beta) \cdot C_2 + 2 \cdot \dot{\alpha} \cdot \dot{\beta} \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot C_2 + \dot{\beta}^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot C_2 = F_n \cdot a \cdot \cos(\gamma - \alpha), \\ 2 \cdot \ddot{\beta} \cdot b^2 \cdot C_3 - \ddot{\alpha} \cos(\alpha + \beta) \cdot C_2 + 2 \cdot \dot{\alpha} \cdot \dot{\beta} \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot C_2 + \dot{\alpha}^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot C_2 = F_n \cdot b \cdot \cos(\gamma - \beta), \end{cases} \quad (7)$$

где

$$C_1 = \frac{m_a}{6} + \frac{m_b}{2} + \frac{m_f}{2},$$

$$C_2 = \frac{a \cdot b \cdot m_b}{2} + a \cdot b \cdot m_b,$$

$$C_3 = \frac{m_b}{24} + \frac{m_b}{2} + \frac{m_f}{2}.$$

Результаты. Для первой задачи рассматривались три варианта расстояния до точки контакта: $x = 0,7$ м, $x = 0,55$ м и $x = 0,4$ м. По прохождении некоторого расстояния, масса увеличивалась.

Для решения задачи был использован метод Рунге–Кутты четвертого порядка как наиболее точный [10].

Графическое решение первой задачи имеет вид, представленный на рис. 4–6.

Как видно из графиков, чем меньше расстояние от оси вращения до точки контакта, тем ближе в конечный момент времени окажется укрэ к оси вращения, вследствие чего нагэ может получить повреждения. Эти результаты подтверждаются практикой.

Также из полученных графиков следует, что при постоянном моменте укрэ окажется дальше от нагэ. Это, в свою очередь, снизит вероятность получения повреждений для нагэ.

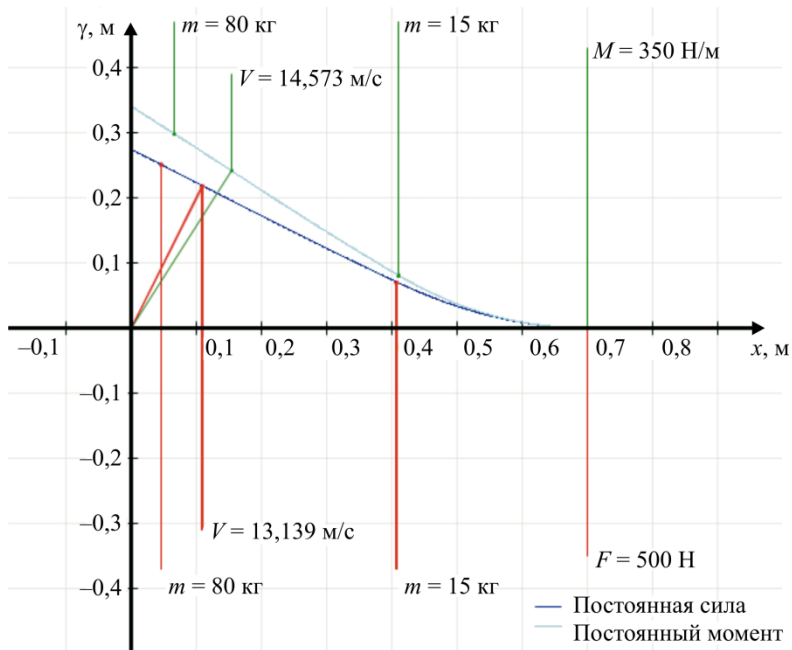


Рис. 4. Сравнение расстояния до оси вращения при постоянной силе и постоянном моменте ($x = 0,7$ м)

