

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

УДК 616.718-007.24-073.75

Зуев  
Егор Александрович

Алгоритм нейронной сети для анализа снимков плантографа

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра

по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

---

*(подпись магистранта)*

Научный руководитель

Чураков Андрей Владимирович

*(фамилия, имя, отчество)*

Кандидат медицинских наук, доцент

*(ученая степень, ученое звание)*

---

*(подпись научного руководителя)*

Минск 2025

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В данной диссертации представлены результаты исследований, направленных на совершенствование методов цифрового анализа плантограмм для диагностики плоскостопия. Работа основана на анализе существующих подходов к обработке и интерпретации изображений стопы, а также на разработке новых алгоритмов с использованием глубокого обучения, учитывающих особенности анатомической структуры стопы и патологии. Основной целью данного исследования является повышение точности и эффективности диагностики плоскостопия с применением современных цифровых технологий и методов искусственного интеллекта.

Для достижения этой цели в работе рассматриваются такие задачи, как автоматическое выявление изменений контуров стопы, классификация типов плоскостопия и визуализация результатов диагностики на основе анализа плантограмм. Главным условием является использование методов глубокого обучения нейронных сетей для автоматического анализа изображений стопы. Исследования в этой области направлены на разработку и адаптацию алгоритмов обучения, специально оптимизированных для работы с плантограммами.

Это включает создание нейронных архитектур, способных автоматически обнаруживать и классифицировать патологические изменения, а также формировать диагностические выводы на основе визуальных данных. Практическая значимость работы заключается в возможности повышения скорости и точности диагностики плоскостопия, что способствует более своевременному назначению ортопедического лечения. Разработанные алгоритмы могут стать эффективным инструментом для врачей-ортопедов, позволяя автоматизировать анализ большого объема данных и снижая влияние человеческого фактора в диагностическом процессе.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Научное и тематическое обоснование выбора диссертационной работы**

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (приказ от 03.10.2023 г.) и соответствует разделу 2 «Биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства» 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).

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка алгоритма нейронной сети для анализа плантографических изображений с целью автоматизации выявления нарушений свода стопы, вычисление параметров, дающих максимальную эффективность нейронной сети, разработка цифрового фильтра для выявления информационной части из изображения плантографа.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведён обзор современных методов обработки биомедицинских изображений и диагностики ортопедических патологий с применением нейросетевых подходов;
- подготовлен набор данных, включающий аннотированные плантограммы различных типов;
- реализована система кросс-валидации и автоматического подбора гиперпараметров модели;
- обучена и протестирована нейросетевая модель для классификации и анализа снимков;
- разработан программный прототип для визуализации и обработки плантографических данных.

### **Научная новизна и значимость полученных результатов**

Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что за счёт эффективного этапа предварительной обработки плантограмм, который удаляет примерно 80% неинформативных областей изображения (например, фон и нерелевантные детали), отпадает необходимость использования чрезмерно сложных глубоких нейронных сетей. Отбирая только около 20% ключевых данных изображения для каждой из анализируемых модальностей и соответствующих нормализованных снимков, происходит значительное

сокращение объёма пикселей, подлежащих анализу, что способствует улучшению точности и скорости сегментации патологических зон стопы.

### **Положения, выносимые на защиту**

Методика использования углубленного обучения в диагностике ортопедических патологий.

Программное средство в виде обученной нейронной сети.

### **Публикации результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 2 статьи в сборниках научных статей и материалов конференций.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трёх глав с краткими выводами по каждой из глав, заключения и списка использованной литературы.

# ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

## Диагностика плоскостопия при помощи плантографа

Плантограф — это специальное устройство для получения отпечатка стопы, позволяющее визуализировать распределение давления и конфигурацию подошвенной поверхности. Диагностика плоскостопия с помощью плантографа основывается на анализе этих отпечатков, которые отражают формы сводов стопы и степень их деформации. Благодаря плантографическим данным можно объективно определить наличие и степень плоскостопия, выявить зоны повышенной нагрузки и нарушения биомеханики стопы. Такой метод диагностики является неинвазивным, простым в использовании и позволяет получить количественную и качественную информацию для последующего выбора методов коррекции и лечения.

