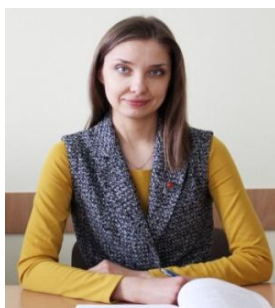


УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ



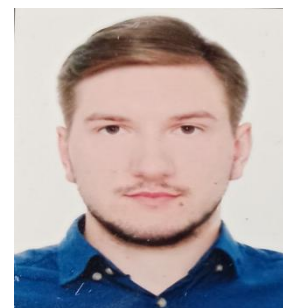
М.В. Давыдов
Кандидат технических наук, доцент, первый проректор БГУИР
davydov-mv@bsuir.by



Н.С. Давыдова
Кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий, доцент
davydovans@bsuir.by



Д.Ю. Тербиленко
Магистрант факультета компьютерного проектирования БГУИР, специальности «Электронные системы и технологии»
daniil.terbilenko@gmail.com



Н.М. Елец
Магистрант факультета компьютерного проектирования БГУИР, специальности «Электронные системы и технологии»
eletz.nikita@yandex.by

М.В. Давыдов

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с исследованием алгоритмов цифровой обработкой биомедицинских сигналов и изображений, моделирование биологических объектов, разработка программных продуктов медицинского и спортивного назначения.

Н.С. Давыдова

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с исследованием сетевых технологий, микропроцессорных устройств, цифровой обработкой сигналов, спортивной и биомедицинской инженерией.

Д.Ю. Тербиленко

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Н.М. Елец

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Аннотация. Проведен анализ технических компонентов вертикального прыжка. Предложены алгоритмы автоматизированной оценки динамических характеристик движений спортсменов на основании анализа данных динамометрической платформы. Представлены результаты разработки программного обеспечения для анализа и визуализации данных динамометрической платформы.

Ключевые слова: динамометрическая платформа, динамические характеристики движений, цифровая обработка сигналов.

Введение. В области спортивных исследований существует проблема автоматизации обработки данных. В частности, актуальным является разработка алгоритмов автоматизированного анализа динамических характеристик движений человека.

Динамометрические платформы широко используются в различных областях, включая автомобильные краш-тесты, клинический анализ походки и спортивной техники. Платформа представляет собой прямоугольную металлическую пластину, на которой расположены пьезоэлектрические или тензометрические датчики. Датчики регистрируют физические силы, действующие на пластину, и генерируют электрический выходной сигнал, пропорциональный этим силам [1, 2].

Динамометрическая платформа может использоваться для анализа динамических характеристик движений спортсменов. К ним относятся ускорение, скорость, перемещение общего центра масс и др. [3]. Для расчёта этих параметров используется специальное программное обеспечение для регистрации и визуализации вертикальной составляющей силы реакции опоры и смещения общего центра масс спортсмена. Анализ данных дает эффективную иллюстрацию соотношений между силами, действующими на тело спортсмена, и результирующими ускорением, скоростью и перемещением тела.

Выбор исследуемых движений спортсменов. В представленной работе для анализа динамических характеристик движений спортсменов выбран вертикальный прыжок. Вертикальный прыжок – это атлетическое действие, целью которого является максимальное возвышение общего центра масс тела (ОЦМ) в вертикальном направлении относительно положения покоя атлета. Эффективность прыжка определяется силой, приложенной атлетом во время отталкивания [4].

Во время вертикального прыжка равнодействующая сила, действующая на общий центр масс спортсмена, рассчитывается по формуле (1):

$$F = F_{CPO} - mg, \quad (1)$$

где F_{CPO} – сила реакции опоры, действующая на спортсмена, Н;

m – масса спортсмена, кг;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Именно ее величина и вектор определяет динамические характеристики атлета во время вертикального прыжка (рисунок 1). 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).