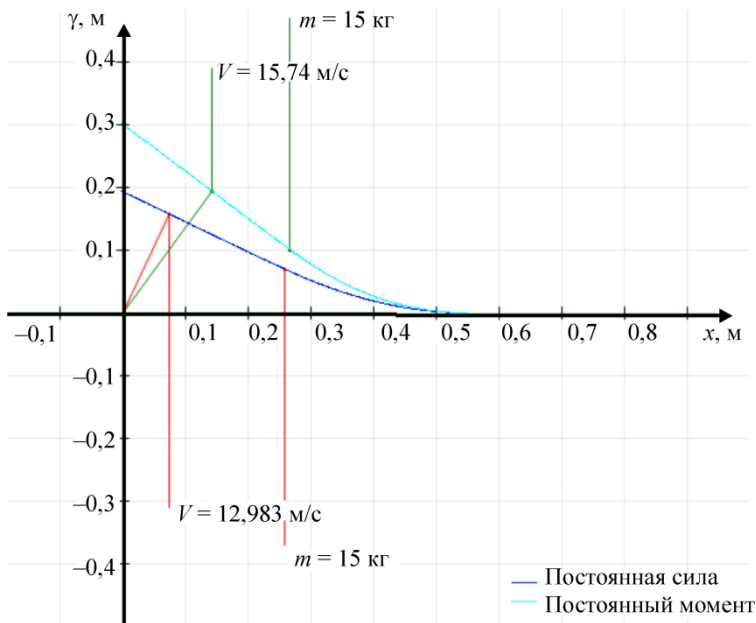


Рис. 5. Сравнение расстояния до оси вращения при постоянной силе и постоянном моменте ($x = 0,55$ м)

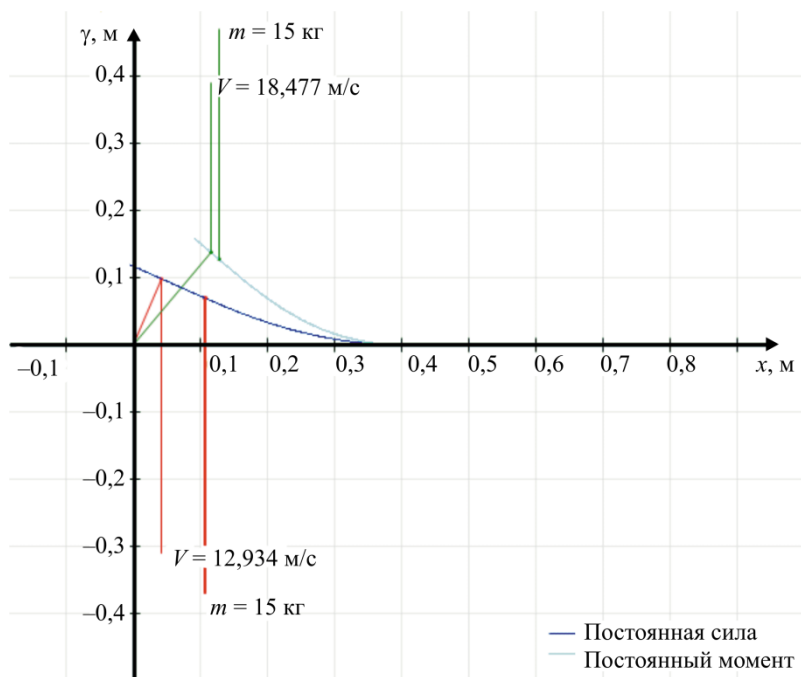


Рис. 6. Сравнение расстояния до оси вращения при постоянной силе и постоянном моменте ($x = 0,4$ м)

Для второй задачи были построены графики, отражающие траектории движения локтя (рис. 7–9, а) и кулака (рис. 7–9, б) при различной силе воздействия F_n .