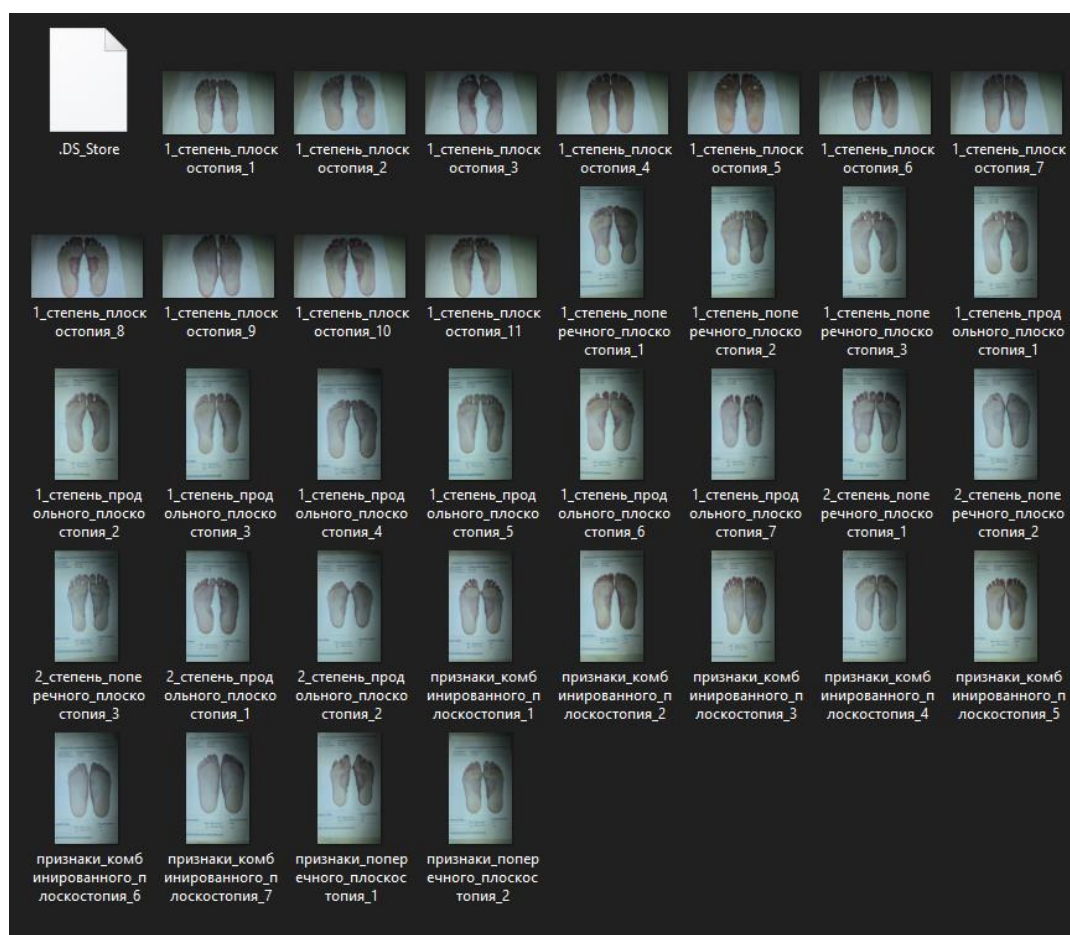
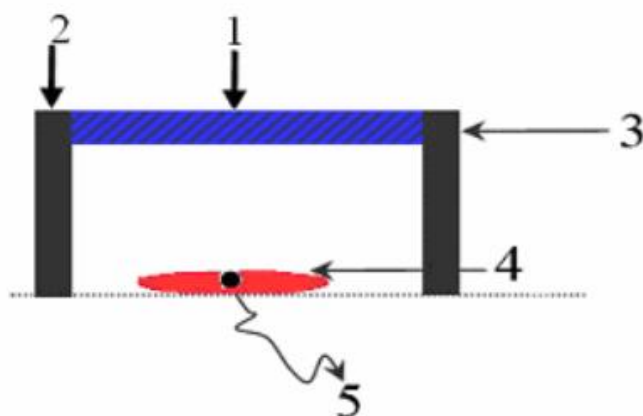


