

## СИСТЕМА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭКГ С ON-PREM ВЕБ-ШЛЮЗОМ

*Ларченко Н.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Давыдов М.В. – к.т.н., доцент, первый проректор*

**Аннотация.** Разработана система автоматической интерпретации электрокардиограмм на основе методов глубокого обучения. Система выполняет анализ сырых сигналов ЭКГ со встроенной предобработкой и формирует диагностические предположения по набору кардиологических патологий. Архитектура модели позволяет эффективно извлекать морфологические признаки сигнала и учитывать долгосрочные временные зависимости. Результатом работы алгоритма является ранжированный список наиболее вероятных диагнозов с оценками вероятности. Для повышения интерпретируемости реализована визуализация влияния различных участков сигнала на решение модели. Система развёртывается внутри инфраструктуры медицинского учреждения и предоставляет доступ к функциональности через локальный веб-шлюз.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, глубокое обучение, автоматическая интерпретация, кардиологические патологии, интерпретируемость

**Введение.** Электрокардиография является одним из основных инструментов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Анализ ЭКГ требует выявления морфологических особенностей сигнала и временных зависимостей между его элементами. В клинической практике интерпретация электрокардиограмм выполняется специалистом и зависит от его опыта и квалификации.

В последние годы методы искусственного интеллекта активно применяются для автоматизации анализа медицинских сигналов. Современные алгоритмы глубокого обучения способны выявлять сложные закономерности в данных и повышать точность диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Использование нейросетевых моделей в кардиологии позволяет ускорить обработку данных и снизить вероятность диагностических ошибок. Алгоритмы машинного обучения уже применяются для анализа медицинских изображений и сигналов, включая электрокардиограммы, где они демонстрируют способность обнаруживать патологические изменения, не всегда очевидные при визуальной интерпретации сигнала [1].

Одновременно развивается направление автоматизации обработки медицинских данных и интеграции интеллектуальных алгоритмов в клинические информационные системы. Такие решения позволяют ускорить анализ диагностических данных и повысить эффективность работы медицинского персонала [2]. Развитие технологий Big Data и методов анализа больших данных играет важную роль в персонализированной медицине, позволяя обрабатывать большие массивы медицинской информации и формировать индивидуальные стратегии лечения пациентов [3].

В связи с этим актуальной задачей является разработка систем автоматической интерпретации электрокардиограмм, которые могут выступать инструментом поддержки принятия решений врача.

**Основная часть.** Использование глубокого обучения в анализе кардиологических данных позволяет автоматически извлекать диагностически значимые признаки из сигналов ЭКГ и медицинских изображений [4]. Предлагаемая система предназначена для автоматического анализа сигналов электрокардиограммы и формирования диагностических предположений на основе методов глубокого обучения.

На вход системы поступает сырой сигнал ЭКГ. Встроенный модуль предобработки выполняет ресэмплирование и фильтрацию полосовым фильтром Баттерворта, обрабатывает дрифт базовой линии, выполняет сглаживание. После этого проводится проверка и коррекция полярности, обработка пропусков и плоских участков, нормализация и приведение длины. В конце вычисляются простые показатели качества записи. Конвейер возвращает как сам очищенный сигнал, так и словарь с оценками его качества.

Основу системы составляет гибридная нейросетевая архитектура, объединяющая сверточные нейронные сети и механизм самовнимания трансформера. Сверточные слои используются для извлечения локальных морфологических признаков сигнала, включая форму комплексов и сегментов электрокардиограммы. Трансформерный блок анализирует долгосрочные временные зависимости между различными участками сигнала.