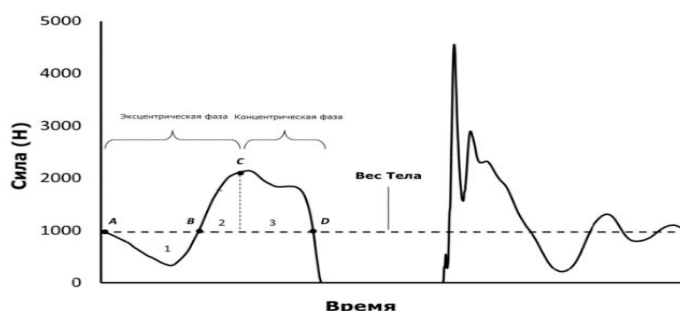


Рисунок 1. Динамометрическая кривая вертикального прыжка

В работе исследовались различные виды вертикального прыжка: *Countermovement jump*, *Square jump* и *Abalakov jump* [5].

Расчёт основных динамических характеристик движений. На основании результирующей силы спортсмена (динамометрической кривой) проведем расчет основных динамических характеристик движения:

1 Ускорение движения (формула 2):

$$a_i = (F_{zi} - P)/m, \quad (2)$$

где F_{zi} – вертикальная составляющая результирующей силы в момент времени i ;
 P – сила тяжести.

Пример кривой ускорения для прыжка *Countermovement jump* представлен на рисунке 2.

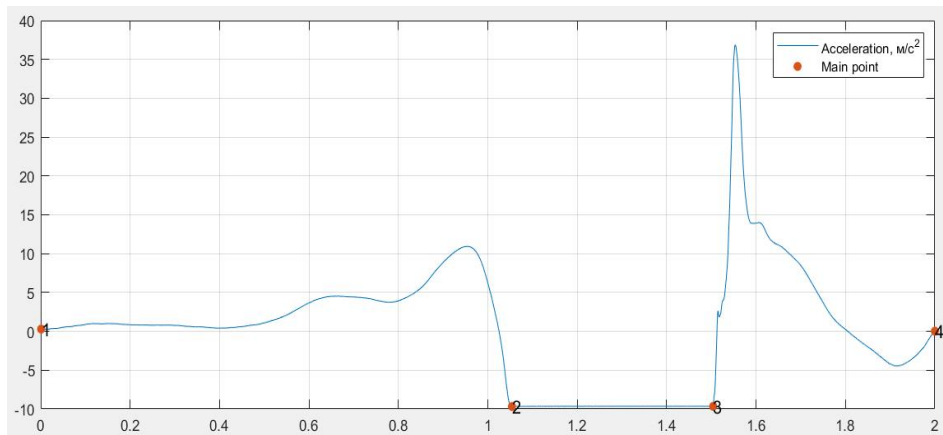


Рисунок 2. Кривая ускорения для вертикального прыжка

2 Скорость движения (формула 3):

$$V_i = V_{i-1} + a_i * dt, \quad (3)$$

где V_i – скорость движения в момент времени i ;
 dt – время дискретизации.

Пример кривой скорости для прыжка *Square jump* представлен на рисунке 3.

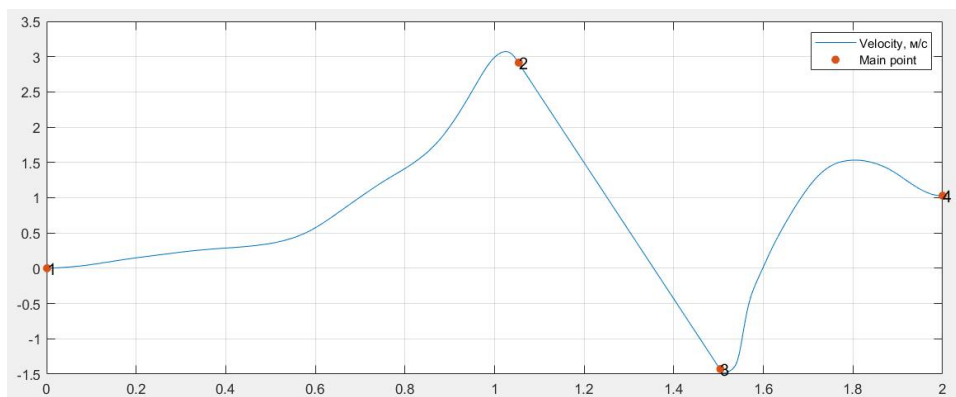


Рисунок 3. Кривая скорости для вертикального прыжка

3 Перемещение ОЦМ (формула 4):

$$D_i = D_{i-1} + V_{i-1} * dt + a_i * dt^2 / 2, \quad (4)$$

где D_i – перемещение в момент времени i .

