

Научная статья

УДК 004.891.3

DOI 10.25205/1818-7900-2025-23-3-57-66

Использование онлайн-платформы Teachable Machine для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний

**Дмитрий Михайлович Попов, Елена Владимировна Просвиркина
Алексей Юрьевич Сахарчук, Сергей Дмитриевич Руднев**

Кемеровский государственный медицинский университет
Кемерово, Россия

pdm2005@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4636-5166>
prosvirkina.ev@kemsma.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3548-0247>
alex90s03kemerovo@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2788-0748>
sdrudnev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Аннотация

Представляется возможность повышения качества диагностики сердечно-сосудистых заболеваний за счет использования машинного обучения. В статье рассмотрено цифровое оборудование для получения аудиограмм. Описан набор данных для машинного обучения модели классификации сердечно-сосудистых заболеваний. Один из разделов посвящен разработке веб-приложения для удаленной диагностики с использованием полученной модели.

Ключевые слова

диагностика, сердечно-сосудистые заболевания, цифровой стетоскоп, трансферное обучение, спектрограмма

Для цитирования

Попов Д. М., Просвиркина Е. В., Сахарчук А. Ю., Руднев С. Д. Использование онлайн-платформы Teachable Machine для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2025. Т. 23, № 3. С. 57–66. DOI 10.25205/1818-7900-2025-23-3-57-66

Using the Teachable Machine Online Platform to Diagnose Cardiovascular Diseases

**Dmitry M. Popov, Elena V. Prosvirkina Alexey Y. Sakharchuk
Sergey D. Rudnev**

Kemerovo State Medical University,
Kemerovo, Russian Federation

pdm2005@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4636-5166>
prosvirkina.ev@kemsma.ru; <https://orcid.org/0009-0009-3548-0247>
alex90s03kemerovo@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-2788-0748>
sdrudnev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Abstract

The possibility of improving the quality of cardiovascular disease diagnostics by using machine learning is presented. The article discusses digital equipment for obtaining audiograms. A data set for machine learning of a cardiovascular

© Попов Д. М., Просвиркина Е. В., Сахарчук А. Ю., Руднев С. Д., 2025

disease classification model is described. One of the sections is devoted to the development of a web application for remote diagnostics using the obtained model.

Keywords

Diagnostics, cardiovascular diseases, digital stethoscope, transfer learning, spectrogram

For citation

Popov D. M., Prosvirkina E. V., Sakharchuk A. Y., Rudnev S. D. Using the Teachable Machine Online Platform to Diagnose Cardiovascular Diseases. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2025, vol. 23, no. 2, pp. 57–66 (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2025-23-3-57-66

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти во всем мире, от которой по оценкам каждый год умирает от 17,9 до 20,5 млн человек, что составляет примерно треть от всех смертей в мире – из них на Россию приходится более полумиллиона смертей ежегодно¹. Особенно тревожным выглядит прогноз на 2040 год: к этому времени Россия может войти в число стран с наиболее высоким уровнем смертности от ССЗ среди трудоспособного населения [1]. В профилактике ССЗ ключевую роль играет ранняя диагностика, при этом дефицит опытных врачей и экономически эффективных устройств обуславливают затрудненное кардиологическое обследование пациентов в сельской местности, отдаленных и труднодоступных районах. Условия для решения этой проблемы создаются развитием цифровых технологий, в том числе расширением волоконно-оптической инфраструктуры глобальной сети Интернет, широким покрытием территории страны сотовой связью, планами внедрения инфраструктуры 5G к 2030 году, технологиями облачных сервисов и машинного обучения. Существуют научные заделы по удаленной диагностике с применением электронных стетоскопов [2] и других аналогичных приборов [3]. Вместе с тем до сих пор не исследована возможность повышения качества диагностики за счет использования машинного обучения.

Данная работа нацелена на создание программно-аппаратного комплекса, использующего машинное обучение и возможности глобальной сети. Это позволит применять в процессе диагностики более дешевые и доступные устройства, повысить эффективность диагностики специалистов с недостаточным опытом, создать новые возможности для обучения врачей.