Рисунок 1 – Образцы снимков плантографа



1 – опорное стекло, 2 – опорная рама,  
3 – стеклянный плантограф, 4 – цифровой фотоаппарат, 5 – компьютер

**Рисунок 2 – Схема фотоплантографа**

## **Анализ снимков при помощи нейронной сети**

Современные методы анализа плантографических изображений активно используют технологии машинного обучения и нейронных сетей для повышения точности диагностики плоскостопия. Нейронные сети позволяют автоматически обрабатывать сложные изображения стопы, выделять ключевые признаки и классифицировать тип деформации без участия специалиста. Процесс анализа начинается с предварительной обработки снимков — нормализации, удаления шума и выделения контуров стопы. Затем подготовленные изображения подаются на вход сверточной нейронной сети (CNN), которая обучается распознавать особенности свода стопы, характерные для нормальной анатомии и различных степеней плоскостопия. Использование нейросетевых моделей значительно ускоряет процесс диагностики и снижает влияние субъективных факторов. Кроме того, современные алгоритмы способны сегментировать участки с патологическими изменениями, что улучшает визуализацию и количественную оценку деформаций. В результате анализ на основе нейронных сетей обеспечивает высокую точность и объективность диагностики плоскостопия, а также служит надежной основой для разработки индивидуальных лечебных и профилактических программ.



Рисунок 3 – Виды машинного обучения

## СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

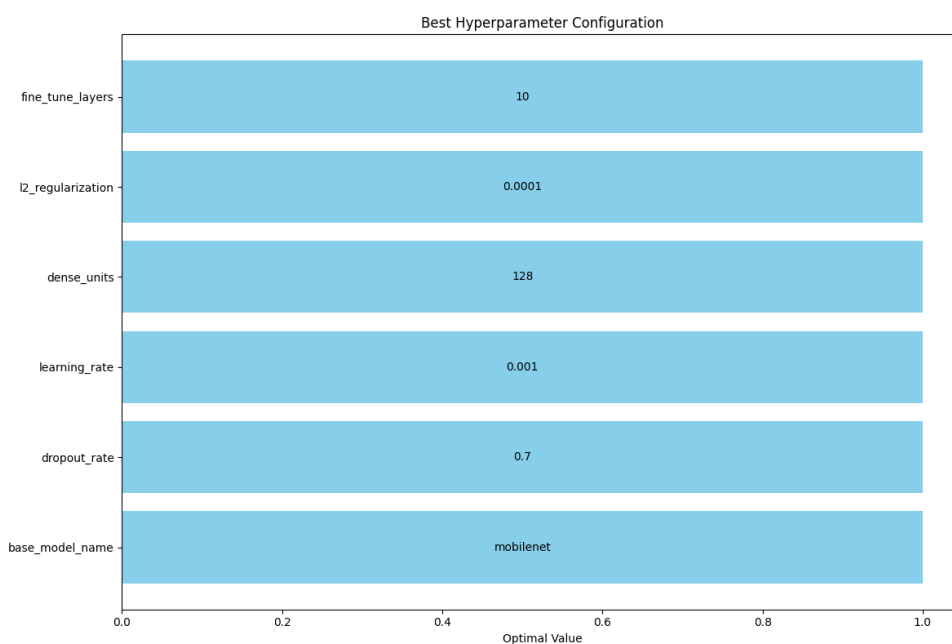
Создание нейронной сети для анализа изображений, полученных с помощью плантографа, представляет собой ключевой этап в разработке автоматизированной системы диагностики плоскостопия. Основная задача сети — распознавание и классификация особенностей отпечатков стопы, которые позволяют выявлять наличие и степень развития плоскостопия с высокой точностью.

В основе разработки лежит сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN), которая доказала свою эффективность в задачах компьютерного зрения, включая медицинскую диагностику и анализ биометрических данных. CNN способна автоматически извлекать релевантные признаки из изображений, что позволяет исключить необходимость ручного выделения признаков, сложного и трудоемкого процесса, особенно в области медицинских данных. Для создания модели была выбрана архитектура с несколькими сверточными слоями, за которыми следуют слои подвыборки (пулинга), нормализации и полносвязные слои. Такая структура обеспечивает глубокое изучение локальных и глобальных особенностей изображения, что критично для анализа отпечатков стопы, где важна как общая форма свода, так и мелкие детали распределения нагрузки.

