

І.В. Баклан, О.К.Очеретяний, В.В. Григорович

## **СИСТЕМА АНАЛІЗУ РИТМІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ ТА ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ**

*Анотація. У статті розглядається програмне забезпечення для аналізу і виявлення серцево-судинних захворювань у їх початковий період, щоб забезпечити просте, швидке та набагато діюче лікування пацієнта, а також забезпечити своєчасний контроль хронічних хвороб, що у свою чергу має покращити ступінь охорони здоров'я та зменшити витрати на непотрібні заходи для нього.*

*Ключові слова: ЕКГ, RR-інтервали, аномалія, скатерограма, кластеризація, метод головних компонент, k-means.*

**Постановка проблеми.** Дуже великою за масштабами проблемою, з приводу питання людського здоров'я, є невчасне визначення порушень, тобто виявлення їх не на початкових періодах, при яких достатньо всього лиш звернутися до лікаря та використати набагато простіший вид лікування хвороби аби уникнути проблеми зі станом здоров'ям, а в той період коли захворювання вже почало впливати на весь організм та на всю систему людських органів.

При вивченні медичних інформаційних систем були розглянуті консультативні діагностичні системи (КДС), котрі були розроблені та призначені для діагностування ненормальних, або патологічних, станів. При вивченні інформації про такі системи стало зрозуміло що в них прийнято розділяти такі основні частини: база даних (БД) і база знань (БЗ); механізм для логічного висновку (МЛВ); інтерфейс користувача. Також МЛВ прийнято розділяти за способом реалізації на 1) експертні КДС, 2) імовірнісні КДС. В ЕС прийнято реалізовувати логіку прийняття рішення як досвідченим лікарем. ЕС належать до класу систем «штучного інте-

лекту». Такі підходи як формальна і неформальна (нейромережева) логіка можуть бути використані для їх побудови.

Перераховані до цього вище знання мають зберігатися у базі знань системи. Для побудови бази є необхідність проводити опитування між фахівцями, які є експертами в тій чи іншій конкретній предметній області, а потім впорядкувати, класифікувати, організувати та забезпечити ці знання показниками, аби трохи згодом була б можливість їх легко витягти з бази знань.

**Аналіз існуючих підході по темі дослідження.** У 1990 році Вільям Бакст з Каліфорнійського університету в Сан-Дієго використовував нейронну мережу – багат шаровий перцептрон – для розпізнавання інфаркту міокарда у пацієнтів, що надходять в приймальний спокій з гострим болем у грудях. Також ще однією ціллю може бути покращення якості діагностики. Доволі сумна статистика має такий результат: лікар в змозі правильно діагностувати інфаркт міокарда у лише 80% хворих і може випадково поставити такий діагноз у 25% випадків. Такий відсоток помилок є завеликим. Історія вживання багатоманітних методів оброблення великої кількості даних для покращення якості діагностування нараховує десятиліття, проте кращий з них зміг допомогти зменшити число інцидентів гіпердіагностики всього лише на 3%.

Бакст використовував всього лише 20 параметрів, серед них були такі параметри вік, стать, локалізація болю, реакція на препарати, симптоми, такі як нудота і блювота, потіння, непритомність, частота дихання, пришвидшене серцебиття, попередні діагнози такі як інфаркти, гіпертонія, діабет, здуття шийної вени, ряд особливостей ЕКГ та наявність вагомих ішемічних змін.

У медицині віднаходить вживання і інша дуже важлива відзнака нейромереж – їх здібність передбачати непостійні послідовності. До цього вже зазначалося, що експертні системи досягнули успіху в аналізі ЕКГ. Нейромережі тут теж несуть велику користь. Кі Чженху, Ю Хенуві і Вілліс Томпкінс з університету штату Вісконсін розробили та підготували нейромережеву систему фільтрів для електрокардіограм, які дозволяють пригнітати нелінійний і нестационарний шум набагато краще та істотні-

ше, ніж методи, які використовувалися до цього. Справа в тому, що нейромережа добре завбачала шум за його вагомістю у попередні моменти часу та періоди. А те, що нейромережі мають дуже велику ефективність для передбачення несталих послідовностей, та аргументовано показали результати і наслідки змагання передбачуваних програм, які проводив університет у Санта Фе – нейромережі змогли зайняти перше місце і домінувати серед найкращих методів.