Материал и методы исследования

Для подготовки набора данных машинного обучения использовались три различных электронных стетоскопа:

- 1) цифровой стетоскоп Littmann Core Digital (3M Littmann, США);
- 2) цифровой стетоскоп Lung Pass (Healthy Networks, Эстония);
- 3) электронный стетоскоп Phonendo (разработчик ООО «Медхард», Россия, производитель АО «ЕПЗ», Россия).

Все три стетоскопа позволяют сохранять записи аудиоданных в формате файла mp3.

Аускультация сердца проводилась в определенных местах передней поверхности грудной клетки или точках аускультации и в определенной последовательности. Использовались пять точек аускультации:

- 1) область верхушки сердца (точка аускультации митрального клапана);
- 2) второе межреберье у правого края грудины (выслушивают аортальный клапан);
- 3) второе межреберье у левого края грудины (клапан легочной артерии);

¹ Сердечно-сосудистые заболевания. Официальный сайт «Всемирная организация здравоохранения». URL: <https://www.who.int/ru/health-topics/cardiovascular-diseases>

- 4) у основания мечевидного отростка (трехстворчатый клапан);
- 5) третье межреберье у левого края грудины (дополнительная точка аускультации аортального клапана – точка Боткина – Эрба).

Эти точки аускультации сердца не соответствуют их истинной проекции на передней поверхности грудной клетки, но обеспечивают наилучшее проведение звука работы клапанов. Заданная последовательность аускультации клапанов сердца выбрана соответственно частоте их поражения, однако может изменяться при необходимости.

Использованная методика аускультации сердца заключалась в последовательном размещении головки стетоскопа в вышеперечисленных точках на передней поверхности грудной клетки с удержанием двумя или тремя пальцами правой руки и одновременным пальпированием пульса на сонной артерии пальцами левой руки для определения I тона сердца. При этом производилось определение I и II тонов, изменений таких тонов, как расщепление или раздвоение, и соотношения тонов: являлось ли соотношение тонов нормальным, фиксировалось ли усиление или ослабление I или II тона, либо акцент II тона. Также производилась оценка наличия дополнительных тонов: фиксировались ли тон открытия митрального клапана, мезосистолический тон, III и IV тоны, возникали ли трехчленные ритмы, такие как ритмы перепела или галопа, наличие шумов и их характеристик, например, принадлежность шума к систоле или диастоле, связь с тонами сердца, тембр, форма, место наилучшего выслушивания и места проведения шума.

С учетом различного функционала цифровых стетоскопов в разрабатываемый программный комплекс должны быть включены возможности подсказок по правильному расположению стетоскопа для проводящего самообследование пациента [4].

В рамках проводимого исследования специалистом, имеющим медицинское образование и необходимую квалификацию для проведения диагностических процедур, осуществлялась аускультация в пяти вышеуказанных точках аускультации в заданной последовательности.

В процессе сбора аудиофайлов было установлено, что аортальный стеноз, аортальная недостаточность, митральный стеноз и митральная недостаточность встречаются на порядок чаще остальных заболеваний, в результате число набранных файлов с аудиоданными составило:

- без выявленной патологии – 20;
- аортальный стеноз – 28;
- аортальная недостаточность – 52;
- митральный стеноз – 55;
- митральная недостаточность – 31.

Модель машинного обучения

Традиционное получение размеченного обучающего и тестового наборов данных для модели классификации ССЗ является чрезвычайно дорогостоящим, трудоемким и утомительным. Поэтому целесообразно использовать альтернативный метод – трансферное обучение. Это популярный подход в глубоком обучении, при котором предварительно обученные модели используются в качестве отправной точки для задач компьютерного зрения и обработки естественного языка [5]. Трансферное обучение направлено на извлечение знаний из одной или нескольких исходных задач (например, классификация речевых команд) и применение этих знаний к целевой задаче (например, распознавание звуков, образующихся в процессе функционирования внутренних органов). Трансферное обучение может уменьшить необходимость аннотировать большие объемы данных, что приводит к экономии средств и времени. Трансферное обучение имеет множество применений: от решения задач регрессии при работе с большими данными до обучения моделей глубокого обучения. Действительно, оно особенно

привлекательно для последнего, учитывая большой объем данных, необходимых для создания глубоких нейронных сетей.