Пример кривой перемещения ОЦМ для прыжка *Abalakov jump* представлен на рисунке 4.

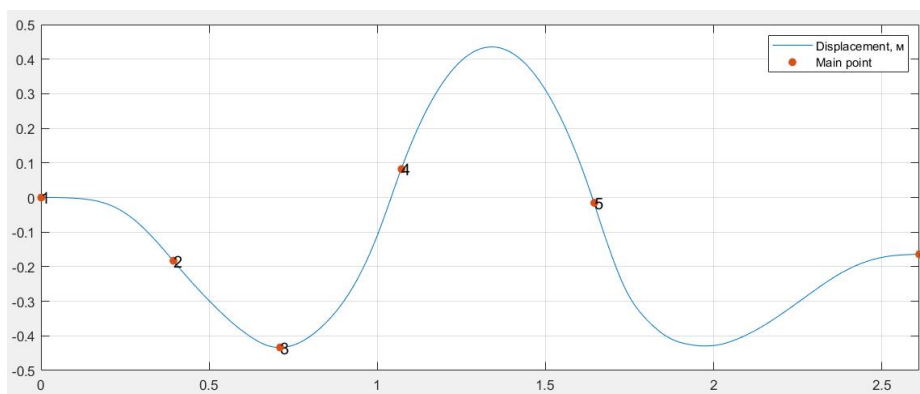


Рисунок 4. Кривая перемещения общего центра масс для вертикального прыжка

4 Импульс движения (формула 5):

$$p_i = p_{i-1} + (F_{z_i} - P) * dt, \quad (5)$$

где p_i – импульс движения в момент времени i .

5 Мощность движения (формула 6):

$$N_i = F_{z_i} * V_i, \quad (6)$$

где N_i – мощность движения в момент времени i .

6 Фазовый портрет движения (зависимость силы движения от перемещению ОЦМ) для прыжка *Countermovement jump* представлен на рисунке 5.

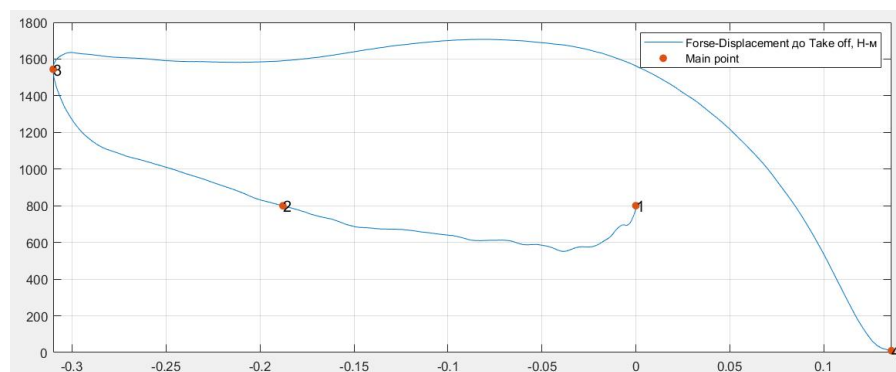


Рисунок 5. Фазовый портрет движения

Разработка программного средства для анализа динамических характеристик движения спортсменов. Основные алгоритмы обработки данных динамометрической платформы выполнены в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений *MATLAB*.

Программа для анализа и визуализации данных динамометрической платформы написана на языке *MATLAB* с использованием среды разработки *MATLAB App Designer* [6].

Для обеспечения удобства взаимодействия пользователя с программой, ее возможности были разделены на несколько взаимосвязанных окон:

1 Основное окно программы (рисунок 6).

В основном окне программы реализованы следующие функции:

– Отображение записей спортсменов, хранящихся в базе данных.

– Возможность добавления, редактирования и удаления записей спортсменов.

- Фильтрация отображения записей спортсменов по спортивной квалификации.
- Сортировка отображения записей по убыванию или возрастанию.
- Выбор типа прыжка загружаемого файла тензометрической установки.
- Отображение результатов анализа ранее обработанных записей прыжков для каждого спортсмена хранящихся в базе данных с возможностью удаления.

