

УДК 615/47:616.61-008.64

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ФИСТУЛЫ

**А. А. Турлай, П. В. Заикин, Н. Б. Назина**  
*Сургутский государственный университет,  
TurlayAA@mail.ru, zaikinpv@gmail.com, nnb60@mail.ru*

В статье авторы рассматривают возможности применения методов машинного обучения и анализа данных при оценке состояния фистулы пациента, находящегося на гемодиализе. Рассмотрены подходы к получению первичных исходных данных в лабораторных условиях, методы и средства их обработки. Показаны методы классификации для подобного рода данных. Предложены варианты реализации носимых персональных устройств.

*Ключевые слова:* машинное обучение, нейронные сети, классификация, анализ звукового ряда.

## APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS AND DATA ANALYSIS FOR EVALUATING THE STATE OF FISTULA

**A. A. Turlay, P. V. Zaikin, N. B. Nazina**  
*Surgut State University,  
TurlayAA@mail.ru, zaikinpv@gmail.com, nnb60@mail.ru*

The article discusses the usage of machine learning methods for evaluating the state of fistula for patients on hemodialysis. The approach to gathering source data in laboratory conditions and methods of data processing are considered. Methods of classification are presented. Portable personal devices for patients are proposed.

*Keywords:* machine learning, neural networks, classification, sound sequence analysis.

**Введение.** Согласно отчету о распространенности почечных заболеваний один из десяти человек в мире имеет заболевание почек. При острой и хронической почечной недостаточности больным назначается гемодиализ.

На 2019 год более 2,8 млн пациентов во всем мире регулярно проходят процедуру диализа. В России заместительную почечную терапию получают около 60 тысяч человек.

Для очищения крови гемодиализом необходим так называемый «сосудистый доступ». Артериовенозная фистула считается на данный момент самым надежным видом сосудистого доступа. Для этого хирургическим путем создается артериовенозный шунт (прямое соединение артерии с веной).

Поскольку фистула играет ключевую роль в успешном проведении диализной терапии, очень важно поддерживать ее хорошее состояние. Одним из способов проверить, достаточен ли кровоток через фистулу, является прослушивание так называемого «шума».

Фистула имеет свойство со временем самопроизвольно закрываться, происходит так называемый тромбоз фистулы. Для своевременного получения помощи при возникновении угрозы «закрытия» фистулы необходимо производить постоянный контроль ее состояния.

На данный момент все методы контроля состояния фистулы требуют пребывания больного в стационаре. В настоящее время отсутствуют индивидуальные приборы для постоянного контроля состояния фистулы.

Невозможность контроля состояния фистулы беспокоит не только пациента, но и врача. В работах [1–3] изучаются вопросы, связанные с деградацией фистулы, и ставится проблема диагностики этих процессов.

При смешивании венозной и артериальной крови на стыке получается разность давления, вследствие чего появляется характерный звук – «шум» фистулы.

При получении травмы активируется процесс свертывания крови (коагуляция). С помощью специальных клеток – тромбоцитов – организм формирует естественный защитный слой, препятствующий потере крови. Этот процесс называется тромбообразованием (тромбозом) [1]. При этом сгустки крови образуются внутри кровеносных сосудов, где они препятствуют нормальному току крови. Процесс тромбообразования запускается так называемыми гемодинамическими механизмами: низкой скоростью кровотока, изменением температуры или колебаниями кровяного давления.

По ряду причин рука с фистулой особенно уязвима для этих явлений. После проведения многократных повторных пункций кожа над фистулой истончается. Кроме того, удаление воды из плазмы в ходе каждой процедуры диализа повышает концентрацию клеток в крови, т. е. кровь становится более густой. Иногда кровяное давление падает, что приводит к замедлению кровотока.

При закрытии фистулы требуется оперативное хирургическое вмешательство. Создание новой фистулы уже затруднительно и аппарат очистки крови подключается непосредственно к сердечной аорте пациента.

Улучшение методов контроля над состоянием фистулы пациента определяет качество и продолжительность жизни пациентов с утраченной функцией собственных почек.

**Исходные данные.** Для оценки состояния фистулы методом прослушивания перед исследователем встает задача получения исходных данных для анализа. В случае с пациентами гемодиализа для выбора адекватного метода лечения и снижения риска наиболее удобным способом является самостоятельный контроль пациентом состояния фистулы с инструментальной поддержкой. В связи с этими обстоятельствами было принято решение о разработке информационной системы оценки состояния фистулы пациента на основе анализа звукового сигнала, записанного программно-аппаратным комплексом «Ф1 Вита-контроль».

Предполагается, что в момент закрытия фистулы характер «шума» фистулы изменяется (предположительно затухает, становится тише).

При оперативном медикаментозном вмешательстве возможно предотвратить закрытие фистулы, тем самым сохранив её для дальнейшего использования при диализе.