Перераховані вище технології ще далеко не вичерпують увесь діапазон застосування таких ЕС. Діагностування болю в зубній долі, прогнозування генних ускладнень, хвороби слухового апарату, раптова смертність новонароджених – ось далеко не повний спектр вдалого та результативного застосування ЕС у сучасній медицині.

**Мета дослідження.** Метою дослідження було покращення якості постановки діагнозів пацієнтам з серцево-судинними захворюваннями за рахунок розробки онлайн системи інтелектуального аналізу ритмів електрокардіограм для виявлення аномалій у роботі серцево-судинної системи.

В той час система має відповідати таким критеріям: гнучкість, швидкість побудови та функціональна прозорість.

**Основна частина.** У сьогоденні у медицині стоїть потреба в інтелектуальному аналізі медичних даних. Сучасні лікарські моніторингові системи зобов'язані проводити централізований контроль становища пацієнтів. Моніторинг електрокардіограми (ЕКГ) пацієнтів є важким і не вирішеним завданням на даний момент.

Сигнал ЕКГ, зображений на рисунку 2.5 представляє собою часовий ряд, який є нестаціонарним та схильним до численних видів різноманітних перешкод.

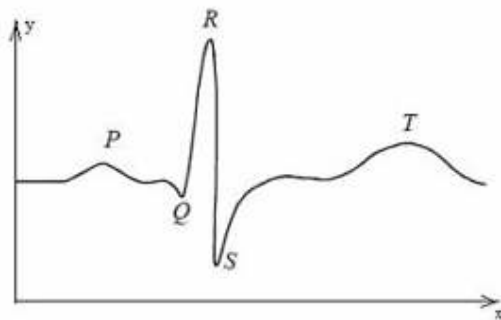


Рисунок 1 – Приклад ЕКГ: інтервали P, Q, R, S, T

Метод поверхневої реєстрації електрокардіограм. Найпоширенішим методом довготривалого реєстрування поверхневої ЕКГ є метод Холтера або холтерівське моніторування (ХМ). У медицині монітор Холтера (частіше просто Холтер) - це тип пристрою амбулаторної електрокардіографії, портативний прилад для моніторингу серця (моніторинг електричної активності серцево-судинної системи) протягом щонайменше 24 до 48 годин.

Коли запис ЕКГ-сигналу закінчено (як правило, через 24 або 48 годин), лікар повинен виконати аналіз сигналу. Оскільки для перегляду такого довгого сигналу вкрай потрібен час, в програмному забезпеченні кожного пристрою Холтера є інтегрований процес автоматичного аналізу, який автоматично визначає різного роду серцебиття, ритми тощо. Однак успіх автоматичного аналізу полягає в дуже тісно пов'язаний з якістю сигналу. Сама якість головним чином залежить від прикріплення електродів до тіла пацієнта. Якщо вони неправильно прикріплені, електромагнітні порушення можуть вплинути на сигнал ЕКГ, що призведе до дуже шумних записів. Якщо пацієнт швидко рухається, викривлення буде ще більшим. Такий запис тоді дуже важко обробити. Крім приєднання та якості електродів, існують і інші фактори, що впливають на якість сигналу, такі як тремор м'язів, швидкість дискретизації та роздільна здатність оцифрованого сигналу (пристрої високої якості пропонують більшу частоту дискретизації).

Підсумковою частиною дослідження є фінальний протокол, завданням якого є подання лікарю-кардіологу максимально інформатив-

ного висновку, з обов'язковим відображенням тих параметрів ритму серця, що здатні вплинути на тактику лікування пацієнта, та прогнозів щодо одужання.

Завдання інтелектуального аналізу ритмів ЕКГ у моніторингових системах даних допомагає в обробці та завчасному виявленні аномалій у людей для діагностики проблем серцево-судинної системи. Для оцінки сегменту зубців ST і T була використано базу даних під назвою MIT-BIH Arrhythmia, яка часто використовується при виявленні випадків інфаркту міокарда та для ґрунтовних досліджень динаміки роботи серця.



Рисунок 2 – Приклад ЕКГ бази даних аритмії MIT-BIH

Вхідним файлом для аналізу бази даних аритмії MIT-BIH може бути файл .beat. Структура такого файлу значиться стандартною для медичних баз даних часових рядів.

Для реалізації інтелектуального аналізу таких часових рядів ми використовуємо медичний набір даних часових послідовностей електрокардіограм (ЕКГ) серцебиття.

