

систему различного рода спутниковых технологий может значительно не только улучшить состояние здоровья людей, но и способствовать сохранению и среды обитания в целом.

Мы с уверенностью констатируем, что экологизация бизнеса, в том числе связанного с использованием автотранспортных средств, теперь должна стать основным приоритетом экономической модернизации и научно-технологического обновления всех отраслей экономики. Считаем, что нашей стране требуется очень широкий комплекс различных мер, включающий в себя становление экологически-грамотного сознания, углубление принципиально новых эколого-демократических начал непосредственно в управлении, изобретение и внедрение в нашу хозяйственно-бытовую деятельность современных типов экологической как техники, так и технологии, и многое-многое другое.

#### **Список использованных источников**

1. Негативное влияние транспорта на окружающую среду // Vtorothodi.ru: сайт о переработке и утилизации отходов. URL: <http://vtorothodi.ru/ecology/vliyanie-transporta-na-okruzhayushhuyu-sredu> (дата обращения: 14.10.2020).

2. Сенина Ю.П., Ветошкин А.Г. Снижение негативного влияния автотранспорта на экологическое состояние окружающей среды // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-negativnogo-vliyaniya-avtotransporta-na-ekologicheskoe-sostoyanie-okruzhayuschey-sredu> (дата обращения: 14.10.2020).

3. Компанец А. Как GPS навигаторы помогают уменьшить вредные выбросы? // FacePla.net. URL: <http://www.facepla.net/index.php/content-info/182-gps-reduces-car-emission> (дата обращения: 14.11.2020).

4. Число автомобилей в России превысило 56 млн. / РИА Новости. URL: <https://ria.ru/society/20160220/1377940767.html> (дата обращения: 14.10.2020).

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Авторы: Кузнецов Алексей Евгеньевич, Коньков Владислав Владимирович, студенты 4 курса кафедры «Информатика и вычислительная техника» Государственного университета «Дубна» (филиал Протвино).**

**Научный руководитель: Соколов Анатолий Александрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры Информационных технологий Государственного университета «Дубна» (филиал Протвино).**

#### **Аннотация**

В данной статье рассмотрена совокупность задач по импорту данных о медицинских показателях пациентов и последующей их обработки с помощью аппарата нейронных сетей. Нейросетевой подход позволяет прогнозировать возможность сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистые заболевания, медицинская диагностика, нейронная сеть, искусственный интеллект, прогнозирование, машинное обучение, обучающая выборка, контрольная выборка.

**Authors:** Kuznetsov Alexey Evgenievich, Konkov Vladislav Vladimirovich, 4th year students of the Department of Informatics and Computer Engineering, State University Dubna (Protvino branch).

**Scientific adviser:** Sokolov Anatoly Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Information Technologies of the State University "Dubna" (branch of Protvino).

#### **Annotation**

This article discusses a set of problems for importing data on medical indicators of patients and their subsequent processing using the apparatus of neural networks. The neural network approach makes it possible to predict the possibility of cardiovascular disease in patients.

**Key words:** cardiovascular diseases, medical diagnostics, neural network, artificial intelligence, forecasting, machine learning, training sample, control sample.

Большинство жизненно важных процессов в организме человека так или иначе связаны с работой сердечно-сосудистой системы. Из-за болезней сердца ежегодно умирает огромное количество людей. Для диагностики сердечных заболеваний необходимо использовать большое количество медицинских показателей пациента. Использование накопленных данных от огромного числа людей позволяет производить более детальный анализ протекания болезней сердца. Для проведения подобных исследований требуется найти инструмент для хранения, преобразования, обработки больших объемов информации, поиска скрытых зависимостей и совпадений в наборах данных. Необходимым инструментом для этого является использование возможностей искусственного интеллекта – нейронных сетей глубокого обучения.

Симптомы некоторых болезней, таких как сахарный диабет, гастрит, бронхиальная астма и даже язва практически совпадают с симптомами болезней сердца – стенокардией, аритмией. Из-за этого болезни сердца иногда трудно предугадать и классифицировать. Применение аппарата нейронных сетей и машинного обучения с использованием большого объема данных позволяет более точно прогнозировать сердечно-сосудистые заболевания. Научная значимость данной работы заключается в проверке эффективности применения аппарата нейронных сетей для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

**Объектом** данной работы являются болезни сердца, такие как ишемические болезни, заболевания кровеносных сосудов, аритмия и врожденные пороки сердца.

**Предметом** исследования данной работы является наиболее часто используемый для машинного обучения набор данных Cleveland Heart Disease из репозитория UCI с медицинскими показателями, в котором содержатся различные характеристики людей и информация о наличии у них заболевания.

**Цель исследования** – проанализировать выборку с медицинскими показателями пациентов с помощью искусственной нейронной сети, чтобы спрогнозировать у тестируемых сердечно-сосудистые заболевания.

#### **Задачи:**

15. Изучить исходный набор данных с медицинскими показателями с последующим формированием обучающей выборки для обучения нейронной сети.
16. Осуществить нормализацию данных перед отправкой в нейронную сеть.
17. Осуществить обучение нейронной сети на основе выборки.
18. Проверить адекватность обучения с корректировкой параметров нейронной сети.
19. Осуществить проверку адекватности обучения на основе контрольной выборки, которая не участвовала в обучении.