Для создания модели классификации ССЗ использовалась онлайн-платформа машинного обучения Teachable Machine². ТМ использует трансферное обучение и позволяет создавать модели машинного обучения без программирования. Исходный код ТМ доступен на GitHub. ТМ-модели распознавания звуков основаны на модели Speech Command Recognizer (SCR)³. SCR представляет собой модуль JavaScript с открытым исходным кодом, который можно использовать в режиме удаленного доступа в веб-браузере или в кроссплатформенной среде выполнения JavaScript Node.js на локальном компьютере. SCR позволяет распознавать голосовые команды, состоящие из простых отдельных английских слов из небольшого словарного запаса. Словарный запас по умолчанию включает в себя следующие слова: десять цифр от «нуля» до «девяти», «вверх», «вниз», «влево», «вправо», «иди», «стоп», «да», «нет», а также дополнительные категории «неизвестное слово» и «фоновый шум» [6]. SCR использует для цифровой обработки звука интерфейс программирования веб-браузера API WebAudio⁴. Модуль SCR построен поверх библиотеки машинного обучения TensorFlow.js⁵. Таким образом, обучение модели и вывод осуществляется полностью в веб-браузере. SCR использует ускорение WebGL⁶ на GPU.

SCR извлекает признаки речи из аудиосигнала, используя частотный (спектральный) анализ. Человеческую речь можно считать достаточно стационарной в интервале анализа 20–25 мс. Поэтому сигнал анализируется в последовательных узких временных рамках шириной 20–25 мс. Спектральный анализ речевого сигнала выполняется путем нахождения кратковременного преобразования Фурье (англ. STFT – short-time Fourier transform). В случае дискретного времени данные, подлежащие преобразованию, должны быть разбиты на блоки или фреймы (которые обычно перекрываются друг с другом, чтобы уменьшить артефакты на границе). К каждому блоку применяется дискретное преобразование Фурье, которое умножается на оконную функцию. Комплексный результат, который представляет собой амплитуду и фазу для каждого момента времени и частоты, добавляется к матрице. Это может быть выражено в виде [7]:

$$acc = \frac{1}{|Te|} \sum_{x \in Te} I[\hat{c}(x) = c(x)],$$

где $X(k, l)$ – входной сигнал; $h(n)$ – оконная функция; $\omega k = 2\pi k/N$ – частота; $k = 0, 1, \dots, N-1$ – частотный индекс; L – временной шаг анализа (расстояние между соседними блоками); l – номер блока анализа.

Параметры STFT, используемого ТМ, сохраняются в модели и могут быть прочитаны методами SCR.

На сайте ТМ была создана модель для распознавания файлов с аудиоданными. В качестве фонового шума были загружены 20 файлов пациентов без диагностированных ССЗ. Затем созданы четыре класса файлов, куда были загружены 28 файлов пациентов с установленным диагнозом аортальный стеноз, 52 – с аортальной недостаточностью, 55 – с митральным стенозом и 31 – с митральной недостаточностью. Формат файлов с аудиоданными: mp3 (частота дискретизации 44 100 Гц, стерео, битрейт 256 Кбит/с). Количество файлов для обучения модели – 186.

² Официальный сайт Teachable Machine. URL: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>

³ Speech Command Recognizer. Репозиторий. URL: <https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/speech-commands>

⁴ Web Audio API. Ресурсы для разработчиков, от разработчиков. URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Web_Audio_API

⁵ Комплексная платформа для машинного обучения. URL: <https://www.tensorflow.org/?hl=ru>

⁶ WebGL (Web Graphics Library). URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/WebGL_API

На следующем этапе было проведено обучение модели и произведена проверка с помощью файлов, не входящих в обучающий набор. Для оценки качества модели машинного обучения использовалась метрика качества асс – верность [8]:

$$acc = \frac{1}{|Te|} \sum_{x \in Te} I[\hat{c}(x) = c(x)],$$

где Te – тестовый набор; $\hat{c}(x)$ – спрогнозированная метка класса; $c(x)$ – настоящая метка класса.