Сигнали відповідають фігурам електрокардіограми (ЕКГ) серцевих розширень та скорочень для нормального випадку і випадків ураження різними видами захворювання серцево судинної системи. Ці сигнали

попередньо оброблялися і сегментувалися. Більшість медичних баз даних, використовують коди приміток. Коди показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Кодування серцевих ударів

Код	Опис
N	Звичайний удар
L	Білий блок у гільці лівого пучка
R	Розгалуження правого боку
A	Передчасний удар передсердя
J	Передчасний нодальний удар
V	Шлуночки скорочуються передчасно
r	Передчасне скорочення шлуночків R-на-T
F	Злиття шлуночків і нормального биття
i	Втеча з передсердя
/	Збивка в темпі
Q	Удар не класифікувався
?	Удар не прокласифікувався під час навчання
j	Перебіг удару
n	Надшлуночковий бічний потік

Діаграми розкиду або кореляційні ритмографії. Діаграма розкиду (також його називають розсіювачем, діаграмою розсіювання) - це тип графіку або математичної діаграми, що використовує декартові координати для відображення значень для типово двох змінних для набору даних. Сутність методу кореляційної ритмографії полягає в графічному відображенні послідовних пар кардіоінтервалів (попереднього і наступного) в двомірній координатній площині.

Діаграми розсіювання подібні до лінійних графіків тим, що вони використовують горизонтальну та вертикальну осі для побудови точок даних. Однак вони мають цілком конкретне призначення. Діаграми розсіювання показують, на яку зміну впливає інша. Зв'язок між двома змінними називається їх кореляцією.

Діаграми розсіювання зазвичай складаються з великого масиву даних. Чим ближче дані точки наближаються, коли будується пряма лінія, тим вище кореляція між двома змінними або тим сильніший зв'язок.

Якщо точки даних проводять пряму лінію, що йде від початку до високих значень X і Y, то тоді кажуть, що змінні мають позитивну кореляцію. Якщо лінія переходить від високого значення на осі y вниз до високого значення на осі x, змінні мають негативну кореляцію.

Ідеальній позитивній кореляції присвоюється значення 1. Досконалому негативному співвідношенню задається значення -1. Якщо кореляції абсолютно немає, наведене значення дорівнює 0. Чим ближче число до 1 або -1, тим сильніша кореляція або сильніша зв'язок між змінними. Чим ближче число до 0, тим слабша кореляція. Тож щось, що, здається, співвідноситься у позитивному напрямку, може мати значення 0,67, тоді як щось із надзвичайно слабкою негативною кореляцією може мати значення -21. На рисунку 3 показані види кореляції скатерограмм.

Результати дослідження та ефективності методу представлені на схемі у таб. 2, у якій відображена схема перетворення вхідних даних від їх отримання до кінцевого результату інтелектуального аналізу.

Таблиця 2

Приклад проведеного дослідження

Пацієнт 1

N	Комп	Время	R-R мс	QRS	QR мс	RS мс	скор.	ампл.Т	сиг/шум
1	A	87	680	8	----	1006	527	-1025	173
2	N	207	938	86	1855	2354	1465	----	52
3	N	299	719	94	1826	2324	1504	88	50
4	N	392	727	94	1836	2314	1436	117	52
5	N	484	719	94	1709	2188	1445	59	52
6	N	578	734	86	1748	2256	1484	137	53
7	N	670	719	86	1797	2236	1406	146	53
8	N	763	727	94	1895	2354	1523	117	52
9	N	856	727	86	1846	2324	1436	156	51
10	N	949	727	86	1777	2295	1406	127	50
11	N	1041	719	94	1748	2227	1484	127	52
12	N	1134	727	94	1768	2217	1406	137	54
13	N	1226	719	86	1650	2139	1367	-98	49
14	N	1319	727	94	1895	2324	1484	107	50
15	N	1412	727	94	1816	2275	1426	166	50
16	N	1505	727	86	1748	2217	1406	146	53
17	N	1598	727	102	1807	2334	1494	78	51
18	N	1691	727	117	1875	2451	1533	----	58
19	N	1784	727	86	1836	2451	1504	98	66
20	N	1877	727	86	1943	2383	1543	127	50