Для обучения сети был собран набор данных, включающий несколько тысяч плантограмм — изображений отпечатков стоп пациентов с разным состоянием здоровья. Каждый снимок был аннотирован специалистами, которые определяли степень плоскостопия и классифицировали тип деформации. Данные были стандартизированы по размеру и разрешению, чтобы обеспечить единообразный формат входных данных. На этапе предобработки изображения проходили фильтрацию для удаления шумов и артефактов, возникающих при сканировании. Также применялась нормализация интенсивности пикселей, что способствовало более стабильному обучению нейросети. Для повышения качества модели

использовались методы аугментации данных — повороты, отражения, масштабирование — чтобы увеличить разнообразие обучающего набора и сделать модель более устойчивой к вариациям в данных.

Обучение сети проходило с использованием оптимизатора Adam, который обеспечивает адаптивную настройку параметров модели и ускоряет сходимость. В качестве функции потерь применялась кросс-энтропия для задачи классификации, что позволило эффективно минимизировать ошибку при распознавании типов плоскостопия. Модель обучалась на выделенной части данных (около 70% набора) с периодической проверкой качества на валидационном наборе (15%). Оставшиеся 15% данных были использованы для финального тестирования. Такой подход обеспечивает объективную оценку обобщающей способности нейросети и предотвращает переобучение. Во время обучения применялась регуляризация в виде Dropout-слоев, что помогало избежать переобучения, особенно учитывая ограниченный объем медицинских данных. Также использовалась техника ранней остановки (early stopping), которая прекращала обучение при отсутствии улучшения метрик на валидационном наборе, что экономило время и ресурсы.

