

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Теребиленко Д.Ю., Елец Н.М., Колосей В.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Давыдов М.В. – к. т. н., доцент

Аннотация. Был проведен анализ технических компонентов вертикального прыжка, и представлены результаты обработки данных, полученных с помощью динамометрической платформы. С использованием системы MATLAB были построены графики, демонстрирующие зависимость динамических характеристик от времени (фазы прыжка).

Ключевые слова: динамометрическая платформа, динамические характеристики движений

Введение. Динамометрические платформы широко используются в различных областях, включая автомобильные краш-тесты, клинический анализ походки и спортивной техники. Платформа представляет собой прямоугольную металлическую пластину примерно размером 0,4 x 0,6 м, на которой расположены пьезоэлектрические или тензометрические датчики, прикрепленные к каждому углу. Датчики регистрируют силы, действующие на пластину, и генерируют электрический выходной сигнал, пропорциональный этим силам [1, 2].

Все движения человека и движимых им тел под действием сил изменяются по величине и направлению скорости. Чтобы раскрыть механизм движений (причины их возникновения и ход их изменения), исследуют динамические характеристики. К ним относятся инерционные характеристики (особенности самих движущихся тел), силовые (особенности взаимодействия тел), внешние относительно системы силы и внутренние относительно системы силы [3].

Динамометрическая платформа может использоваться для анализа динамических характеристик движений спортсменов. К ним относятся ускорение, скорость, перемещение общего центра масс и др.

Для расчёта этих параметров используется специальное программное обеспечение для регистрации и визуализации вертикальной составляющей силы реакции опоры и смещения общего центра масс прыгуна. Дальнейший анализ данных дает эффективную иллюстрацию отношений между силами, действующими на тело спортсмена, и результирующими ускорением, скоростью и перемещением тела.

Основная часть. Вертикальный прыжок – это атлетическое действие, целью которого является максимальное возвышение ЦМТ в вертикальном направлении относительно положения покоя атлета. На успех в этом действии влияет количество силы, приложенное атлетом во время отталкивания [4].

Во время положения покоя (атлет стоит на опоре без движения) две силы находятся в равновесии (равны по величине, противоположны по направлению):

- а) Сила тяжести атлета;
- б) Сила реакции опоры – сила, производимая мышцами для поддержания баланса.

Изменение этого баланса в ту или иную сторону приводит к движению тела, т.е., его ускорению. Ускорение определяется как соотношение разности сил (между силой реакции опоры и силы тяжести) к массе атлета.

Сила, полученная в результате вычитания силы реакции опоры и силы тяжести, называется результирующей силой – именно ее величина и вектор определяет кинетические характеристики атлета во время вертикального прыжка. Она может быть как положительной (сила реакции опоры больше силы тяжести), так и отрицательной (сила реакции опоры меньше силы тяжести). Направление силы влияет и на направление ускорения. Если сила/ускорение с положительным знаком – атлет ускоряется вверх (встает), если с отрицательным знаком – атлет ускоряется вниз (падает).

В данном случае, положительная/отрицательная сила считается от условного нуля – силы тяжести системы (атлета). При этом, даже отрицательная негативная сила будет, на самом деле, положительной (просто меньше силы тяжести атлета) (см. рисунок 1).

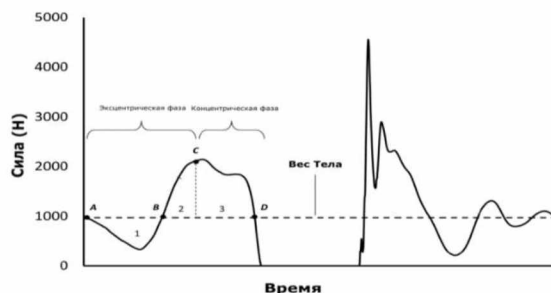


Рисунок 1 – График зависимости результирующей силы от времени

Получив график зависимости результирующей силы от времени, можем перейти к расчёту основных действующих сил:

1. Ускорение равно отношению разности вертикальной силы и силы тяжести к массе спортсмена, формула (1):

$$a = (F_z - P)/m, \tag{1}$$

где F_z – вертикальная сила;
 P – сила тяжести;
 m – масса спортсмена.