Таким образом, верность оценивает вероятность $P(\hat{c}(x) = c(x))$.

При проверке на тестовом наборе было получено значение $acc = 0,95$. Таким образом, проверка результатов обработки на файлах, не входящих в обучающий набор, показала, что модель ТМ успешно распознает типичные ССЗ.

При проверке фонокардиограммы пациента без диагностированных ССЗ модель выдала результат 96 % вероятности, что это «Фоновый шум», так в ТМ называется базовый класс аудиограмм, относительно которого распознаются отклонения. При проверке фонокардиограммы пациента с диагностированным аортальным стенозом модель указала вероятность 83 %, что это аортальный стеноз, и 16 %, что это митральный стеноз. Таким образом, с вероятностью 99 % было установлено, что пациенту необходимо дальнейшее обследование, проводимое профильным специалистом. При проверке фонокардиограммы пациента с диагностированной аортальной недостаточностью модель указала вероятность 99 %, что это аортальная недостаточность. При проверке фонокардиограммы пациента с диагностированным митральным стенозом модель указала вероятность 83 %, что это митральный стеноз. При проверке фонокардиограммы пациента с диагностированной митральной недостаточностью модель указала вероятность 91 %, что это аортальная недостаточность. Таким образом, проверка результатов обработки на фонокардиограммах, не входящих в базу данных, показала, что модель успешно распознает типичные ССЗ.

Разработка веб-приложения

Для разработки программной части комплекса обученная модель была выгружена с сайта ТМ в виде файлов `metadata.json`, `model.json`, `weights.bin`:

- 1) `metadata.json` – метаданные, JSON-файл, указывающий версии используемых библиотек, метаданные о пользователе и имени модели, а также список имен меток и размер данных, используемых для обучения модели;
- 2) `model.json` – модель, JSON-файл, определяющий топологию модели;
- 3) `weights.bin` – весовые коэффициенты, BIN-файл, определяющий веса обученной модели.

Для работы с моделью использовался модуль SCR. Как следует из документации SCR, распознавание может осуществляться в двух режимах:

- 1) `online` – аудиоданные поступают с устройства ввода звука (микрофон);
- 2) `offline` – данные поступают из файла с аудиоданными.

Первый способ – `online` – можно использовать, если подключить стетоскоп к компьютеру как устройство аудиовхода или использовать выход программного аудиоплеера как аудиовход веб-браузера. Для второго варианта была использована программа Virtual Audio Cable (VAC)⁷. VAC создает виртуальную звуковую карту в операционной системе Windows и позволяет использовать файл, проигрываемый аудиоплеером, как аудиовход для определенного приложения. Для получения спектрограммы и дальнейшей классификации используется метод `listen()` объекта SCR. Метод возвращает результаты классификации и результаты последовательного

⁷ Виртуальный аудиокабель (VAC). Официальный сайт. URL: <https://vac.muzychenko.net/en/>

преобразования STFT, которые использовались для графического представления спектрограммы на веб-странице приложения.

Тестирование приложения на тестовом наборе показало результаты, аналогичные тестированию на сайте ТМ.

При использовании режима распознавания offline объекту SCR необходимо подготовить и передать тензор с частотными данными в метод recognize().

Частотные данные можно получить средствами WebAudio API. Объект AudioContext представляет собой интерфейс обработки звука. В AudioContext входит несколько аудиомодулей, связанных друг с другом. Методом createAnalyser() интерфейса AudioContext можно создать аудиомодуль AnalyserNode, который представляет собой узел, способный предоставлять информацию об анализе частот и временной области в режиме реального времени.

