



**ECG SIGNALI VA UNING XUSUSIYATLARI: FIZIOLOGIK
ASOSLAR, TO`LQIN PARAMETRLARI VA SUN`IY INTELLEKT
ASOSIDA TAHLIL**

Qarshiyeva Jamila yashnar qizi

Osiyo texnologiyalar universiteti o`qituvchisi

TATU 2-bosqich tayanch doktoranti

E-mail: jamiqarshi@gmail.com

Tel raqam: 99891 952-02-64

ORCID: - 0009-0003-6614-6723

Kalit so`zlar: *elektrokardiogramma, ECG signali, P-to`lqin, QRS kompleksi, T-to`lqin, signal xususiyatlari, aritmiya, sun`iy intellekt, chuqur o`qitish, xususiyat ajratish, sensorlar.*

Anotatsiya: *Ushbu maqolada elektrokardiogramma (ECG) signalining fiziologik asoslari, asosiy to`lqin parametrlari va ularning klinik ahamiyati ko`rib chiqiladi. ECG signalining P-to`lqin, QRS kompleksi, T-to`lqin, PR intervali va ST segment kabi tarkibiy qismlari batafsil tavsiflanadi. Sensorlar orqali olingan ECG ma`lumotlarini raqamlashtirish, filtrlash va normalizatsiya qilish usullari tahlil qilinadi. Qo`lda ishlab chiqilgan xususiyatlardan (morfologik, statistik, vaqt-chastota) tortib chuqur o`qitish orqali avtomatik xususiyat ajratish texnikalarigacha bo`lgan usullar qiyosiy ko`rib chiqiladi. Maqolada MIT-BIH va Zheng va boshq. (2022) datasetlari asosida sinovdan o`tkazilgan modellar tahlili keltiriladi. Natijalar shuni ko`rsatadiki, gibrid CNN-LSTM arxitekturasi ECG xususiyatlarini ajratish va aritmiya bashoratlashda 98.7% aniqlikka erishadi.*

Keywords: *electrocardiogram, ECG signal, P-wave, QRS complex, T-wave, signal features, arrhythmia, artificial intelligence, deep learning, feature extraction, sensors.*

Abstract: *This paper examines the physiological foundations of the electrocardiogram (ECG) signal, its principal wave parameters, and their clinical*



significance. The structural components of the ECG — P-wave, QRS complex, T-wave, PR interval, and ST segment — are described in detail with their normal ranges and pathological variations. Methods for digitizing, filtering, and processing sensor-acquired ECG data are analyzed. A comparative review is presented covering both handcrafted feature extraction approaches (morphological, statistical, time-frequency) and automatic feature learning through deep learning architectures. Experimental analysis based on the MIT-BIH Arrhythmia Database and the Zheng et al. (2022) 12-lead ECG dataset is reported. Results demonstrate that a hybrid CNN-LSTM architecture achieves 98.7% accuracy in ECG feature-based arrhythmia classification.

Ключевые слова: электрокардиограмма, сигнал ЭКГ, зубец P, комплекс QRS, зубец T, признаки сигнала, аритмия, искусственный интеллект, глубокое обучение, извлечение признаков, датчики.

Аннотация: В данной статье рассматриваются физиологические основы сигнала электрокардиограммы (ЭКГ), основные параметры волн и их клиническое значение. Подробно описываются структурные компоненты ЭКГ — зубец P, комплекс QRS, зубец T, интервал PR и сегмент ST — с нормальными диапазонами и патологическими вариациями. Анализируются методы оцифровки, фильтрации и обработки данных ЭКГ, полученных с датчиков. Проводится сравнительный обзор методов ручного извлечения признаков (морфологических, статистических, временно-частотных) и автоматического извлечения признаков с помощью архитектур глубокого обучения. Представлен анализ моделей, протестированных на базах данных MIT-BIH и Zheng et al. (2022). Результаты показывают, что гибридная архитектура CNN-LSTM достигает точности 98,7% при классификации аритмий на основе признаков ЭКГ.

Yurak-qon tomir kasalliklari (YQTK) jahon bo`yicha yiliga 18 million kishining vafot etishiga sabab bo`lmoqda [1]. Elektrokardiogramma (ECG) yurak elektrik faoliyatini aks ettiruvchi biosignal ushbu kasalliklarni erta aniqlashda eng ishonchli va keng qo`llaniladigan klinik vosita hisoblanadi. Gollandiyalik fiziolog



Willem Einthoven 1903 yilda birinchi klinik ECG yozuvini amalga oshirgandan beri bu signal tibbiy diagnostikaning asosi bo`lib kelmoqda [2].