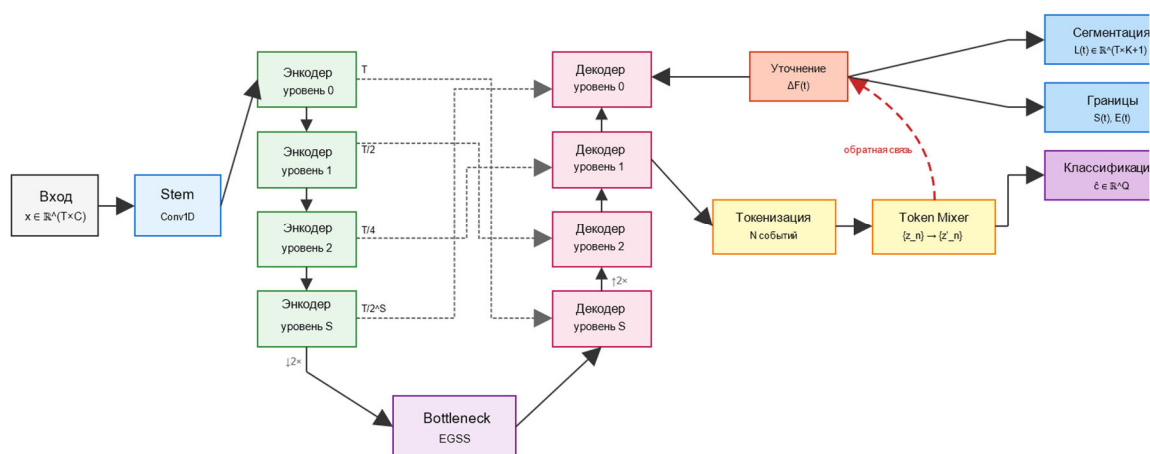


Рисунок 1 – Архитектура нейросетевой системы интерпретации ЭКГ

Современные исследования показывают, что алгоритмы искусственного интеллекта способны выявлять патологические изменения сердечной деятельности, которые могут быть трудно обнаружимы при традиционном визуальном анализе сигналов [5]. Для повышения интерпретируемости решений реализован механизм визуализации влияния различных участков сигнала на итоговое предсказание модели.

На основе анализа внутренних представлений нейросети формируется карта значимости, показывающая участки сигнала, оказавшие наибольшее влияние на диагностическое решение.

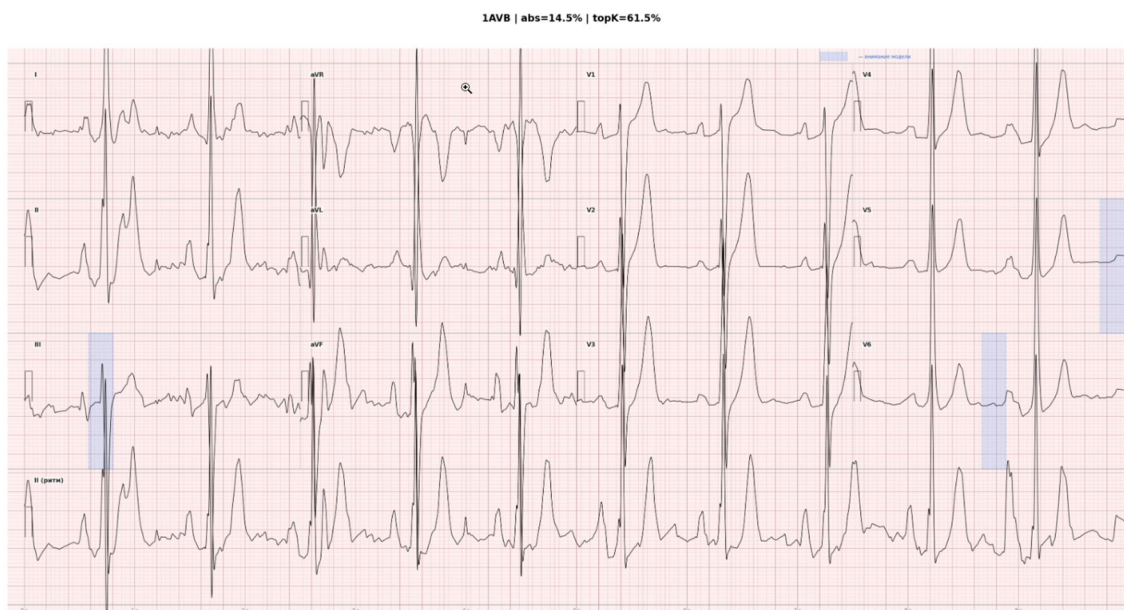


Рисунок 2 – Визуализация значимых участков сигнала ЭКГ

Такая визуализация позволяет врачу сопоставить вывод модели с морфологическими особенностями сигнала и оценить обоснованность полученного результата.

