

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

Теребиленко  
Даниил Юрьевич

Программное средство для анализа динамических характеристик спортсменов, полученных с использованием динамометрической платформы

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра  
по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии

Научный руководитель  
Давыдов Максим Викторович  
канд. техн. наук, доцент каф. ТОЭ

Минск 2024

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Сила является важнейшей динамической характеристикой движения. С ней непосредственно связаны момент силы и другие важные биомеханические характеристики. Не случайно за последние годы предложено множество способов измерения усилий спортсмена в различных видах спорта. Наибольшее распространение получил тензометрический метод измерения усилий. Метод основан на свойствах некоторых физических материалов изменять свои характеристики, в частности, электрическое сопротивление при деформации. Измерительная схема преобразует электрическое сопротивление датчика в электрическое напряжение, которое пропорционально измеряемым усилиям [1].

Тензометрические установки позволяют регистрировать горизонтальную и вертикальную составляющие усилий спортсменов при выполнении различных движений [2].

На данный момент тензометрические системы анализа динамических характеристик человека не получили широкого распространения ввиду дороговизны существующего оборудования, поставляющегося вместе с специализированным программным обеспечением. Существующие тензометрические платформы без соответствующего программного обеспечения не позволяют проводить полный спектр анализа динамических характеристик и параметров прыжков ввиду предоставления системами сугубо массива считанных данных.

Данную работу является актуальной ввиду отсутствия аналогов.

Из чего следует, что целью данной работы является создание программного обеспечения для анализа и визуализации данных тензоплатформы, способного работать с любым тензометрическим оборудованием.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- пространственно-временной анализ техники выполнения прыжков;
- анализ сигналов динамометрической платформы и сопоставление их с пространственно-временными характеристиками прыжков;
- разработка алгоритма анализа динамических характеристик движений спортсменов;
- работа с файлами формата *.csv*;
- наличие встроенной базы данных для хранения записей спортсменов и предыдущих результатов анализа измерений;
- построение графиков, характеризующих измерение в целом и конкретного прыжка в частности.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (от 03.10.2022 г. 2277- с) и соответствует разделу 2 «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них» Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156).

Диссертационная работа выполнена в одной организации – учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

### **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

Целью представленного проекта является разработка десктопного программного обеспечения для обработки и визуализации данных, полученных с тензоплатформы.

К основным задачам относятся:

- пространственно-временной анализ техники выполнения прыжков;
- анализ сигналов динамометрической платформы и сопоставление их с пространственно-временными характеристиками прыжков;
- разработка алгоритма анализа динамических характеристик движений спортсменов;
- разработка архитектуры программы исходя из технического задания;
- разработка модулей приложения с применением средств и технологий для разработки десктопных приложений;
- исследование и тестирование его эксплуатационных характеристик.

Объектом разработки является десктопное программное обеспечение для визуализации и обработки данных, полученных с тензоплатформы.

Предмет разработки – технологии проектирования и программирования десктопных приложений, требования и стандарты проектирования десктопных приложений.

## **Научная новизна**

1. Пространственно-временной анализ техники выполнения заранее выбранных движений с их последующим разбиением на фазы движения.
2. Методы расчёта динамометрических характеристик движений спортсменов для каждой из фаз движения.
3. Результатом выполнения данной работы является разработанная программа для анализа и визуализации данных тензоплатформы, способная работать с любым тензометрическим оборудованием, записывающим результат движения в CSV-файл.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Методика исследования динамических характеристик движений спортсменов с использованием динамометрической платформы позволила увеличить эффективность тренировки спортсменов на 30%.
2. Программное средство для анализа динамических характеристик движений спортсменов, полученных с использованием динамометрической платформы, упрощает работу с алгоритмами анализа и позволяет сохранять полученные результаты в базу данных.

## **Личный вклад соискателя ученой степени**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук, доцентом М.В. Давыдовым. Основными соавторами опубликованных работ являются кандидат технических наук, доцент М.В. Давыдов, магистрант Елец Н.М.

## **Апробация результатов диссертации**

Результаты исследований апробированы на практике, доложены на научно-практической конференции: XIII Международная науч.-техн. конференция «МЕДЭЛЕКТРОНИКА - 2022» (декабрь, 2022., Минск, БГУИР); 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов УО БГУИР (апрель, 2022., Минск, БГУИР); 60-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов УО БГУИР (апрель, 2024., Минск, БГУИР).