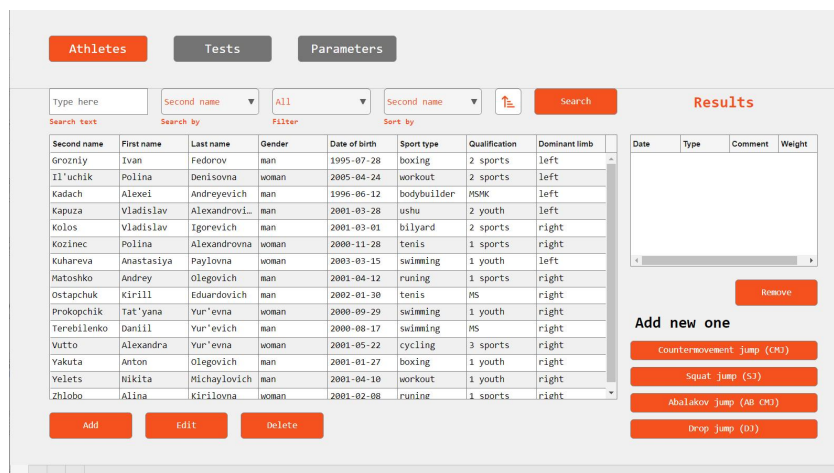


Рисунок 6. Основное окно программы для анализа и визуализации данных динамометрической платформы

2 Окно предварительной обработки данных динамометрической платформы.

После выбора файла для анализа, программа автоматически открывает окно, в котором отображается график вертикальной силы реакции опоры. С использованием разработанных и проверенных алгоритмов в *MATLAB*, программа также автоматически определяет границы каждого прыжка, так как в одном файле записывается несколько попыток движения. Результатом анализа данных также является определение массы спортсмена и построение изолинии, соответствующей его весу (рисунок 7).

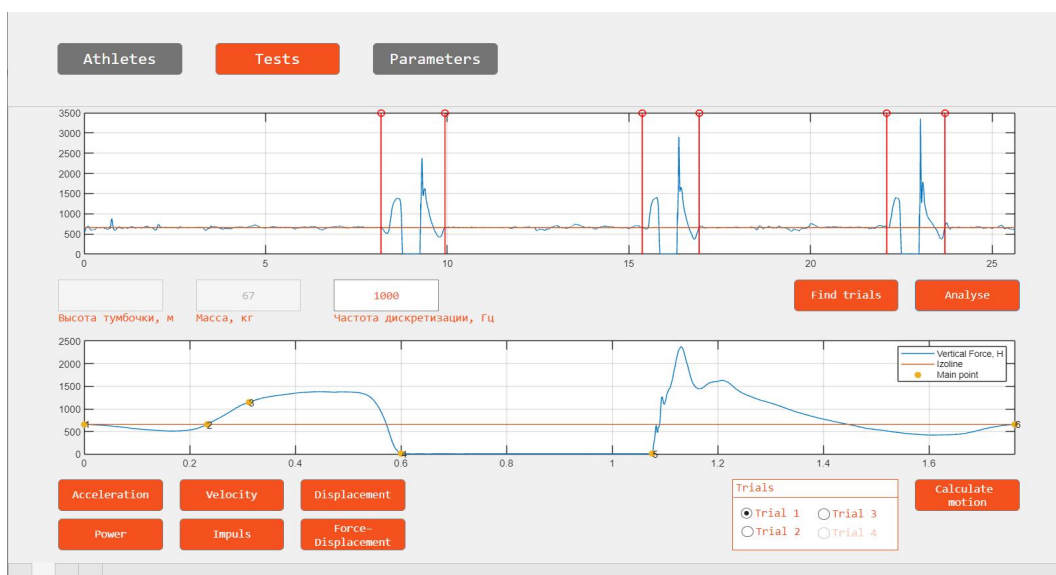


Рисунок 7. Окно предварительной обработки данных динамометрической платформы

3 Окно расчёта динамических характеристик движения спортсмена.

После нажатия на кнопку расчёта параметров движения, откроется окно, в котором можно выбрать интересующие динамические характеристики движения для последующего расчёта, а также сохранить рассчитанные характеристики в EXCEL файл (рисунок 8).