Для контроля состояния фистулы разрабатывается информационная система оценки состояния фистулы пациента на основе анализа звукового сигнала, записанного программно-аппаратным комплексом (далее – ПАК) «Ф1 Вита-контроль».

ПАК представляет собой браслет-датчик с микрофоном, записывающим устройством, gsm-модулем, съемной батареей.

ПАК располагается в непосредственной близости к фистуле и записывает через определенные промежутки времени сигнал «шума» фистулы. Далее записанный сигнал по заданным критериям сравнивается с эталонным, при их расхождении врачу и пациенту направляются сигналы о необходимости консультаций. Также записанные сигналы при доступе к сети Интернет передаются на сервер информационной системы для дальнейшего анализа и накопления истории о состоянии фистулы пациента (рис. 1).

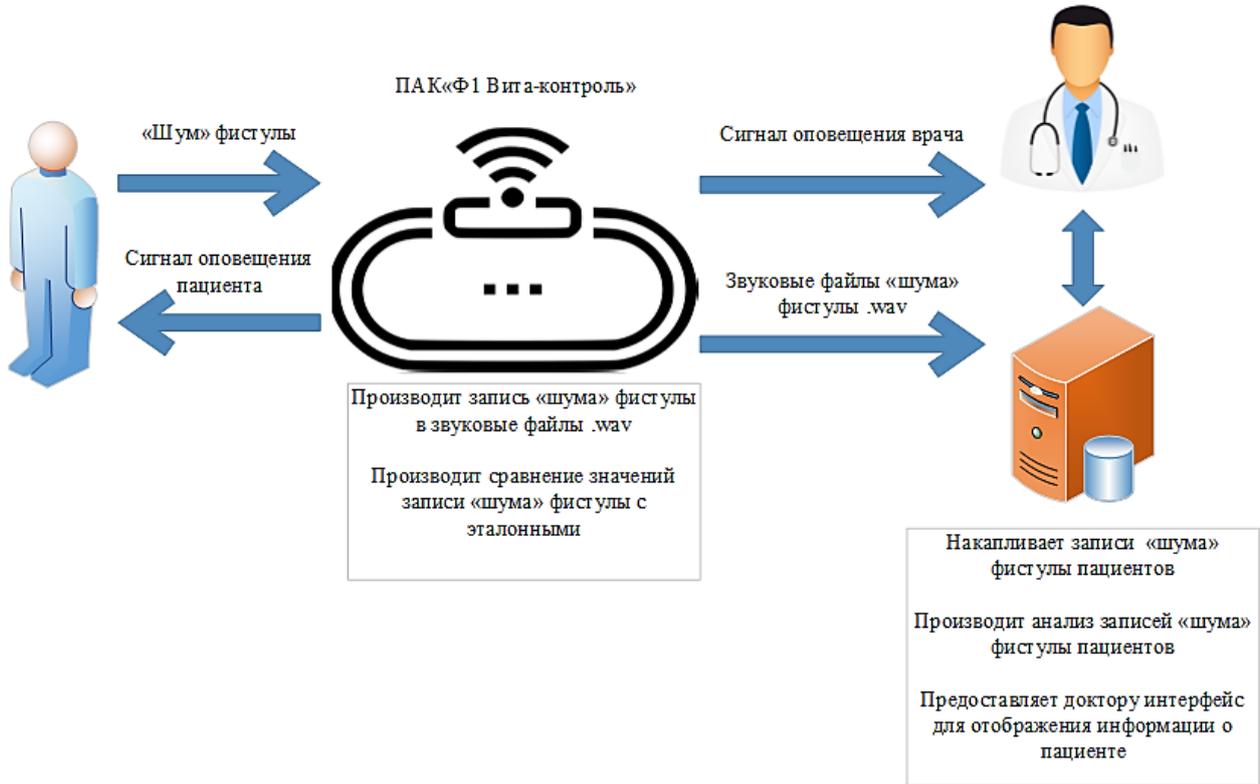
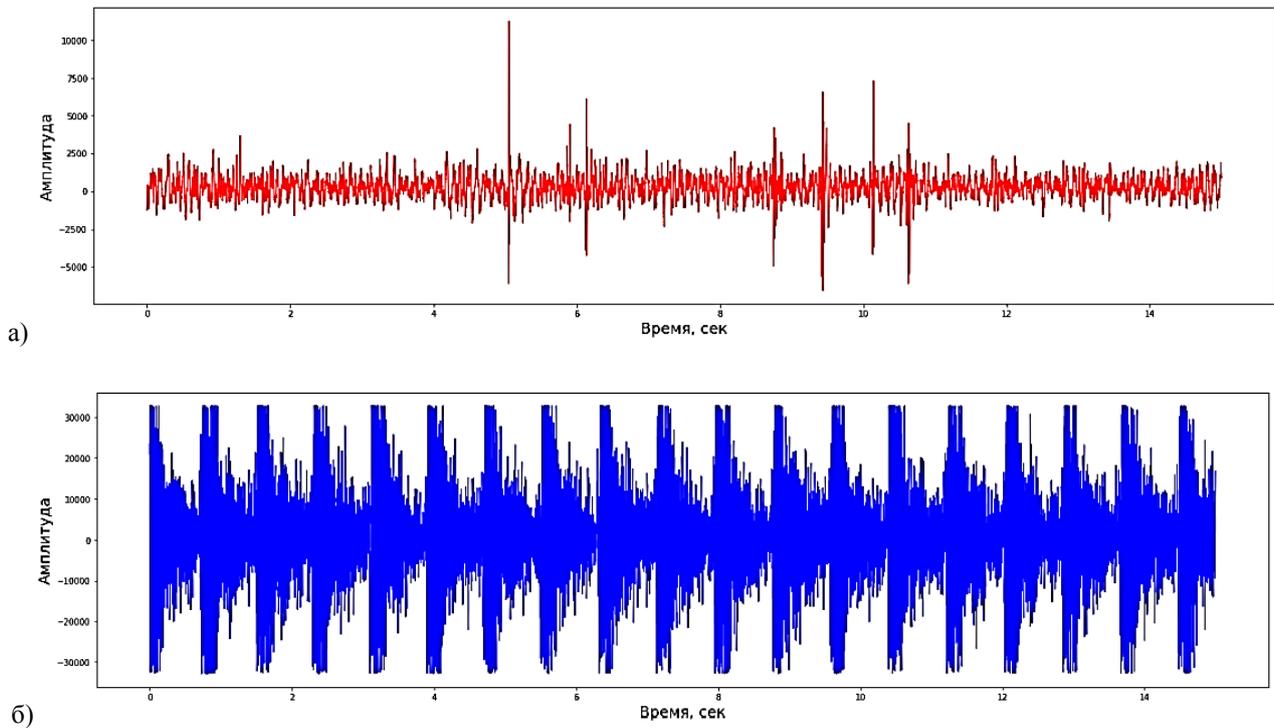
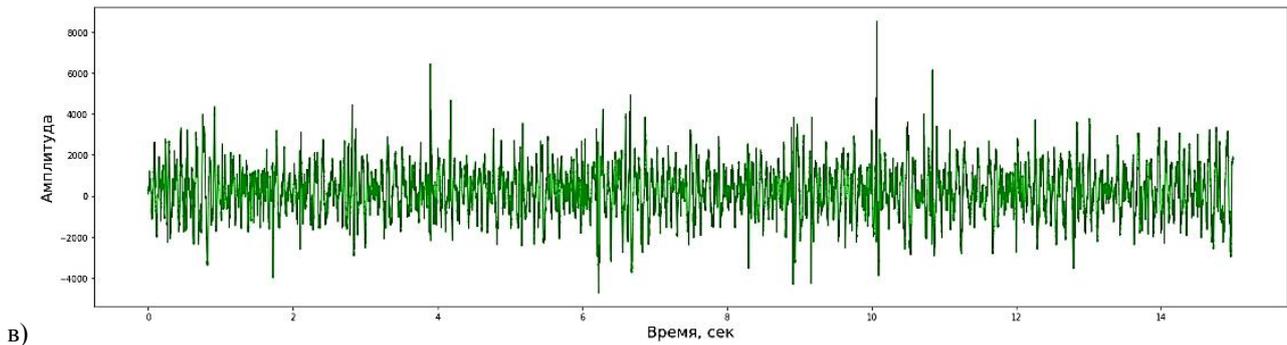