Исходя из поставленных задач, наиболее подходящим языком для нейронной сети был выбран язык MATLAB для программы MathWorks MATLAB R2018b, так как в ее состав входит целый комплекс инструментов для использования сетей глубокого обучения, а также визуализации результата.

Для создания выборки был выбран набор данных Cleveland Heart Disease из свободного репозитория UC Irvine в составе которого более 600 наборов данных для машинного обучения.[5] Он представляет собой csv-файл с численными эквивалентами

представленных ниже медицинских параметров, а также информацию о наличии заболевания.

Из набора данных использовалось 13 параметров:

1. Возраст в годах;
2. Пол;
3. Тип боли в груди;
4. Артериальное давление в покое (в мм рт. ст. при поступлении в больницу);
5. Содержание холестерина
6. Уровень сахара в крови натощак
7. Результаты электрокардиографии в покое;
8. Максимальная частота сердечных сокращений;
9. Стенокардия, вызванная физической нагрузкой;
10. Депрессия ST, вызванная физической нагрузкой;
11. Наклон сегмента ST при пиковых нагрузках;
12. Количество крупных сосудов;
13. Талассемия

Данные параметры позволяют спрогнозировать наличие болезни сердца у пациента. В базе данных, используемой для обучения нейронной сети, использовались данные 200 пациентов и параметр, отвечающий за состояние человека (1 – болен, 0 – не болен).[6]

Нормализация входных данных осуществляется методом «*tarminmax*». [2]

Строкой матрицы являются 13 входных параметров.

Метод обрабатывает матрицы, нормализуя минимальное и максимальное значения каждой строки в диапазоне [1;10] согласно формуле 1.

$$X' = a + \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}(b - a). \quad (1)$$

Поскольку проблема обучения имеет последовательный характер, то типом данной нейронной сети является глубокая сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM), в которой LSTM-модули группируются в блоки, содержащие LSTM-модули, что характерно для глубоких многослойных нейронных сетей.[3] Это позволяет запоминать значения как на длинные, так и на короткие промежутки времени.

В итоговой конфигурации была использована сеть LSTM с 2-мя полносвязными слоями скрытого блока. Первый слой содержит 14 нейронов, а второй - 7 нейронов. Входной вектор содержит 13 компонентов. Выходной слой содержит 1 нейрон.

Для нейронов сети используется функция активации softmax[4], также известная как нормированный экспоненциал – обобщение мультикласса логистической сигмоидальной функции, которая представлена формулой 2:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = f(S) \quad (2)$$

Функция активации нейрона выходного слоя преобразует вектор  $x$  размерности  $k$  в вектор softmax той же размерности, где каждая координата полученного вектора представлена вещественным числом в интервале [0,1] и сумма координат равна 1. Функция softmax представлена на формуле 3:

$$softmax(x)_i = \frac{e^{x_i}}{\sum_{k=1}^k e^{x_k}} \quad (3)$$

Корректировка параметров обучения осуществляется функцией «*trainingOptions*», которая позволяет задать длину последовательности, максимальное количество эпох и порог градиента. [1]

Точность классификации предсказаний вычислялась по формуле 4:

$$acc = \text{sum}(YPred == YTest) ./ \text{numel}(YTest) \quad (4)$$

Где  $Y_{Pred}$  – предугаданные значения результата,  $Y_{Test}$  – значения результата из обучающей выборки,  $sum$  – функция суммирования,  $numel$  – функция, возвращающая количество элементов обучающей выборки.  $Y_{Pred}$  и  $Y_{Test}$  целочисленные вектора, имеющие последовательность одинаковой длины со значениями 0 и 1.

Для минимизации общей ошибки LSTM был использован стохастический градиент спуск с импульсом такой, как метод обратного распространения ошибки, развернутый во времени, что позволяет изменять значения весов пропорционально его производной в зависимости от величины ошибки.

Отсутствие болезней сердца предлагается интерпретировать выходом, равным нулю, а наличие – выходом, равным единице.

При запуске программы веса нейронов могут быть установлены двумя способами - случайно или считывались значения конфигурации настроенной сети. В процессе обучения веса принимают свои оптимальные значения. Данные для обучения считываются из базы данных автоматически.

Был взят во внимание тот факт, что нейронная сеть не всегда «понимает», что от нее требуется, а ищет то, что проще всего обобщить. В связи с этим была произведена проверка адекватности обучения на основе тестовой выборки, которая не участвовала в обучении. В этой выборке содержится 100 векторов.

Результаты нашего исследования показали, что в ходе работы с большим объемом медицинских данных с использованием нейронной сети долгой краткосрочной памяти (LSTM), цель исследования была достигнута. Обучение сети с использованием обучающей выборки продемонстрировало точность обучения 94%, что подтверждает выбор LSTM как эффективного типа нейронных сетей.

На Рисунке 1 проиллюстрирован график зависимости точности прогнозирования от количества эпох обучения. Синим цветом выделена точность для обучающей выборки, красными точками – точность для тестовой выборки.