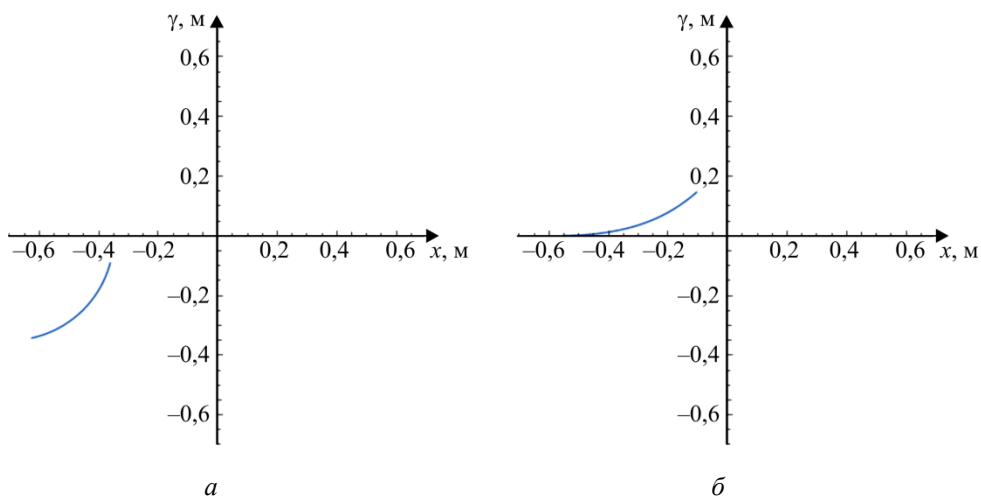


Рис. 7. Траектории движения локтя (а) и кулака (б), $F_n = 10$ Н

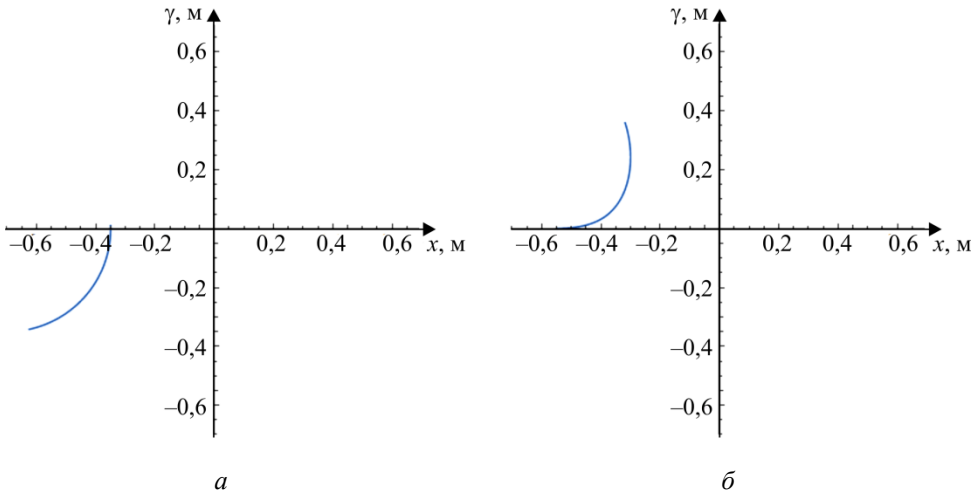


Рис. 8. Траектории движения локтя (а) и кулака (б), $F_n = 50$ Н

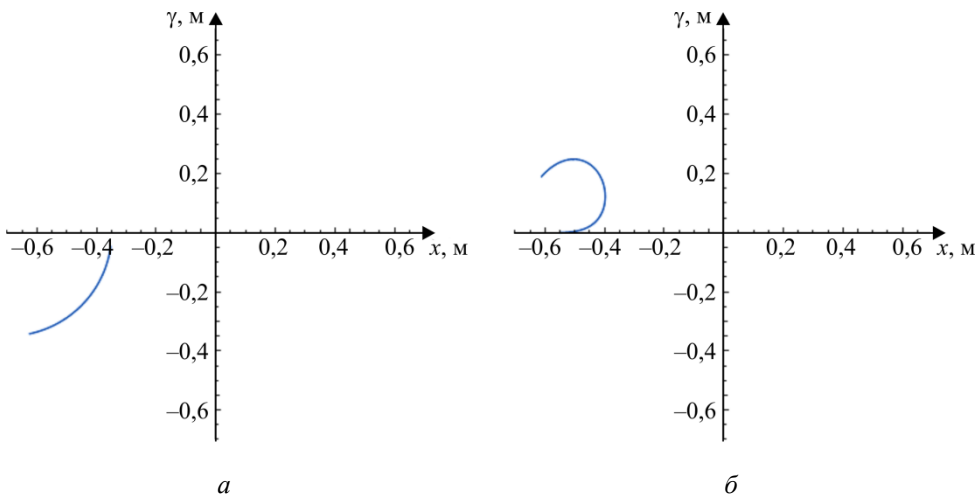


Рис. 9. Траектории движения локтя (а) и кулака (б), $F_n = 100$ Н

Как видно из графиков, чем больше прикладываемая нагэ сила, тем дальше будет «отброшен» кулак укэ. При относительно небольшой силе в 10 Н есть возможность совершить проброс атакующего вдоль линии атаки, т.е. выполнить вариант «ура». При силе воздействия в 50 и 100 Н укэ может быть опрокинут в обратную сторону, т.е. выполнен так называемый вариант «омотэ».

С помощью метода Рунге–Кутты четвертого порядка был произведен расчет простой модели движения тела при прямолинейном ударе. Получены траектории движения тела.

Была представлена постановка задачи для двухстержневой системы. Полученные траектории имеют сходство с траекториями, получаемыми на практике. Результаты говорят о том, что если укэ неподвижен и наносит удар только рукой, то этот удар можно отклонить относительно небольшим усилием в 10, 50, 100 Н.

В дальнейшем модель будет постепенно усложняться. В итоге укэ и нагэ будут представлены в виде более реалистичных многозвенных пространственных моделей.

Список литературы

1. Mroczkowski A. Using the knowledge of biomechanics in teaching aikido [Электронный ресурс] // Injury and Skeletal Biomechanics. – 2012. – URL: DOI: 10.5772/49955. <http://www.intechopen.com/books/injury-and-skeletal-biomechanics/using-the-knowledge-of-biomechanics-in-teaching-aikido> (дата обращения: 3.03.2015).

2. James D.A. The physics of unraisable body, an example of Chi/Ki development in oriental martial arts [Электронный ресурс]. – URL: http://www.researchgate.net/profile/Daniel_James2/publication/29458989_Unraisable_Body_The_Physics_of_martial_Arts/links/0deec52782563a9d7e000000.pdf (дата обращения: 2.03.2015).

