

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ**

**Аннотация.** В статье представлено описание электрокардиограмм и искусственных нейронных сетей. В публикации рассматривается возможность применения нейросетей для анализа ЭКГ в медицине с целью выявления диагноза. Описывается опыт в реализации средств по распознаванию различных сигналов, а также приведен пример собственного возможного решения такой задачи.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, искусственная нейронная сеть, анализ, медицина, распознавание.

Сердечно-сосудистые заболевания являются довольно распространенными в наше время. Актуальной задачей является своевременная диагностика такого недуга. Однако стандартные способы анализа электрокардиограмм (ЭКГ) имеют ряд недостатков. Они занимают много времени и не всегда являются точными. Серьезные заболевания часто могут отражаться лишь в маленьком изменении амплитуды и форме пиков, вероятность заметить которые невооруженным глазом крайне мала. Никто также не защищен от человеческого фактора, такого, как, например, ошибка уставшего врача. Автоматизация этого процесса помогла бы избежать этого. Она способна существенно уменьшить время анализа ЭКГ и увеличить вероятность правильной постановки диагноза. В связи с сильным развитием технологий и вычислительных мощностей компьютеров становится возможным создать искусственную нейронную сеть (ИНС), распознающую ЭКГ. Поскольку ИНС в основном представляет собой метод сопоставления шаблонов, основанный на нелинейном отображении ввода-вывода, ее можно эффективно использовать для обнаружения морфологических изменений в различных сигналах, таких как сигнал ЭКГ.

**Цель работы** – разработка программы для анализа электрокардиограмм с применением нейронной сети.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- изучение ЭКГ;
- изучение нейросетей;
- сбор ЭКГ из специализированных баз данных;
- создание программы с применением нейронной сети.

**Научная и практическая ценность работы** определяются возможностью использования данной программы в специализированных учреждениях для автоматизации анализа ЭКГ, что позволит сократить время, затрачиваемое на обработку сигнала, и уменьшить вероятность ошибки.

## ЭКГ

Электрокардиография (ЭКГ) – самый распространенный метод регистрации, исследования активности человеческого сердца. С его помощью можно диагностировать различные сердечно-сосудистые заболевания. Результатом является графическое представление разности потенциалов, которое возникает во время работы сердца. Если какой-то участок сердечной мышцы испытывает кислородное голодание, то электрическая активность такого участка меняется. Состояние сокращения и расслабления мышц постоянно меняется. При этом возбуждение клеток миокарда сменяется их восстановлением [1].

Человеческое сердце состоит из правой и левой половин, в которых выделяют верхний и нижний отделы. Поскольку они имеют разные размеры, толщину и разделены перегородками, возбуждающий импульс с разной скоростью проходит по ним. Поэтому на ЭКГ записываются разные зубцы, соответствующие определенному отделу сердца.

Зубцы в ЭКГ обозначаются с помощью латинских букв: P, Q, R, S, T, U, где каждая из них отражает состояние различных отделов (рис. 1):

- P – деполяризация предсердий;
- комплекс зубцов QRS – деполяризация желудочков;
- T – реполяризация желудочков;
- U может указывать на реполяризацию дистальных участков проводящей системы желудочков [2].

Рассчитывая отклонения каждого из них от нормы, можно установить диагноз.

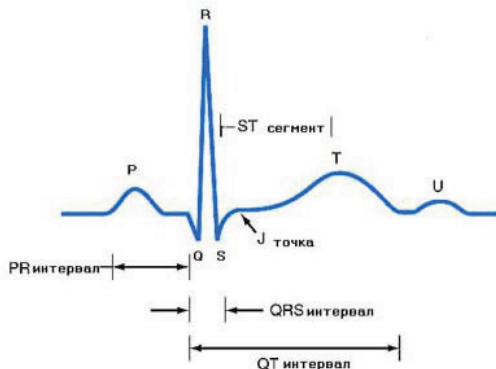


Рис. 1. Сердечный ритм.

### Искусственная нейронная сеть

Нейронные сети - это эмпирические математические модели, эмулирующие процессы, которые люди используют, чтобы распознавать шаблоны, изучать задачи и решать различные проблемы. Сеть состоит из отдельных искусственных нейронов, каждый из которых имеет передаточную функцию. Она из всех входных значений генерирует одно выходное. Каждое соединение имеет вес, который применяется к значению, связанному с соединением [3].

Сила нейронных сетей исходит из их способности учиться на опыте (т. е. из эмпирических данных, собранных в некоторой проблемной области). Нейронная сеть изучает, как идентифицировать шаблоны, корректируя их веса в ответ на ввод данных [4]. Обучение, которое происходит в нейронной сети, может контролироваться или не контролироваться. При контролируемом обучении каждый обучающий образец имеет ассоциированное известное выходное значение. Разница между известным выходным значением и выходным значением нейронной сети используется во время обучения для настройки весов соединения в сети. При неконтролируемом обучении нейронная сеть идентифицирует кластеры во входных данных, которые «близки» друг к другу на основе некоторого математического определения расстояния.