## **Опубликованность результатов диссертации**

По результатам выполненных исследований опубликовано 6 научных работ. Из них 6 в сборниках статей и материалов конференций.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка. Общий объем диссертационной работы составляет 64 страниц, включая 38 страницы машинописного текста, 55 иллюстраций на 20 страницах, 2 таблицы на 2 страницах, список использованных источников из 19 наименований и 6 собственных публикаций автора на 3 страницах, а также 1 приложение.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** и **общей характеристике** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, приведены сведения об апробации и опубликовании основных результатов диссертации.

В **первой главе** были рассмотрены основные динамические характеристики движения, их взаимосвязь и возможности применения в исследовании качественных составляющих движений. Дано краткое описание понятия метода исследования и рассмотрены популярные методы анализа биометрических характеристик движения, их суть и примеры использования. Рассмотрены современные тензометрические системы, их функциональные особенности и области применения. Дано описание методов цифровой обработки биомеханических сигналов, использовавшихся в работе.

Во **второй главе** была дана общая характеристика объекта исследования, в которой были описаны выбранные движения и выделены их основные фазы.

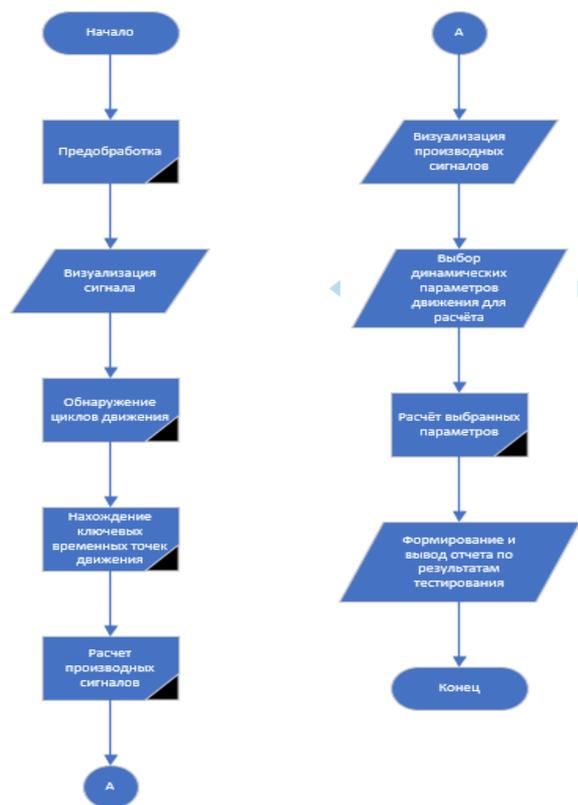


Рисунок 1 – Общая структура алгоритма анализа динамических характеристик движения человека

Был представлен как общий алгоритм разрабатываемой программы (см. рисунок 1), так и его отдельные сегменты, такие как: предварительной обработки сигнала, визуализации сигнала, обнаружения циклов движения, нахождения ключевых временных точек движения, расчета и вывода производных сигналов, выбора и расчёта динамических параметров движения для расчёта, формирования и вывода отчета по результатам тестирования.

Рассмотрена логика и программный код перечисленных выше сегментов. Даны определения и формулы для расчёта рассматриваемых величин.

В **третьей** главе были описаны использованные в разработке приложения инструменты и описаны результаты тестирования разработанного приложения, в ходе которого были сделаны следующие выводы:

- тестирование эргономических свойств разработанного приложения пройдено успешно;
- функциональное тестирование было пройдено успешно.

Главное окно программы представлено на рисунке 2.