Для оценки эффективности системы была проведена серия экспериментов по диагностической интерпретации электрокардиограмм.

Качество модели оценивалось с использованием метрики top-k, при которой предсказание считается корректным, если правильный диагноз присутствует среди нескольких наиболее вероятных результатов.

Результаты экспериментов показали точность около 90 % по метрике top-3, когда система выводит три наиболее вероятных диагноза.

Дополнительно была проведена экспертная проверка результатов работы модели. Врач-кардиолог оценил корректность диагностических выводов системы. В ходе анализа было установлено, что приблизительно в 80 % случаев один из предложенных системой диагнозов совпадал с клиническим заключением специалиста.

**Заключение.** Разработанная система демонстрирует возможность эффективного применения методов глубокого обучения для автоматической интерпретации электрокардиограмм. Использование гибридной архитектуры CNN и трансформера позволяет учитывать как локальные морфологические признаки сигнала, так и глобальные временные зависимости.

Интеграция механизма визуализации объяснимости повышает прозрачность работы модели и облегчает взаимодействие врача с системой. Реализация локального веб-шлюза позволяет развернуть систему в инфраструктуре медицинского учреждения без передачи медицинских данных во внешние сервисы.

Предложенный подход может использоваться как основа для создания систем поддержки принятия решений в кардиологии.

### Список литературы

1. Применение искусственного интеллекта в кардиологии и перспективы его дальнейшего внедрения = *Application of artificial intelligence in cardiology and prospects for its implementation* / Н. А. Ларченко, Е. А. Курлюк, М. В. Давыдов, Е. К. Курлянская // *Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции*, Минск, 5–6 декабря 2024 г. – 2024. – С. 12–16 (дата обращения: 05.03.2025).
2. Автоматизация обработки медицинских данных с использованием компьютерного зрения: подходы и перспективы внедрения в кардиологии = *Application of artificial intelligence in cardiology and prospects for its implementation* / Е. А. Курлюк, Н. А. Ларченко, М. В. Давыдов, Е. К. Курлянская // *Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции*, Минск, 5–6 декабря 2024 г. – 2024. – С. 254–259 (дата обращения: 05.03.2025).
3. Ларченко Н.А., Андриалович И.В. BIG DATA и Advanced Analytics в персонализированной медицине // *Десятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня»*, Минск, Республика Беларусь. – 2024. – С.181–186 (дата обращения: 05.03.2025).
4. Deep echocardiography: data-efficient supervised and semi-supervised deep learning towards automated diagnosis of cardiac disease / Madani, A., Ong, J.R., Tibrewal, A. et al. // *Digital Med.* – 2018. – Vol. 1, N 59. – Pp. 1-11.
5. Artificial intelligence as an emerging tool for cardiologists / Ledziński, L., Grześk, G. // *Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Biomedicines*, Basel, Switzerland. – 1–31 March 2023.

UDC 004.89–93:616.12-07

## NEURAL NETWORK ECG INTERPRETATION SYSTEM WITH ON-PREM WEB GATEWAY

Larchenko N.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Davydov M.V. – Cand. of Sci., associate professor, first vice-chancellor*

**Annotation.** A system for automatic interpretation of electrocardiograms based on deep learning methods has been developed. The system analyzes raw ECG signals with built-in preprocessing and generates diagnostic assumptions for a set of cardiac pathologies. The model architecture allows for effective extraction of morphological signal features and consideration of long-term temporal dependencies. The result of the algorithm is a ranked list of the most likely diagnoses with probability estimates. To improve interpretability, the influence of different signal segments on the model's decision is visualized. The system is deployed within the infrastructure of a medical institution and provides access to functionality through a local web gateway.

**Keywords:** ECG, deep learning, automatic interpretation, cardiac pathologies, interpretability