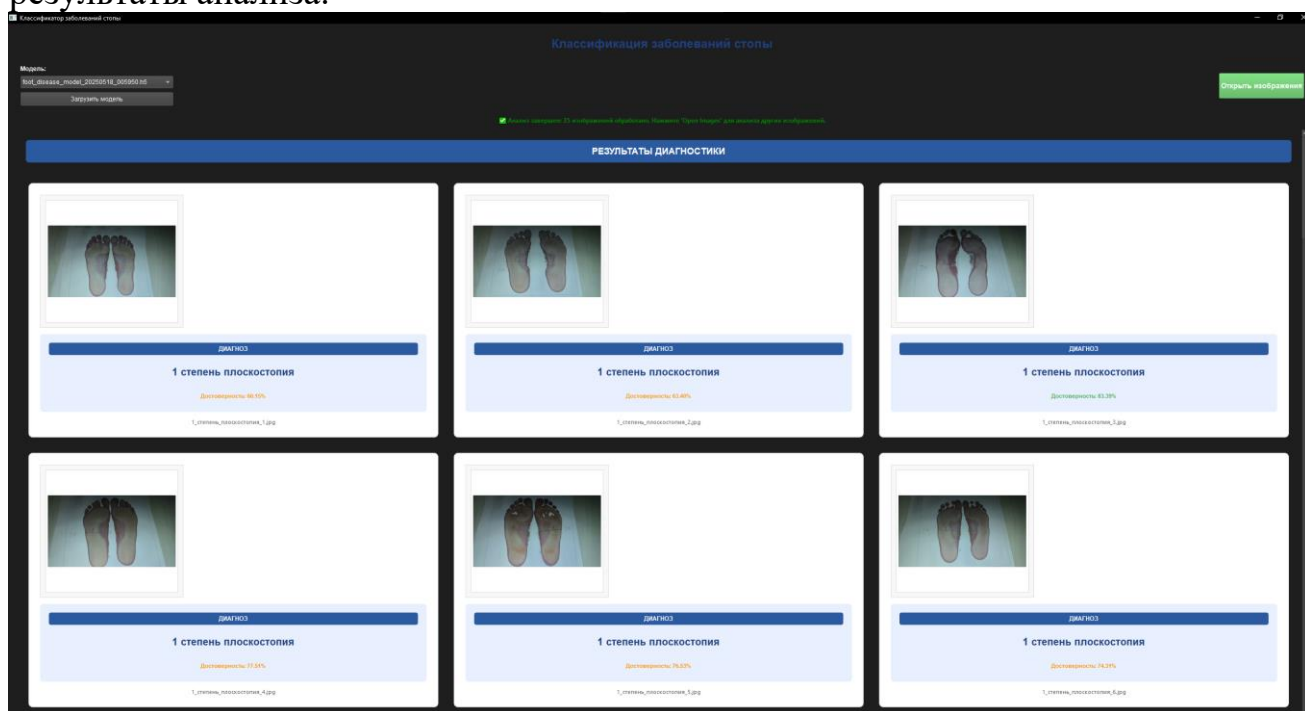


**Рисунок 4 – Лучшая конфигурация параметров для обучения нейронной сети**

Для оценки качества работы модели применялись метрики точности (accuracy), полноты (recall), точности (precision) и F1-меры. Результаты показали высокую степень распознавания плоскостопия и его классификации, что подтверждает адекватность выбранной архитектуры и алгоритмов предобработки данных. Интеграция модели в программное средство. Полученная модель была интегрирована в программное средство, которое



позволяет в интерактивном режиме загружать изображения плантограмм, выполнять их автоматический анализ и выдавать диагностический вывод. Программное средство обеспечивает удобный пользовательский интерфейс для врачей, позволяя быстро и без дополнительной подготовки получать результаты анализа.



**Рисунок 5 – Интерфейс взаимодействия с моделью**

Создание нейронной сети для диагностики плоскостопия по данным плантографа продемонстрировало перспективность использования глубокого обучения в ортопедии. Автоматизация анализа изображений значительно сокращает время диагностики и повышает её точность, что открывает возможности для внедрения таких технологий в клиническую практику.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе проведенных исследований и написания данной работы было показано, что применение методов глубокого обучения для анализа снимков плантографа является эффективным и перспективным направлением, способствующим повышению точности диагностики плоскостопия и сопутствующих патологий стопы. Представлены результаты, направленные на автоматизацию обработки плантографических изображений, что значительно ускоряет и упрощает процесс диагностики.

В работе достигнута автоматизация этапов предобработки изображений, выделения ключевых признаков и классификации различных форм и степеней плоскостопия с использованием специально разработанного алгоритма

нейронной сети. В процессе достижения поставленной цели были решены следующие задачи: обзор и анализ существующих методов компьютерного зрения в диагностике заболеваний стопы, сбор и структурирование теоретической информации по плантографии, выбор и изучение необходимых библиотек и инструментов для разработки алгоритма, создание и обучение нейронной сети, проведение экспериментальных исследований и тестов на собранных данных. Полученные результаты демонстрируют высокую точность классификации и устойчивость модели к вариативности входных данных, что позволяет рекомендовать предложенный алгоритм для практического применения в медицинской диагностике. Также были рассмотрены вопросы подготовки данных, методы аугментации изображений и оценка качества работы нейросети с использованием метрик классификации. Поставленная цель достигнута, все задачи выполнены в полном объеме, что подтверждает эффективность и перспективность разработанного алгоритма для анализа плантографических снимков.

## **Список публикаций соискателя**

[1] МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ  
С.А. САЛАХЛЫ, А.Н. ОСИПОВ, В.С. ГАВРИЛЕНКО, Е.А. ЗУЕВ (XIV  
Международная научно-техническая конференция «МЕДЭЛЕКТРОНИКА -  
2024» СРЕДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И НОВЫЕ  
МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»),стр 222-225.

[2] АЛГОРИТМ ПОИСКА ОТПЕЧАТКА СТОПЫ НА  
ПЛАНТОГРАММЕ  
Е.А. ЗУЕВ, А.В. ЧУРАКОВ, С.А. САЛАХЛЫ, Т.С. СМОЛЬСКАЯ, Э.В.  
ДРУЦ, В.С. ГАВРИЛЕНКО(XIV Международная научно-техническая  
конференция «МЕДЭЛЕКТРОНИКА - 2024» СРЕДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ И НОВЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»),стр234-236.