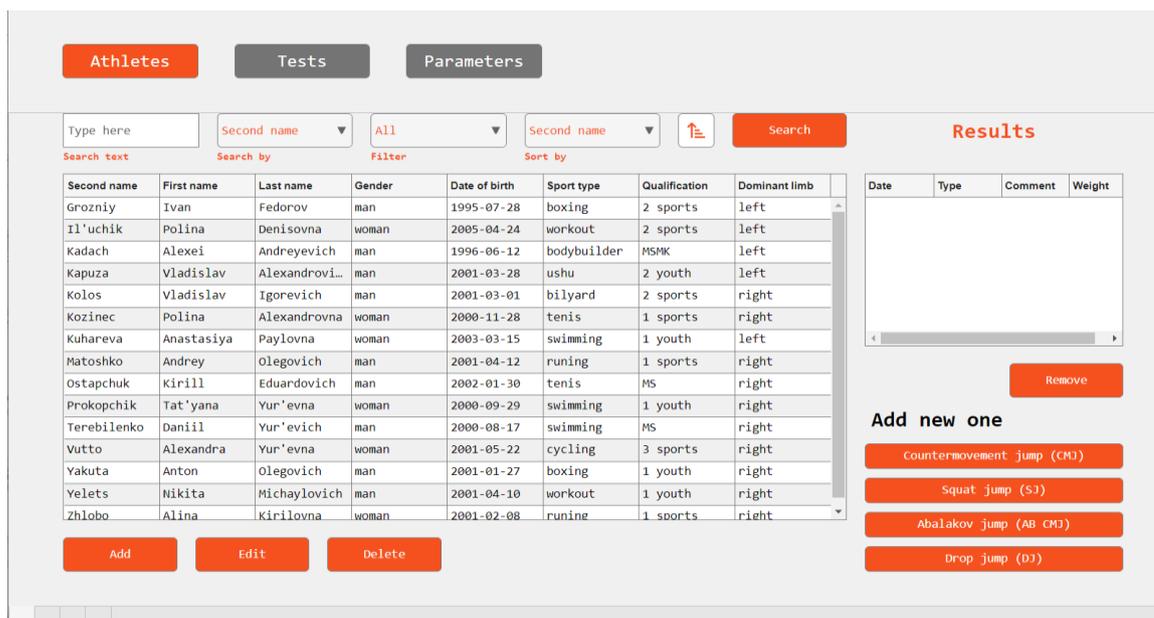


Рисунок 2 – Открытие главного окна программы *Tensotrack*

В результате тестирования все тесты были успешно пройдены (выполнены). Результаты показали, что разработанная система полностью удовлетворяет всем предъявленным требованиям и справляется как с положительными сценариями работы, так и с отрицательными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы разработаны алгоритмы анализа динамических характеристик движений спортсменов на основе кривой графика зависимости вертикальной силы от времени, полученной с динамометрической платформы.

Результаты работы применены при создании программного обеспечения для обработки динамометрических данных, анализа динамических характеристик, визуализации рассчитанных данных и последующего сохранения результатов в файл.

Разработанное программное обеспечение позволяет обрабатывать данные, предварительно записанные в CSV-файл тензометрической установкой.

Реализованные в программе алгоритмы обработки позволяют анализировать данные вертикальной силы, находить границы прыжков в общем массиве данных, строить по ним графики с возможностью дальнейшего редактирования.

Используемая совместно с программой СУБД MySQL позволяет хранить и редактировать данные спортсменов, в том числе результаты анализа прыжков, в собственной базе данных.

Дальнейшее развитие программы позволит добавить в нее функции отдельного анализа каждого прыжка с подробным выводом данных динамических характеристик движения. Также имеется возможность портирования программы на другие операционные системы, в том числе мобильные. Размещение базы данных на удаленном сервере даст возможность получать доступ к записям с нескольких устройств.

Разработанные в ходе научной работы подходы могут быть использованы для оценки мастерства спортсменов и в мониторинге результатов спортивной тренировки, в научной деятельности и медицине. Применяя разработанные алгоритмы, эффективность тренировки спортсменов увеличилась на 30%.

Работа выполнена самостоятельно, проверен в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 67,43%. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников».

В конце хотелось бы отметить, что все поставленные задачи были успешно реализованы и разработанные алгоритмы анализа динамических характеристик движений человека полностью соответствует современным требованиям.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Теребиленко, Д. Ю. Анализ динамических характеристик движений спортсменов на основе динамометрической платформы / Д. Ю. Теребиленко, Н. М. Елец // Электронные системы и технологии [Электронный ресурс] : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18-22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск, 2022. – С. 492–495. – Режим доступа : <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/46926>.

2-А. Елец, Н. М. Программное обеспечение для анализа и визуализации данных тензоплатформы / Н. М. Елец, Д. Ю. Теребиленко // Электронные системы и технологии [Электронный ресурс] : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18-22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск, 2022. – С. 392–395. – Режим доступа : <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/46926>.

3-А. Программное средство для анализа динамических характеристик движений спортсменов, полученных с использованием динамометрической платформы=Software tool for analysis of the dynamic characteristics of athletes' movements obtained using the dynamometric platform / Д. Ю. Теребиленко [и др.] // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 8-9 декабря 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. за вып.: М. В. Давыдов. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 87–89.

4-А. Исследование динамических характеристик движений спортсменов с использованием динамометрической платформы / Д. Ю. Теребиленко [и др.] // 60-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. Секция «Электронная техника и технология» (принята в печать).

5-А. Программное обеспечение для анализа и визуализации динамических характеристик движений спортсменов / Д. Ю. Теребиленко [и др.] // 60-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. Секция «Электронная техника и технология» (принята в печать).

6-А. Анализ динамических характеристик движений спортсменов с использованием динамометрической платформы = Analysis of the dynamic characteristics of athletes' movements using a dynamometric platform / М. В. Давыдов [и др.] // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-

практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 301–307.