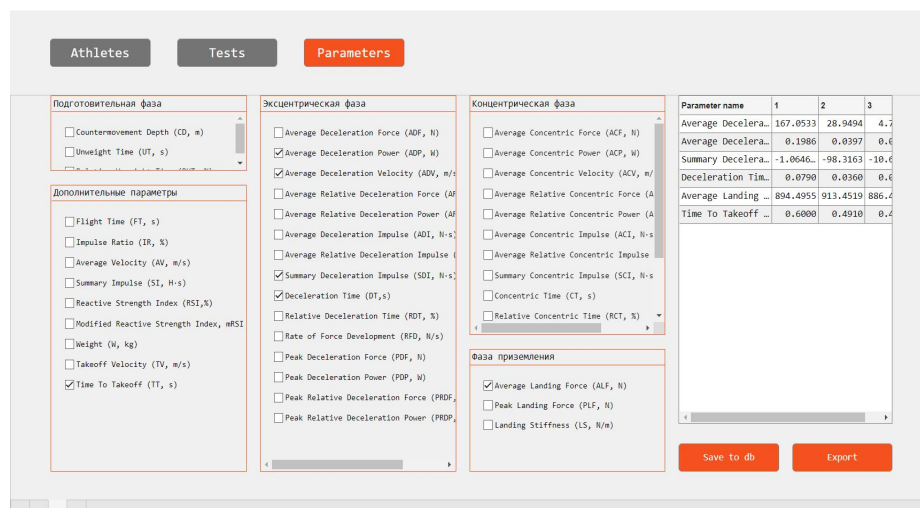


Рисунок 8. Окно расчёта динамических характеристик движения спортсмена

Динамические параметры движения рассчитываются на основании ранее построенных сигналов и выделенных фаз движения. Расчет производится для каждого выделенного цикла движения, а затем осуществляется статистический анализ динамических параметров для всех выделенных циклов движения (математическое ожидание, СКО, максимальное и минимальное значение). Всего в программе рассчитывается более 40 показателей.

Закключение. Разработанные в ходе работы алгоритмы и программное средство для автоматизированного анализа динамических характеристик движений спортсменов на основе динамометрической платформы могут быть использованы для оценки спортивного мастерства, контроля результатов тренировочного процесса, прогнозирования двигательной одаренности у детей и эффективном обучении двигательным навыкам.

Дальнейшее развитие программного обеспечения планируется в разрезе детализации каждого отдельного прыжка, кроссплатформенности и размещении базы данных на удаленном сервере, что позволит получать доступ к записям спортсменов с разных устройств.

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] Загrevский, В. И. Биомеханика физических упражнений : учебное пособие / В. И. Загrevский, О. И. Загrevский – 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: 11.11.2023.
- [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] Develop Apps Using App Designer [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/help/matlab/app-designer.html> – Дата доступа: 14.11.2023.

Авторский вклад

Давыдов Максим Викторович – анализ и постановка задачи, общий анализ алгоритмов цифровой обработки сигналов

Давыдова Надежда Сергеевна – разработка алгоритмов автоматизированного анализа данных динамометрической платформы.

Теребиленко Даниил Юрьевич – разработка графического интерфейса пользователя, создание структуры базы данных.

Елец Никита Михайлович – разработка десктопной программы анализа с графическим интерфейсом.

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

M.V. Davydov

*PhD of Technical Sciences,
Associate Professor
First Vice-Rector*

Davydova N.S.

*PhD of Technical Sciences,
Associate Professor of the
Department of
Infocommunication
Technologies, Associate
Professor*

D.Y. Terebilenko

*Master's student at the
Faculty of Computer
Science
design BSUIR, specialty
«Electronic systems and
technologies»*

N.M. Yelets

*Master's student at the
Faculty of Computer
Science
design BSUIR, specialty
«Electronic systems and
technologies»*

Abstract. An analysis of the technical components of the vertical jump was carried out. Algorithms for automated assessment of the dynamic characteristics of athletes' movements are proposed based on the analysis of data from a dynamometer platform. The results of software development for analysis and visualization of dynamometer platform data are presented.

Key words: dynamometer platform, dynamic characteristics of movements, digital signal processing.