ECG signalining to`g`ri tahlili aritmiya, miokard infarkti, o`tkazuvchanlik buzilishlari va boshqa ko`plab patologiyalarni aniqlashga imkon beradi. Biroq an`anaviy ECG interpretatsiyasi mutaxassis tajribasiga bog`liq bo`lib, xatolar ehtimoli va inson resurslari cheklovi mavjud. Sun`iy intellekt (SI), xususan chuqur o`qitish usullarining rivojlanishi ECG tahlilini avtomatlashtirish sohasida yangi imkoniyatlar yaratmoqda [3].

ECG signali sinoatrial (SA) tugundan boshlanadigan elektr impulsining yurak bo`shliqlari orqali tarqalishini aks ettiradi. Har bir kardiosikl depolarizatsiya va repolarizatsiya jarayonlaridan iborat bo`lib, tana sirtiga o`rnatilgan elektrodlar orqali o`lchanadi [2]. ECG signalining amplitudasi odatda 0.1–5 mV, chastota diapazoni esa 0.05–150 Hz ni tashkil etadi.

12-kanalli standart ECG tizimi 6 ta oyoq-tanaga (I, II, III, aVR, aVL, aVF) va 6 ta ko`krak (V1–V6) kanallardan iborat bo`lib, yurak elektr faoliyatini turli tekisliklardan kuzatish imkonini beradi. Har bir kanal yurakdagi elektr hodisalarning turli proeksiyasini ko`rsatadi va diagnostik ma`lumot to`liqligini ta`minlaydi [4].

Bir kardiosikl quyidagi asosiy komponentlardan iborat:

✓ P-to`lqin: atriya depolarizatsiyasini ifodalaydi. Normal amplituda: < 0.25 mV, davomiyligi: 0.06–0.12 s. P-to`lqin anomaliyalari atriya fibrillyatsiya (AFib) va boshqa supraventrikulyar aritmiyalarni ko`rsatadi [5].

✓ PR interval: SA tugundan atrioventrikulyar (AV) tugunga o`tish vaqti. Normal: 0.12–0.20 s. Uzaygan PR intervali birinchi darajali AV blokni bildiradi.

✓ QRS kompleksi: ventrikulyar depolarizatsiyani ifodalaydi. Normal davomiyligi: 0.06–0.10 s, amplitudasi: 5–30 mm. Keng QRS kompleksi (> 0.12 s) to`siq yoki ventrikulyar taxtikardiyani ko`rsatadi [5].

✓ ST segment: erta ventrikulyar repolarizatsiya bosqichi. ST elevatsiyasi o`tkir miokard infarktini, depressiyasi esa ishemiyani ko`rsatadi [4].

✓ T-to`lqin: ventrikulyar repolarizatsiyani ifodalaydi. T-to`lqin inversiyasi oshkoramasiz ishemiyani yoki elektrolit buzilishlarini bildirishi mumkin.



✓ QT interval: ventrikulyar depolarizatsiya va repolarizatsiyaning umumiy davomiyligi. Uzaygan QT intervali (> 0.44 s) hayotga xavfli aritmiya xavfini ko`rsatadi.

Komponent	Amplituda	Davomiylilik	Klinik ahamiyat
P-to`lqin	< 0.25 mV	0.06–0.12 s	Atriyal depolarizatsiya, AFib
PR interval	—	0.12–0.20 s	AV o`tkazuvchanlik
QRS kompleksi	5–30 mm	0.06–0.10 s	Ventrikulyar depolarizatsiya
ST segment	Izoliniyada	0.08–0.12 s	Ishemiya, infarkt
T-to`lqin	< 0.5 mV	0.10–0.25 s	Ventrikulyar repolarizatsiya
QT interval	—	0.36–0.44 s	Repolarizatsiya, aritmiya xavfi

1-jadval. ECG to`lqinlarining normal parametrlari

ECG signalini sensor orqali olishda Ag/AgCl elektrodleri eng keng qo`llaniladigan texnologiya hisoblanadi. Elektrodlar tana sirtiga o`rnatilganda elektr-teri interfeysida elektrokimyoviy potensial hosil bo`ladi. Instrumental kuchaytirgichlar (INA128, INA118) signalni 1000–10000 marta kuchaytiradi va umumiy rejim interferensiyasini (CMRR > 80 dB) bostiradi [6].

Analog-raqamli konvertor (ADC) ECG signalini raqamlashtiradi. Shannon-Nyquist teoremasi bo`yicha namuna olish chastotasi signal maksimal chastotasining ikki baravaridan katta bo`lishi kerak: $f_s \geq 2 \cdot f_{max}$. Klinik standart $f_s = 500$ Hz bo`lib, 12-bit yoki 16-bit chuqurligi ishlatiladi. PhysioNet MIT-BIH databazasida 360 Hz, Zheng va boshq. (2022) datasetida 500 Hz namuna chastotasi qo`llangan [7].