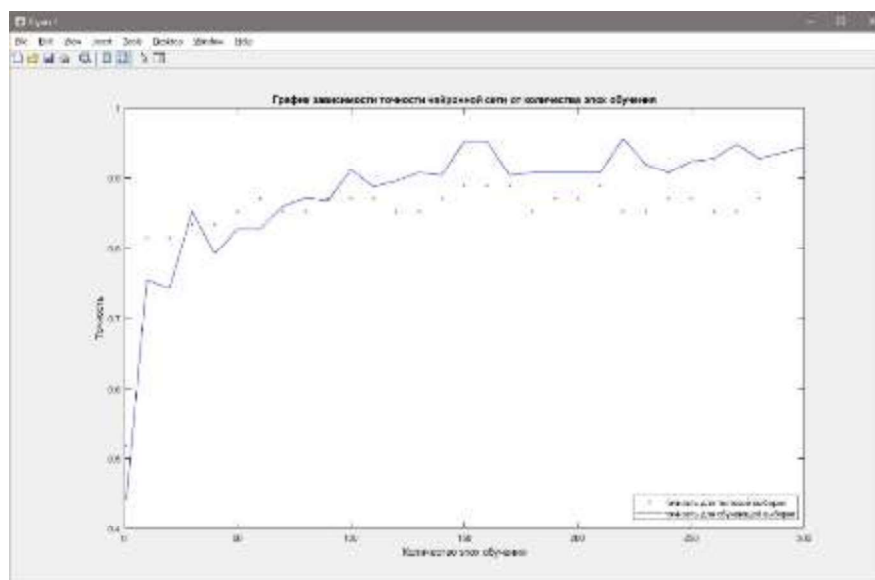


Рисунок 1 - «График зависимости точности нейронной сети от количества эпох обучения»

Таким образом, после проверки адекватности работы программы с использованием тестовой выборки, основанной на данных 100 пациентов, максимальная точность составила 91%. Это показывает, что возможно прогнозирование сердечно-сосудистых заболеваний с использованием аппарата нейронных сетей с высокой эффективностью прогнозирования.

Данное исследование показывает, что подобный подход к прогнозированию данных может оказаться востребованным, поскольку обученная нейронная сеть способна помочь медицинским работникам в процессах лечения сердечно-сосудистых заболеваний,

прогнозируя наличие заболевания в сотни раз быстрее человека, что может оказаться решающим фактором в спасении жизни.

#### Список использованных источников

1. Documentation of Matlab – Deep Learning Training Options – URL: <https://docs.exponenta.ru/deeplearning/ref/trainingoptions.html> (дата обращения: 20.10. 2020).
2. Documentation of Matlab – Matrix Normalization with MapMinMax – URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/mapminmax.html.html> (дата обращения: 20.10. 2020).
3. Documentation of Matlab – Sequence Classification Using Deep Learning – URL: <https://docs.exponenta.ru/deeplearning/ug/classify-sequence-data-using-lstm-networks.html> (дата обращения: 20.10. 2020).
4. Documentation of Matlab – Softmax layer – URL: <https://docs.exponenta.ru/deeplearning/ref/nnet.cnn.layer.softmaxlayer.html> (дата обращения: 20.10. 2020).
5. Heart Disease Prediction. Cleveland Heart Disease(UCI Repository) dataset — classification with various models. — URL: <https://towardsdatascience.com/heart-disease-prediction-73468d630cfc> (дата обращения: 20.10. 2020).
6. Heart Disease UCI Dataset Download – URL: <https://www.kaggle.com/ronitf/heart-disease-uci> (дата обращения: 20.10. 2020).

## ПОЛЕТ ГИПЕРЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ГРАФУ ЦЕЛЕЙ

**Автор: Вартанов Юрий Андреевич, Горбач Алексей Игоревич, курсанты филиала военной академии РВСН имени Петра Великого г. Серпухова Московской области**

**Научный руководитель: к.т.н. Руденко Эдуард Михайлович, доцент кафедры математики филиала военной академии РВСН имени Петра Великого г. Серпухова Московской области**

#### Аннотация.

Рассматривается моделирование пространственного полета гиперзвукового летательного аппарата с двигателем на постоянной высоте по графу целей на основе численного решения системы дифференциальных уравнений. Обосновывается применение генетического алгоритма для расчета маршрутов и управление по крену при облете графа целей.

#### Annotation.

The modeling of space flight of a hypersonic aircraft with an engine at a constant altitude along a graph of targets is considered based on the numerical solution of a system of differential equations. The use of a genetic algorithm for calculating routes and roll control when flying over a graph of targets is substantiated.

**Ключевые слова:** гиперзвуковой летательный аппарат, ядерный двигатель, граф целей.

**Keywords:** hypersonic aircraft, nuclear engine, count of targets.

Гиперзвуковые летательные аппараты (ГЛА), оснащенные ядерной энергетической установкой на основе гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД), обладают практически неограниченной способностью совершать длительный полет в атмосфере [1, 14]. При этом возникают новые стратегические задачи по обслуживанию нескольких целей в ходе одиночного или группового полета.