Вертикальная сила и масса спортсмена подаются на вход алгоритма, сила тяжести приравнивается к изолинии (см. рисунок 3).

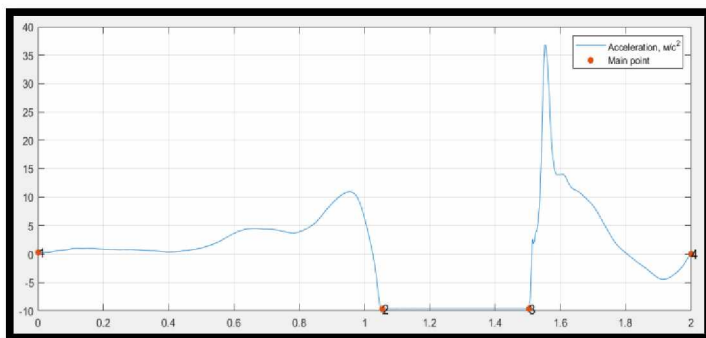


Рисунок 2 – Результат работы алгоритма расчёта ускорения

```

%ПП расчета кривой ускорения по формуле a=(Fz-P)/m, выраженной из формулы F=ma;
%Для всех типов прыжков

P=Izoline; % % сила тяжести (вес спортсмена)
Acceleration=(Fz_trial-P)./mass; % Ускорение
    
```

Рисунок 3 – Программный код алгоритма расчёта ускорения

2. Скорость.

2.1 Скорость движения для Countermovement jump, Abalakov jump, и Squat jump равна сумме скорости движения в начальный момент времени и произведения ускорения с промежутком времени, за которое происходит измерение, формула (2):

$$V = V_0 + at, \quad (2)$$

где V_0 – скорость движения в начальный момент времени;

a – ускорение;

t – отрезок времени, за которое происходит измерение.

Скорость в начальный момент времени приравнивается к нулю, а промежуток времени равен дискретному отсчёту, ускорение рассчитывается по уже рассмотренному алгоритму (см. рисунок 4).

```

%ПП расчета кривой скорости по формуле v=v0+at;
%Для прыжков CJ,AJ,SQ

Acceleration = Calculate_Acceleration(Fz_trial,Izoline,mass); % Сигнал ускорения

dt=1/Sampling_frequency; %Дискретный отсчет
v0=0;
y=0;
Velocity = [];
for i=1:numel(Acceleration)
    v=v0+Acceleration(i)*dt;
    Velocity=[Velocity; v];
    v0=v;
end
    
```

Рисунок 4 – Программный код алгоритма расчёта скорости (Countermovement jump, Abalakov jump, и Squat jump)

2.2 Скорость движения для Drop jump также рассчитывается по формуле (2) и имеет такой же алгоритм расчёта, однако ввиду особенности движения начальная скорость движения не равна нулю. Выведем начальную скорость движения из формулы (3):

$$mgh = mV^2/2, \quad (3)$$

где m – масса спортсмена;

g – ускорение свободного падения;

h – высота тумбочки;

V – скорость движения.

Из формулы (3) выведем скорость движения, формула (4):

$$V = (2gh)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где m – масса спортсмена;

g – ускорение свободного падения;
 h – высота тумбочки;
 V – скорость движения.

3. Перемещение о.ц.м равно отношению разности вертикальной силы и силы тяжести к массе спортсмена, формула (5):

$$D = D_0 + (Vt + at^2 / 2), \quad (5)$$

где D_0 – перемещение в начальный момент времени;
 a – ускорение;
 t – отрезок времени, за которое происходит измерение;
 V – скорость движения.