У каждого нейрона есть какие-то входы, через которые он принимает сигнал. Поступившие на входы сигналы умножаются на свои веса. Сигнал первого входа  $x_1$  умножается на соответствующий ему вес  $w_1$ ,  $x_2$  умножается на  $w_2$ , и так далее до  $n$ -ого входа [5]. Затем все произведения передаются в сумматор, который суммирует входные сигналы, умноженные на соответствующие веса (рис. 2):

$$x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

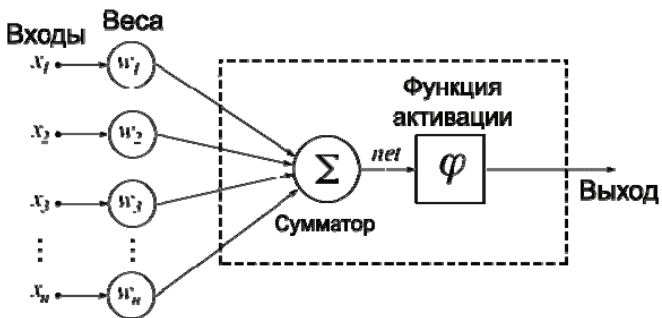


Рис. 2. Модель искусственной нейронной сети.

Обучение нейронной сети - это процесс корректировки своих весов по нескольким итерациям через некоторый (эмпирически собранный) набор данных. В конце каждой итерации после прохода через этот набор нейронная сеть образует определенную структуру (значения для весов, количество весовых соединений и т.д.) И, следовательно, она может вычислять вывод, который можно сравнить с целевым выходом в процессе обучения набор данных [6]. Разница между выходом сети и целевым выходом - ошибка. Во время обучения цель заключается в минимизации этой ошибки.

Виды ИНС [7].

- Однослойные. Сигналы с входного слоя сразу передаются на выходной (рис. 3).

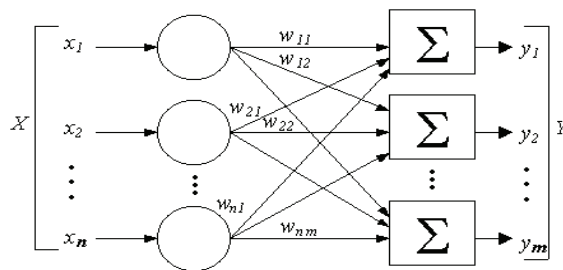


Рис. 3. Однослойная нейронная сеть.

- Многослойные. Имеют скрытые слои (от 1 до n), которые располагаются между входным и выходным слоями (рис. 4).

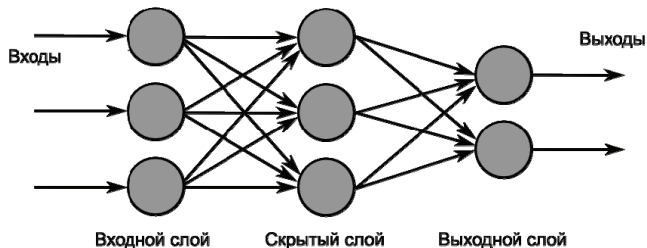


Рис. 4. Многослойная нейронная сеть.

- Сети прямого распространения. Сигнал идет от входного слоя к выходному, как, например, на рисунке 4.
- Сети с обратными связями. Сигнал может идти в обратную сторону (рис. 5).

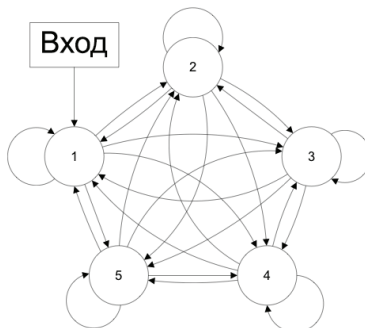


Рис. 5. Сеть с обратными связями.

Основные сферы применения ИНС:

- анализ кредитных заявок и транзакций с использованием кредитных карт;
- анализ страховых и гарантийных требований;
- анализ медицинских исследований и результатов лечения;
- управление рассылочными списками и целенаправленный маркетинг;
- моделирование процессов и управление ими;
- управление производственными линиями, контроль качества и диагностика оборудования;
- распознавание различных образов;
- поиск по ассоциациям;
- поиска закономерностей в массивах данных. [8]

На данный момент в мире уже существует опыт в обработке ЭКГ с помощью нейросетей. Так, например, Д.С. Григорьев и В.Г. Спицын в 2012 году использовали программу, в которой применили нейронную сеть и дискретное вейвлет-преобразование для анализа и классификации

электрокардиограмм [9]. В ней они использовали несколько алгоритмов обучения и получили статистику, представленную в следующей таблице:

Алгоритм обучения	Размер обучающей выборки	Время обучения, мин.	Время тестирования, мин.	Процент распознавания
Левенберга-Марквардта	173	20:17	05:13	89
Сопряженных градиентов	173	29:43	03:45	69
Обратного распространения	173	38:21	04:12	76

За рубежом, например, учёными Стэнфордского университета была создана ИНС, способная распознать нарушения сердечного ритма. Для этого они использовали данные ЭКГ почти 30 000 пациентов — эта выборка в 500 раз больше, чем в самых крупных исследованиях, известных на данный момент. Они решили создать алгоритм, способный анализировать ЭКГ-сигналы и распознавать 12 типов нарушений ритма. Нейронная сеть состояла из 34 слоев. Спустя 7 месяцев обучения она смогла анализировать ЭКГ и распознавать аритмию.