3. Елисеев Е.В., Еганов В.А., Трегубова М.В. Структура ударных технико-тактических действий в защите у айкидоистов высокой квалификации // Вестник Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2010. – № 37 (213). – С. 120–123.

4. Postural control training using Aikido improves psychomotor performance / O.M. Bazanova, N. Kholodina, Yu. Kurose-Payet, J. Payet, E.D. Nikolenko, A.Sh. Podoinikov // International Journal of Psychophysiology. – 2014. – P. 165.

5. Бурбыгина В.В. Методические основы развития физических и психических качеств в процессе занятий айкидо // Известия Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена. – 2010. – № 128. – С. 156–161.

6. Троян Е.И. Использование приемов айкидо для обучения боевым приемам борьбы // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2010. – № 3. – С. 20–21.

7. Гладченко В.Н., Ревякин Ю.Т. Влияние мускульных усилий на характеристики спортивного удара в единоборствах // Вестник Томск. гос. пед. ун-та. – 2012. – № 5. – С. 141–146.

8. Физиологическое обеспечение точности ударов в спортивном карате / Ф.А. Гужов, Ю.П. Бредихина, Л.В. Капилевич, А.А. Ильин, М.Б. Ложкина // Вестник Томск. гос. пед. ун-та. – 2014. – № 381. – С. 214–219.

9. Ваваев М. Бить или не бить [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sportmedicine.ru/punchornot.php> (дата обращения: 14.01.2015).

10. Дубошин Г.Н. Справочное руководство по небесной механике и астеродинамике. – М.: Наука, 1976. – 864 с.

Получено 08.09.2015

Молчанова Марина Сергеевна – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, факультет прикладной математики и механики, гр. БМ-14-1м.

Попков Александр Сергеевич – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, факультет прикладной математики и механики, гр. БМ-14-1м.

Ильялов Олег Рустамович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и биомеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, факультет прикладной математики и механики.

Панченко Ольга Андреевна – руководитель клуба айкидо «Хоккексэй».