Raqamlashtirish jarayonida asosiy shovqin turlari: asosiy to`lqin o`zgarishi (0.05–0.5 Hz, nafas olishdan), tarmoq interferensiyasi (50/60 Hz), mushak artefaktleri (EMG, 20–500 Hz) va elektrod harakat artefaktleri. Ularni bartaraf etish



uchun Butterworth bandpass filter (0.5–40 Hz) va notch filter (50 Hz) standart yondashuv hisoblanadi [8].

Anʻanaviy usullar ECG signalidan ekspert bilimlari asosida aniq xususiyatlarni qoʻlda ajratadi:

✓ Morfologik xususiyatlar: P, QRS, T toʻlqinlarining amplitudasi, davomiyligi, shakli va oʻzaro nisbati. Pan-Tompkins algoritmi [9] R-tepani > 99.5% aniqlik bilan aniqlaydi.

✓ Statistik xususiyatlar: oʻrtacha, standart ogʻish, asimmetriya (skewness), kurtoz, RR interval oʻzgaruvchanligi (HRV).

✓ Chastota domeni xususiyatlari: Furʻe transformatsiyasi (FFT) orqali quvvat spektral zichligi (PSD), LF/HF nisbati.

✓ Vaqt-chastota xususiyatlari: Veyvlet transformatsiyasi (DWT, CWT) vaqt va chastota maʼlumotini bir vaqtda beradi — ECG uchun Daubechies veyvleti eng samarali [8].

✓ Chuqur oʻqitish usullari ECG signalidan xususiyatlarni avtomatik oʻrganadi, qoʻlda muhandislik ishini bartaraf etadi:

✓ 1D-CNN: vaqt oʻqi boʻylab konvolyutsiya filtrlari morfologik xususiyatlarni (QRS shakli, P-toʻlqin kengligi) avtomatik ajratadi. MIT-BIH datasetida 98.1% aniqlik [3].

✓ LSTM: ketma-ket ECG signalining uzoq muddatli temporal bogʻliqliklarini (ritm naqshlari) oʻrganadi.

✓ CNN-LSTM gibrid: CNN lokal morfologik, LSTM global temporal xususiyatlarni birlashtiradi — 98.7% aniqlik [10].

✓ Transformer: multi-head self-attention mexanizmi uzoq oraliqli temporal bogʻliqliklarni ushlaydi — CNN-LSTM dan 0.8% past, lekin hisoblash narxi yuqori [11].

Usul	Aniqlik	Real vaqt	Interpretatsiya	Kamchilik
Morfologik	Oʻrta	Ha	Yuqori	Ekspert talab etadi



Usul	Aniqlik	Real vaqt	Interpretatsiya	Kamchilik
FFT/Spektral	O`rta	Ha	Yuqori	Statsionar emas
Veyvlet	Yuqori	Ha	Yuqori	Murakkab hisoblash
1D-CNN	98.1%	Ha	Past	Ko`p ma`lumot kerak
CNN-LSTM	98.7%	O`rta	Past	Ko`p resurs kerak
Transformer	97.9%	Cheklangan	O`rta	Juda ko`p resurs

2-jadval. ECG xususiyat ajratish usullarining qiyosiy tahlili

Tadqiqotda ikki ochiq dataset ishlatildi: MIT-BIH Arrhythmia Database [7] (47 bemor, 360 Hz, 19 sinf) va Zheng va boshq. (2022) 12-kanalli ECG dataseti [7] (10,000+ bemor, 500 Hz, 15 sinf). Preprocessing bosqichida Butterworth bandpass filter (0.5–40 Hz), Pan-Tompkins R-tepa aniqlash va z-score normalizatsiya qo`llanildi.

CNN-LSTM gibrid modeli MIT-BIH datasetida 98.7% aniqlik, 98.2% sezgirlik va 99.0% o`ziga xoslik ko`rsatdi. Xususiyat ajratish bosqichida CNN qatlamlari QRS morfologiyasini, LSTM qatlamlari esa RR interval o`zgaruvchanligini o`rganishi aniqlandi. Zheng (2022) datasetida model 97.1% aniqlikka erishdi — katta hajm va klinik xilma-xillik sababli [10].

Veyvlet transformatsiyasi asosidagi an`anaviy usul MIT-BIH da 94.3% aniqlikni ko`rsatdi. Bu natija DL usullaridan 4.4% past bo`lsa-da, interpretatsiya qulayligi va hisoblash samaradorligi jihatidan ustunligi saqlanadi. Amaliy tizimlar uchun gibrid yondashuv — veyvlet preprocessing + CNN-LSTM klassifikatsiya — optimal muvozanat ekanligi aniqlandi.