Чтение данных из аудиофайла осуществляется с помощью объекта FileReader в буфер. После завершения чтения файла вызывается метод decodeAudioData() интерфейса AudioContext, при помощи которого декодируются данные буфера. Декодированные аудиоданные запускаются на воспроизведение и параллельно происходит обработка аудиоданных в следующей последовательности:

1) чтение из файлов модели параметров кратковременного преобразования Фурье – размер ДПФ N_{FFT} ; частота дискретизации f_d ; количество точек данных частоты в каждом аудиокадре (столбце) спектрограммы N_f ; количество аудиокадров (столбцов) спектрограммы N_S ; коэффициент перекрытия фреймов k_{ov} ;

2) создание вспомогательных переменных – период получения частотных данных T_f ; очередь частотных данных;

3) запуск таймера со временем срабатывания T_f . После срабатывания таймера вызывается метод getFloatFrequencyData() интерфейса AnalyserNode, который копирует данные текущей частоты в буфер типа Float32Array. Каждый элемент в массиве представляет значение децибел для определенной частоты. Частоты распределены линейно от 0 до 1/2 частоты дискретизации. Полученный массив усекается до размера N_f и добавляется в очередь частотных данных;

3) проверка размера очереди, если размер больше N_S , то выполняется удаление из очереди первого элемента;

4) формирование из очереди одномерного массива с нормированными значениями;

5) после нормирования частотных данных формируется объект библиотеки TensorFlow.js – тензор с формой $[1, N_S, N_f, 1]$. Сформированный тензор передается для распознавания объекту SCR в метод recognize(). Далее осуществляется вывод результатов прогнозирования и происходит освобождение памяти – уничтожение объекта тензора.

6) проверка окончания воспроизведения файла или принудительной остановки, если нет, то переход в пункт (3), и после ожидания процесс повторяется.

Период получения частотных данных определяется по формуле

$$T_f = \frac{N_{FFT}}{f_d} \cdot 10^3, \text{ мс.}$$

В пункте (4) данные из очереди нормируются по формуле

$$F_t = \frac{F - \bar{F}}{\sqrt{V + \varepsilon}},$$

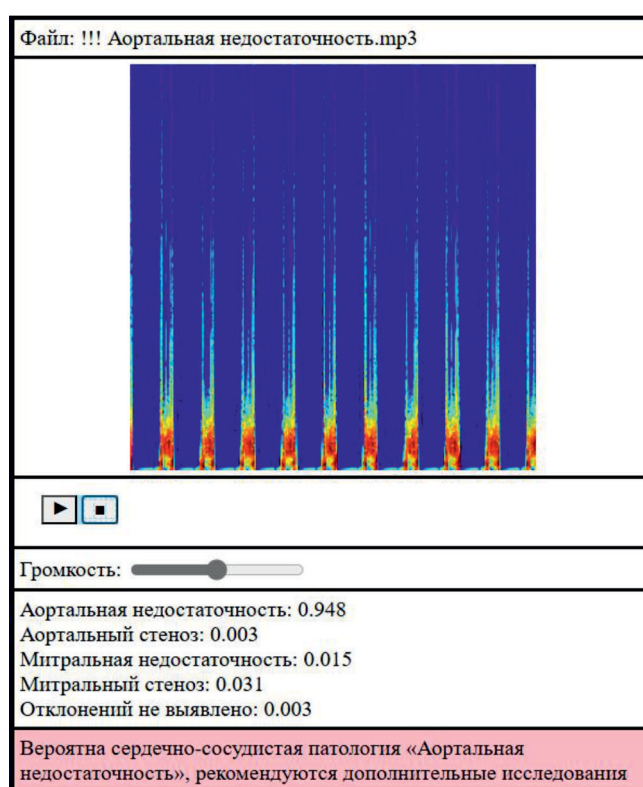
где F_t – значения нормированных частот; F – значения частот в выборке; $\bar{F}$ – среднее арифметическое; V – дисперсия; ε – значение машинного эпсилон, используемого в числовых выражениях TensorFlow.js.

Для режима распознавания offline была разработана веб-страница в конструкторе сайтов Tilda Publishing⁸. Основной программный код был размещен в блоке T-123 (HTML-код). Окно работающего в веб-браузере приложения показано на рисунке.