Рис. 1. Схема работы ПАК

**Анализ.** Собранная с помощью ПАК аудиоинформация была преобразована во временные ряды, примеры которых представлены на рисунках 2а, 2б, 2в.





в)

**Рис. 2. Аудиоинформация, собранная с помощью ПАК:**

- а – временной ряд сигнала, записанный на здоровой руке пациента;  
 б – временной ряд сигнала фистулы, записанный в непосредственной близости с фистулой;  
 в – временной ряд сигнала, записанный на руке здорового человека

Определены три класса сигналов: нормальное состояние фистулы (рис. 2б), полностью неработающая фистула (состояние здорового человека, т. к. фистула у него отсутствует), пограничные состояния.

Для целей снижения рисков, связанных с деградацией фистулы, необходимо определять именно этап перехода из нормального состояния в пограничное, чтобы увеличить время на принятие решения.

Временной ряд (запись 15 с) с частотой дискретизации 44 кГц содержит 660 000 значений амплитуды сигнала. Для анализа предложено уменьшить количество значений, необходимых для принятия решения о классификации.

Общую схему задачи классификации можно условно разделить на пять этапов:

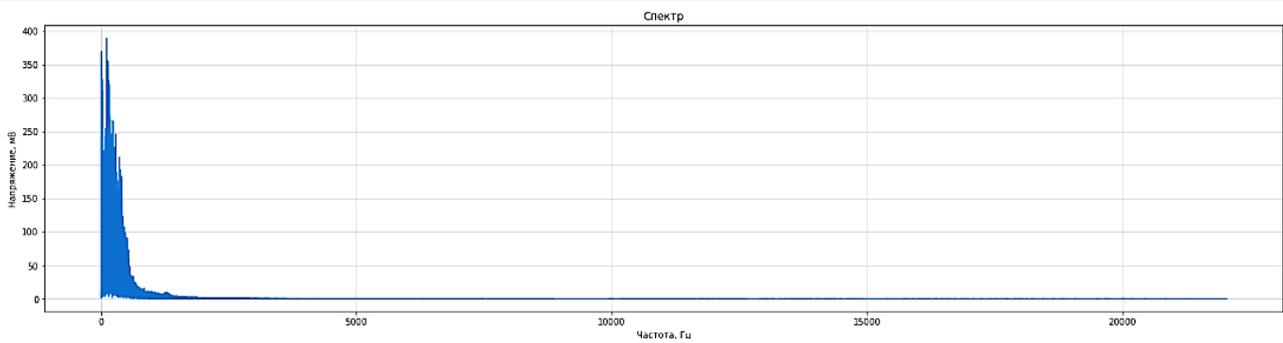
1. Определение набора признаков.
2. Выделение признаков из аудиофайла.
3. Выбор алгоритма классификации.
4. Классификация обучающего набора, подбор параметров.
5. Переобучение модели на выявленных ошибках при классификации на обучающем наборе.

**Определение набора признаков.** Для классификации звуковых сигналов значимыми характеристиками являются средняя амплитуда и доминирующая частота. Гармоническим сигналам присуще большее количество признаков, но характер исследуемого сигнала ближе к шуму и не обладает гармоническими составляющими. Поэтому было принято решение остановиться на средней амплитуде и доминирующей частоте.

**Выделение признаков из исходных данных.** Подсчет средней амплитуды производится следующим методом:

$$A_{\text{сред}} = \frac{\sum x_i}{n}.$$

Доминирующую частоту можно получить, используя быстрое преобразование Фурье и поиск частоты с максимальной представленностью (рис. 3).



**Рис. 3. Пример спектрограммы, полученной с помощью быстрого преобразования Фурье**

Таким образом, обработав исходные файлы, мы получаем двумерный вектор, состоящий из двух значений средней амплитуды сигнала и доминирующей частоты.

**Выбор алгоритма классификации.** При небольшом наборе классов (в рассматриваемой задаче у нас их три) наиболее подходящим методом классификации видится логистическая регрессия. Такой подход довольно широко применяется при анализе звуковых сигналов различной этимологии [4–5].

**Заключение.** Построенная модель на основе алгоритмов логистической регрессии позволила на обучающей выборке, состоящей из 30 записей (10 записей пациентов, 20 записей здоровых людей), производить классификацию с ошибкой менее 5 %, корректировка обучающей выборки и перенастройка модели позволили снизить ошибку до 1 %.

Авторами ведется работа по сбору исходных данных для более точной настройки модели и апробации метода. В дальнейшем планируется исследовать возможность использования микрофона смартфона для получения исходных данных, сравнить качество записи и разработать автономный носимый прибор для сбора и обработки информации о состоянии фистулы непосредственно у пациента.

### Литература

1. Николаев Е. Н., Мазайшвили К. В., Лобанов Д. С., Демина А. В., Блохина А. В. Современное состояние проблемы тромбоза сосудистого доступа у больных на гемодиализе // Вестник СурГУ. Медицина. 2019. № 3. С. 8–14.
2. Максимов А. В., Фейсханов А. К., Макаримов Э. Ш., Закиржанов Н. Р., Фейсханова Л. И. Тенденции развития хирургии сосудистого доступа у пациентов, находящихся на программном гемодиализе // Практич. медицина. 2014. № 4–20 (80). С. 83–85.
3. Гурков А. С. Кровоток в сосудах предплечья и кисти у пациентов с артериовенозной фистулой для гемодиализа : автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2014. 21 с.
4. Salamon J., Bello J. P. Deep Convolutional Neural Networks and Data Augmentation for Environmental Sound Classification // IEEE Signal Processing Letters. 2017. Vol. 24, No. 3. P. 279–283.
5. Piczak K. J. Environmental Sound Classification with Convolutional Neural Networks // 2015 IEEE 25th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP). IEEE, 2015. P. 1–6.