В моем случае, чтобы собрать данные для тестирования и тренировки ИНС, был использован сервис PhysioNet. Это веб-ресурс с большим набором зарегистрированных физиологических сигналов, в том числе и ЭКГ.

Был написан скрипт на языке python скачивающий с данного сайта все доступные ЭКГ пациентов. С каждой записью связано несколько основных файлов с различными расширениями:

- .dat содержит оцифрованные ЭКГ;

- .hea представляет собой аннотацию к самому сигналу, где написан диагноз и некоторые другие параметры.

Затем скрипт использовал разработанное этим же ресурсом приложения WFDB, с помощью которого можно просматривать и анализировать ЭКГ. Он собирал в список все скачанные сигналы, убирал из каждого лишнюю информацию, хранящуюся в бинарном файле .dat, преобразовывал его в массив значений и сопоставлял с диагнозом, выделенным из соответствующего файла .hea.

Далее было разработано приложение на языке python с использованием нейронной сети со следующей структурой (рис. 6):

- количество слоев: 3;
- количество нейронов в первом (входном) слое: максимальный размер массива из списка загруженных в программу ЭКГ;
- количество нейронов во втором (скрытом) слое: половина от максимального размера массива из списка загруженных в программу ЭКГ;
- количество нейронов в третьем (выходном) слое: 8 (один из диагнозов);
- количество проходов ИНС: 1000;
- активационная функция: сигмоидальная;
- метод обучения: метод обратного распространения через градиентный спуск.

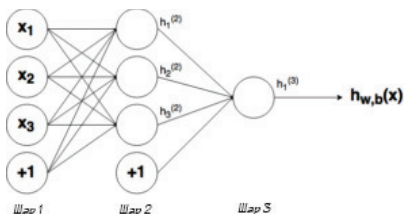


Рис. 6. Схема разработанной нейронной сети.



Для начала было выбрано 300 ЭКГ, чтобы проверить работу программы. Объем обучающей выборки составил 180 сигналов, контрольной – 120.

На этапе тренировки ИНС возникла проблема нехватки вычислительной мощности для проведения вычислений весов между слоями нейронной сети. В следствии чего была предпринята попытка протестировать программу на урезанных данных ЭКГ. В этом случае тренировка ИНС проходила успешно, данные всех весов сохранялись и записывались в файл. Затем, загружая на вход ЭКГ из тестовой выборки, программа считывала данные из файла, заполняла веса нейронной сети, прогоняла через неё сигнал и выдавала результат диагноза. Однако в связи с тем, что ЭКГ была заметно усечена, количество данных, получаемых из неё было недостаточно для определения точного диагноза.

Таким образом, для дальнейшего усовершенствования программы были поставлены следующие задачи:

- изучение способов упрощения ЭКГ для уменьшения объема данных, необходимого для корректной работы программы;
- сбор большего количества ЭКГ для тренировки ИНС;
- тестирование других структур ИНС;
- экспериментирование с количеством проходов ИНС;
- изучение других алгоритмов тренировки ИНС;
- увеличение количества нейронов выходного слоя для определения большего количества показаний, полученных из ЭКГ.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.П. Баранов, А.В. Струтынский - Основы ЭКГ для клинициста. Кафедра пропедевтики болезней Лечебного факультета РГМУ. Журнал «Лечебное дело», 2004 – 8с.
2. Хэмптон Дж. Р. - Основы ЭКГ: пер. с англ. – М.: Мед.лит., 2006 – 224 с.

3. Искусственные нейронные сети. ред. Ж. И. Коробка. – Краматорськ: ДГМА, 2014. – 25 с.
4. Sahar H. El-Khafif, Mohamed A. El-Brawany – Artificial Neural Network-Based Automated ECG Signal Classifier, 2013 – 6с.
5. Петр Радько - Основы ИНС  
<https://neuralnet.info/chapter/основы-инс/>
6. Rosaria Silipo and Carlo Marchesi - Artificial Neural Network for Automatic ECG Analysis, 1998 – 9с.
7. И.В. Воронов, Е.А. Политов, В.М. Ефременко - Обзор типов искусственных нейронных сетей и методов их обучения. Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2007. – 5с.
8. С.Н. Богославский - Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития. Научный журнал КубГАУ, №27(3), 2007. – 11 с.
9. Д.С. Григорьев, В.Г. Спицын - Применение нейронной сети и дискретного вейвлет-преобразования для анализа и классификации электрокардиограмм. Томский политехнический университет, 2012. – 5 с.