Загрузка файла с аудиоданными производится в стандартном диалоговом окне открытия файла при нажатии на кнопку «□». Чтение аудиоданных из файла осуществляется с помощью объекта FileReader в буфер, после чего производится дальнейшая обработка декодированных данных.

В пункте (6) проверяется окончание воспроизведения файла или событие нажатия на кнопку «■». При возникновении этого события происходит выход из цикла, и после 5-секундной задержки на веб-страницу приложения выводится рекомендация с вероятным диагнозом (определяется как среднее прогнозов).

Тестирование offline-режима на тестовом наборе файлов с аудиоданными показало, как и в случае online-режима, результаты, аналогичные тестированию на сайте ТМ.



Приложение «Электронная аускультация»
Application “Electronic auscultation”

В последние годы получению частотно-временных характеристик акустических сигналов сердца посвящено значительное количество работ [9; 10]. Фонокардиограммы, зарегистрированные электронным стетоскопом, и полученные в результате их обработки частотные компоненты звуков сердца представляются в графическом виде. Фонокардиография существенно дополняет аускультацию и дает возможность объективно определить частоту, форму и продолжительность регистрируемых звуков сердца, а также их изменение в процессе динамиче-

⁸ Создайте впечатляющий сайт на Tilda для бизнеса и медиа. URL: <https://tilda.cc/ru/>

ского наблюдения за больным. [10] Для отображения спектрограммы использовался модуль JavaScript графического представления спектрограмм доктора А. Р. Коллинза⁹.

Обсуждение и заключения

Разработанный программно-аппаратный комплекс предоставляет возможность помощи врачу в установлении диагноза, обеспечения квалифицированной медицинской помощи в отдаленных и труднодоступных местностях, обучения и помощи молодым специалистам.

Для работы с моделью использовалась библиотека Speech Command Recognizer. Библиотека может быть использована в режиме online в веб-браузере для работы с аудиовходом или в режиме offline для работы с файлами. Таким образом, предоставляется программный интерфейс Tensorflow и все возможности экосистемы JavaScript. Библиотека Tensorflow.js имеет несколько преимуществ, таких как размер модели машинного обучения, скорость, но наиболее важное преимущество для программно-аппаратного комплекса – это конфиденциальность. Tensorflow.js предоставляет возможность обучать и классифицировать данные на клиентской машине, не отправляя данные на сторонний сервер.

Разработанное приложение размещено по адресу <http://electronicasp.tilda.ws/>. Исходный код приложения доступен по адресу <https://github.com/xeh2003/MLT>.

Список литературы

1. **Кобелев А.** Сердечно-сосудистые заболевания: мы пребываем в «красной» зоне риска // RG.RU Российская газета. 02.10.2024. URL: <https://rg.ru/2024/10/02/serdechno-sosudistye-zabolevaniia-my-prebyvaem-v-krasnoj-zone-riska.html> (дата обращения: 14.03.2025).
2. **Гаранин А. А., Айдумова О. Ю., Рубаненко А. О., Бибикина Е. Г.** Цифровой стетоскоп – новая эра аускультации // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5. №4. С. 808–818. DOI: 10.17816/DD632499
3. **Leng S., Tan R.S., Chai K. T. C. et al.** The electronic stethoscope. BioMed Eng OnLine 14, 66 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12938-015-0056-y>
4. **Просвиркина Е. В., Сахарчук А. Ю.** Исследование работы искусственного интеллекта при обработке аудиограмм // Стратегические векторы развития науки, медицины, цифровых и образовательных технологий: сб. науч. ст. Кемерово, 2024. С. 197–200.
5. **Трофимова В. С., Каршиева П. К., Рахманенко И. А.** Метод трансферного обучения для дообучения нейронных сетей под особенности набора данных в задаче верификации диктора // Программные системы и вычислительные методы. 2024. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2024.3.71630 EDN: XHZCTS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71630
6. **Pete Warden.** Speech Commands: A Dataset for Limited-Vocabulary Speech Recognition. 2018, 1514764800000, CoRR, abs/1804.03209, <http://arxiv.org/abs/1804.03209>
7. **Рабинер Л. Р., Шафер Р. В.** Цифровая обработка речевых сигналов / пер. с англ. под ред. М. В. Назарова и Ю. Н. Прохорова. М.: Радио и связь, 1981. 496 с.
8. **Флах П.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.
9. **Горшков Ю. Г.** Получение и обработка многоуровневых частотно-временных акустокардиограмм. Медицинская техника, 2013, № 1. С. 15–17.