Скорость и ускорение рассчитываются по уже рассмотренным алгоритмам, отрезок времени равен дискретному отсчёту, перемещение в начальный момент времени равно нулю (см. рисунок 5).

```
%ПП расчета кривой перемещения по формуле D=v0t+at^2/2
%Для прыжков CJ,AJ,SQ

Velocity = Calculate_Velocity(Fz_trial,Izoline,mass,Sampling_frequency); % Сигнал скорости
Acceleration = Calculate_Acceleration(Fz_trial,Izoline,mass);

dt=1/Sampling_frequency; %Дискретный отсчет
d0=0;
d=0;
Displacement = [];
for i=1:numel(Velocity)
    d=d0+Velocity(i)*dt+(Acceleration(i)*dt^2)/2;
    Displacement=[Displacement; d];
    d0=d;
end
```

Рисунок 5 – Программный код алгоритма расчёта перемещения общего центра масс

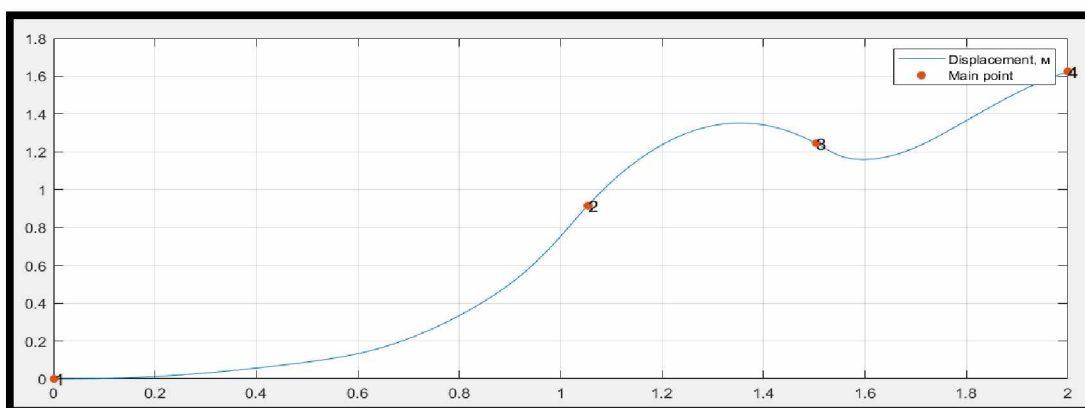


Рисунок 6 – Результат работы алгоритма расчёта перемещения общего центра масс

Заключение. Разработанные в ходе научной работы подходы могут быть использованы для оценки мастерства спортсменов и в мониторинге результатов спортивной тренировки.

Список литературы

1. R. Cross, "Standing, walking, running, and jumping on a force plate" *Am. J. Phys.* 67(4), 304–309 (1998).
2. J. A. Major, W. A. Sands, J. R. McNeal, D. D. Paine, and R. Kipp, "Design, construction, and validation of a portable one-dimensional forceplatform" *J. Strength Conditioning Res.* 12(1), 37–41 (1998).
3. Загревский, В. И. Биомеханика физических упражнений: учебное пособие / В. И. Загревский, О. И. Загревский – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – 262 с.
4. Вертикальный прыжок: силы (часть 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/abulahov/vertikalnyi-pryjok-sily-chast-1-5ba1028c14b74200aefe005e> – Дата доступа: 02.01.2024.
5. P. V. Komi, "Stretch-shortening cycle," in *Strength and Power in Sport*, edited by P. V. Komi (Blackwell Science, Oxford, 1992), pp. 169–179.
6. A. Kibele, "Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study," *J. Appl. Biomech.* 14 (1), 105–117 (1998).
7. M. F. Bobbert, K. G. M. Gerritsen, M. C. A. Litjens, and A. J. van Soest, "Why is countermovement jump height greater than squat jump height," *Med. Sci. Sports Exercise* 28(11), 1402–1412 (1996).

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ANALYSIS OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ATHLETES' MOVEMENTS USING A DYNAMOMETRIC PLATFORM

Terebilenko D.Y., Yelets N.M., Kalasei U.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus (style T-institution)

Davydov M.V. – Cand. Of Sci., Assistant Professor

Annotation. An analysis of the technical components of the vertical jump was carried out, and the results of processing data obtained using a dynamometer platform were presented. Using the MATLAB system, graphs were constructed demonstrating the dependence of the dynamic characteristics on time (the jump phase).

Keywords. force platform, dynamic characteristics