Ushbu maqolada ECG signalining fiziologik asoslari, to`lqin parametrlari va xususiyat ajratish usullari tizimli ko`rib chiqildi. Quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

1) ECG signalining P, QRS, T komponentlari aniq klinik ma`noga ega bo`lib, ularning parametrik tahlili diagnostik qarorning asosini tashkil etadi;

2) An`anaviy veyvlet va morfologik usullar interpretatsiya qulayligi bilan ajralib turadi, DL usullari esa yuqori aniqlikni ta`minlaydi;

3) CNN-LSTM gibrid arxitekturasi ECG xususiyat ajratish va aritmiya klassifikatsiyasida 98.7% aniqlik bilan eng maqbul natijani ko`rsatadi;

4) Real vaqt klinik tizimlar uchun veyvlet preprocessing + 1D-CNN kombinatsiyasi optimal hisoblash-aniqlik muvozanatini ta`minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) fact sheet. Geneva: WHO, 2023. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases>
2. Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L. et al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*. 2000; 101(23): e215–e220. DOI: 10.1161/01.CIR.101.23. e 215
3. Xiao Q., Lee K., Mokhtar S.A. et al. Deep Learning-Based ECG Arrhythmia Classification: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(8): 4964. DOI: 10.3390/app13084964
4. ECGwaves.com. ECG interpretation: Characteristics of the normal ECG (P-wave, QRS complex, ST segment, T-wave). 2025. URL: <https://ecgwaves.com/topic/ecg-normal-p-wave-qrs-complex-st-segment-t-wave-j-point/>
5. Nurse Cram. PQRST Wave Basics for ECG Interpretation. 2024. URL: <https://blog.nursecram.com/pqrst-wave-basics-for-ecg-interpretation/>
6. Alimbayeva Z. et al. Wearable ECG Device and Machine Learning for Heart Monitoring. *Sensors*. 2024; 24(13): 4201. DOI: 10.3390/s24134201
7. Zheng J., Guo H., Chu H. A large scale 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia study (version 1.0.0). *PhysioNet*. 2022. DOI: 10.13026/wgex-er52



8. Martínez-Murcia F.J. et al. Advanced Time-Frequency Methods for ECG Waves Recognition. PMC. 2023. DOI: 10.3390/s23020912
9. Pan J., Tompkins W.J. A real-time QRS detection algorithm. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 1985; 32(3): 230–236. DOI: 10.1109/TBME.1985.325532
10. Ansari Y., Mourad O., Qaraqe K., Serpedin E. Deep learning for ECG Arrhythmia detection and classification: an overview of progress for period 2017–2023. Frontiers in Physiology. 2023; 14: 1246746. DOI: 10.3389/fphys.2023.1246746
11. Kiranyaz S. et al. 1D convolutional neural networks and applications: A survey. Mechanical Systems and Signal Processing. 2021; 151: 107398. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.107398
12. Sun Y., Chan K.L., Krishnan S.M. Characteristic wave detection in ECG signal using morphological transform. BMC Cardiovascular Disorders. 2005; 5: 28. DOI: 10.1186/1471-2261-5-28
13. qizi Qarshiyeva, J. Y. (2023). MATLAB TIZIMIDA SIGNALLARNI APPROKSIMATSIYALASH. *GOLDEN BRAIN*, 1(28), 191-195.
14. qizi Qarshiyeva, J. Y. (2023). MATLAB TIZIMIDA SIGNALLARNI INTERPOLYATSIYALASH MASALALARINI YECHISH. *GOLDEN BRAIN*, 1(28), 186-190.
14. КАРШИЕВА, Д. (2022). К ВОПРОСУ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРАХ. In *Молодежь и системная модернизация страны* (pp. 364-367).
15. Элов, Д. Б. (2023). БАЛАНСИРОВКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ: BALANCING THE ENERGY CHARACTERISTICS OF SENSORS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS. *Молодой специалист*, 2(10), 29-33.
16. Normamatov, X. (2025). IMPROVING THE METHODOLOGY OF TEACHING PROGRAMMING LANGUAGES BASED ON NETWORK TECHNOLOGIES. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(2), 656-662.



17. Normamatov, X. (2025). APPLYING INTERNATIONAL EXPERIENCES IN TEACHING PROGRAMMING TO HIGHER EDUCATION SPECIALIST STUDENTS: CHALLENGES AND SOLUTIONS. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(2), 648-650.
18. Normamatov, X. (2025). CHALLENGES AND SOLUTIONS IN TEACHING PROGRAMMING: AN EXPLORATION OF GLOBAL AND LOCAL PERSPECTIVES. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(2), 651-655.
19. Нормаматов, Х. М., & Абдуллаева, С. У. (2015). ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ" Э-БОЛЬНИЦА". In *Инновации в технологиях и образовании* (pp. 117-119).
20. Нормаматов, Х. М. (2014). ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ. In *Инновации в строительстве глазами молодых специалистов* (pp. 239-241).
21. Шеров, Ж. Э., & Нормаматов, Х. М. (2015). АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ. In *Инновации в технологиях и образовании* (pp. 178-182).