⁹ Спектрограмма JavaScript: сб. Различные технические статьи доктора А. Р. Коллинза. URL: <https://www.arc.id.au/Spectrogram.html>

10. **Горшков Ю. Г.** Новые цифровые технологии обработки звуков сердца. Биомедицинская радиоэлектроника, 2013, № 8. С. 36–40.

References

1. **Kobelev A.** Cardiovascular diseases: we are in the «red» risk zone. RG.RU Rossiyskaya Gazeta. 10/02/2024. URL: <https://rg.ru/2024/10/02/serdechno-sosudistye-zabolevaniia-my-prebyvaem-v-krasnoj-zone-riska.html> (in Russ.)
2. **Garanin A. A., Aydumova O. Y., Rubanenko A. O., Bibikova E. G.** Digital stethoscope: a new era of auscultation. *Digital Diagnostic*, 2024, vol. 5, no. 4, pp. 808–818. DOI: 10.17816/DD632499 (in Russ.)
3. **Leng S., Tan R. S., Chai K. T. C. et al.** The electronic stethoscope. *BioMed Eng OnLine* 14, 66 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12938-015-0056-y>
4. **Prosvirkina E. V., Sakharchuk A. Yu.** Study of the work of artificial intelligence in processing audiograms. *Strategic vectors of development of science, medicine, digital and educational technologies. Collection of scientific articles*. Kemerovo, 2024, pp. 197–200. (in Russ.)
5. **Trofimova V. S., Karshieva P. K., Rakhmanenko I. A.** Transfer learning method for additional training of neural networks for dataset features in the speaker verification problem. *Software systems and computational methods*, 2024, no. 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2024.3.71630 EDN: XHZCTS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71630 (in Russ.)
6. **Pete Warden.** Speech Commands: A Dataset for Limited-Vocabulary Speech Recognition. 2018, 1514764800000, CoRR, abs/1804.03209, <http://arxiv.org/abs/1804.03209>
7. **Rabiner L. R., Shafer R. V.** Digital processing of speech signals. Translated from English. Edited by M. V. Nazarov and Yu. N. Prokhorov. Moscow, Radio and Communications, 1981, 496 p. (in Russ.)
8. **Flach P.** Machine learning. The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. Trans. from English by A. A. Slinkin. Moscow, DMK Press, 2015, 400 p. (in Russ.)
9. **Gorshkov Ju. G.** Poluchenie i obrabotka mnogourovnevnyh chastotno-vremennykh akustokardiogramm [Reception and processing of multilevel time-frequency acoustocardiograms]. *Medical equipment*, 2013, no. 1, pp. 15–17. (in Russ.)
10. **Gorshkov Ju. G.** Novye cifrovye tehnologii obrabotki zvukov serdca [New digital technologies for processing heart sounds]. *Biomedical radio electronics*, 2013, no. 8, pp. 36–40. (in Russ.)

Информация об авторах

Попов Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Просвиркина Елена Владимировна, кандидат химических наук, заведующая кафедрой медицинской, биологической физики и высшей математики

Сахарчук Алексей Юрьевич, клинический ординатор

Руднев Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор

Information about the Authors

Dmitry M. Popov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Elena V. Prosvirkina, Candidate of Chemical Sciences, Head of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, Associate Professor

Alexey Yu. Sakharchuk, Resident Physician

Sergey D. Rudnev, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Статья поступила в редакцию 19.03.2025;
одобрена после рецензирования 30.06.2025; принята к публикации 30.06.2025*

*The article was submitted 19.03.2025;
approved after reviewing 30.06.2025; accepted for publication 30.06.2025*