Пацієнт 2

N	Комп	Время	R-R мс	QRS	QR мс	RS мс	скор.	ампл.Т	сиг/шум
1	A	87	680	8	----	1006	527	-1025	173
2	N	207	938	86	1855	2354	1465	----	52
3	N	299	719	94	1826	2324	1504	88	50
4	N	392	727	94	1836	2314	1436	117	52
5	N	484	719	94	1709	2188	1445	59	52
6	N	578	734	86	1748	2256	1484	137	53
7	N	670	719	86	1797	2236	1406	146	53
8	N	763	727	94	1895	2354	1523	117	52
9	N	856	727	86	1846	2324	1436	156	51
10	N	949	727	86	1777	2295	1406	127	50
11	N	1041	719	94	1748	2227	1484	127	52
12	N	1134	727	94	1768	2217	1406	137	54
13	N	1226	719	86	1650	2139	1367	-98	49
14	N	1319	727	94	1895	2324	1484	107	50
15	N	1412	727	94	1816	2275	1426	166	50
16	N	1505	727	86	1748	2217	1406	146	53
17	N	1598	727	102	1807	2334	1494	78	51
18	N	1691	727	117	1875	2451	1533	----	58
19	N	1784	727	86	1836	2451	1504	98	66
20	N	1877	727	86	1943	2383	1543	127	50

Рисунок 3 – Зразки перших 20-ти рядків даних ЕКГ пацієнта отриманих з системи ДіаКард

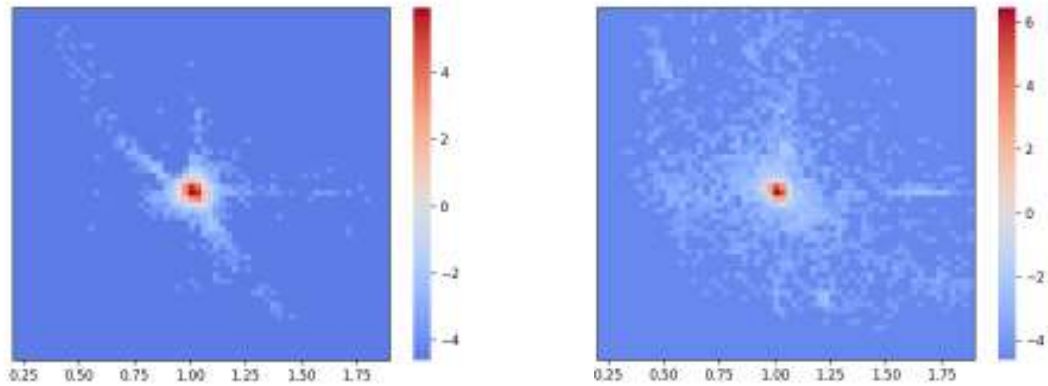


Рисунок 4 – Зразки теплової карти скатерограми RR-інтервалів для логнормалізованих даних

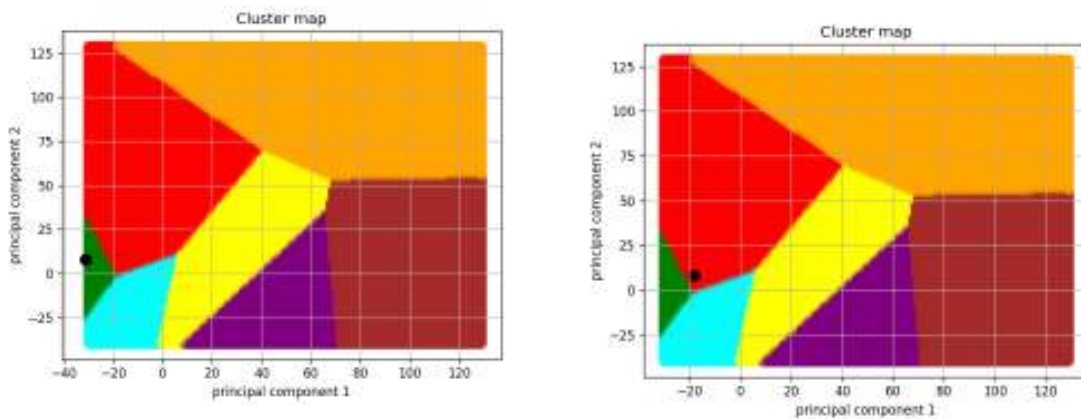


Рисунок 5 – Зразки положення точки стану пацієнта на карті зон ризику у просторі перших двох головних компонент

**Висновки.** В процесі виконання дослідження було реалізовано такі завдання [1,2] :

- проведений аналіз існуючих методів та підходів до кластеризації часових рядів;
- обрано оптимальний алгоритм кластеризації даних у вигляді часових рядів;
- спроектована власна система виявлення аномалій у ритмах ЕКГ;
- проведений аналіз методів та підходів згортання даних;
- розроблене власне програмне забезпечення аналізу ритмів ЕКГ та спеціалізованої бази даних до неї;
- проведені експерименти на основі тестових та реальних даних.



## ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, І.В. Баклан, А.К. Очеретяний // Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019) – м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. – С. 42-44.
2. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, В.І. Баклан, А.К. Очеретяний // Збірник статей LIV Міжнародна конференція "Розвиток науки в XXI столітті", 15 листопада 2019р. - Харків. Ч1. - С. 65-74.

## REFERENCES

1. Grigorovich V.V. Intelektualniy analiz anomalny ritmiv elektroka-rdlogram z vikoristannyam spetsializovanih baz znan / V.V. Grigorovich, I.V. Baklan, A.K. Ocheretyaniy // Materiali III vseukraYinskoYi naukovo-praktichnoYi konferentsiyi molodih vchenih ta studentiv «Info-rmatslynI sistemi ta tehnologiyi upravlnnya» (ISTU-2019) – m. KiYiv.: NTUU «KPI Im. Igorya Sikorskogo», 20-22 listopada 2019 r. – S. 42-44.
2. Grigorovich V.V. Intelektualniy analiz anomalny ritmiv elektroka-rdlogram z vikoristannyam spetsializovanih baz znan / V.V. Grigorovich, V.I. Baklan, A.K. Ocheretyaniy // Zblrnik statey LIV Mizhnarod-na konferentsiya "Rozvitok nauki v XXI stolitti", 15 listopada 2019r. - Harkiv. Ch1. - S. 65-74.

Received 02.03.2020.

Accepted 05.03.2020.

### **Система анализа ритмов электрокардиограмм и обнаружения аномалий**

*В статье рассматривается программное обеспечение для анализа и выявления сердечно-сосудистых заболеваний в их начальный период, чтобы обеспечить простое, быстрое и гораздо действующее лечения пациента, а также обеспечить своевременный контроль хронических болезней, в свою очередь должно улучшить степень здравоохранения и уменьшить расходы на ненужные мероприятия для него.*

### **Analysis system of electrocardiography rhythms and anomaly detection**

*Today, there is a need in medicine for the intellectual analysis of medical data. Modern medical monitoring systems are obliged to carry out centralized monitoring of patients. Electrocardiogram (ECG) monitoring of patients is a difficult and unsolved task at the moment. Researches in this field are conducted by scientists from different universities and countries. William Buxt of the University of California, San Diego, used a neural network - a multilayer perceptron - to detect myocardial infarction in patients who are receiving rest in acute chest pain. The fact is that the neural network has been well aware of the noise of its weight in previous times and periods. And the fact that neural networks are very effective in predicting missing sequences, and reasonably showed the results and consequences of competing predictable programs conducted by the University of Santa Fe - neural networks were able to take first place and dominate among the best methods.*

*The above technologies do not exhaust the full range of application of such ECs. The purpose of the study was to improve the quality of diagnosis for patients with cardiovascular disease by developing an online system for the analysis of electrocardiogram rhythms to detect abnormalities in the cardiovascular system.*

*A typical ECG signal is a time series that is non-stationary and prone to numerous types of interference. The task of intelligent analysis of ECG rhythms in monitoring data systems helps in the processing and early detection of anomalies in humans for the diagnosis of cardiovascular problems. A database called MIT-BIH Arrhythmia was used to evaluate the ST and T tooth segment, which is often used in the detection of cases of myocardial infarction and for thorough studies of the dynamics of the heart. An integrated clustering system was developed for the analysis.*

*The following tasks were accomplished in the course of the research: analysis of existing methods and approaches to clustering of time series; the optimal algorithm for clustering data in the form of time series is selected; designed own system for detecting anomalies in ECG rhythms; analysis of data collapsing methods and approaches; developed own software for analysis of ECG rhythms and specialized database for it; experiments were conducted based on test and real data.*

**Баклан Игорь Всеволодович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**Очеретяний Александр Константинович** – аспірант кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**Григорович Віталій Віталієвич** – магістр кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**Баклан Ігор Всеволодович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**Очеретяний Олександр Костянтинівич** – аспірант кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Григорович Віталій Віталійович** – магістр кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Baklan Igor** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”.

**Ocheretianyi Oleksandr** – PhD Student of Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”.

**Grigorovych Vitaliy** - Master of Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”.