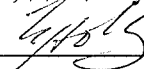


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 616.12

**«Допущено до захисту»**

Завідувач кафедри  
комп'ютерних технологій у  
медицині та телекомунікаціях  
к.т.н., доц. Чухов В.В.

  
« 19 » 12 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

На тему «Дослідження використання комп'ютерного зору для автоматичного аналізу зображень електрокардіограм (ЕКГ) з метою виявлення аритмій або ішемічних змін»

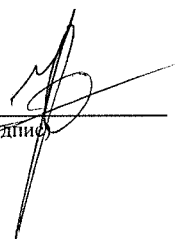
за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»  
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи  
студент 2 курсу, гр.БІм-22-1

  
19.12.2023  
(дата, підпис)

Борисевич О.Р.

Керівник роботи  
к.т.н., доц.

  
19.12.2023  
(дата, підпис)

Коломієць Р.О.

Житомир  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

## **Пояснювальна записка**

**до кваліфікаційної магістерської роботи**

На тему «Дослідження використання комп'ютерного зору для автоматичного аналізу зображень електрокардіограм (ЕКГ) з метою виявлення аритмій або ішемічних змін»

Виконав: студент 2 курсу,  
групи БІМ-22-1 спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»\_\_\_\_\_

Борисевич О.Р.\_\_\_\_\_

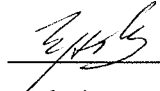
Керівник \_\_\_\_\_Коломієць Р.О.\_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_Нікітчук Т.М.\_\_\_\_\_

Житомир  
2023

**«Затверджено»**

Завідувач кафедри комп'ютерних  
технологій у медицині та  
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ  
«27» 10 2022 р.

## ***Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу***

Борисевич Олег Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження використання комп'ютерного зору для автоматичного аналізу зображень електрокардіограм (ЕКГ) з метою виявлення аритмій або ішемічних змін»

затверджено наказом по університету від «22» листопада 2023 р. № 680

2. Мета дослідження: «Підвищення ефективності алгоритму автоматичного виявлення ішемічної хвороби серця»

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.): програмний код, статистика використання комп'ютерного зору для аналізу ЕКГ, план покращення методики дослідження ЕКГ

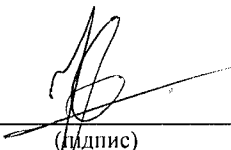
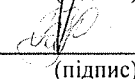
4. Основні задачі дослідження: «Вдосконалення процесу автоматичного аналізу електрокардіосигналів з метою зменшення спотворень корисної складової біосигналів»

5. Термін подання роботи до захисту грудень 2023 р.

6. Дата видачі завдання «15» грудня 2023 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв  
до виконання

  
(підпис)  
  
(підпис)

Коломієць Р.О.  
(прізвище, ініціали)  
Борисевич О.Р.  
(прізвище, ініціали)

## **Анотація**

Кваліфікаційна робота, представлена у формі пояснювальної записки, розглядає актуальне питання доклінічної стадії ішемічної хвороби серця. Об'єкт дослідження — рання ішемічна хвороба серця, а предмет — виявлення цього стану шляхом аналізу електрокардіограми та велоергометрії з врахуванням історії хвороби пацієнта.

Головна мета роботи — підвищення ефективності алгоритму автоматичного виявлення ішемічної хвороби серця через оптимізацію методів порівняння електрокардіосигналів. Виникає необхідність вдосконалення процесу автоматичного аналізу електрокардіосигналів з метою зменшення спотворень корисної складової біосигналів.

## **Abstract**

The presented thesis, in the form of an explanatory note, addresses the pertinent issue of the preclinical stage of ischemic heart disease. The object of the study is early ischemic heart disease, with the subject being the detection of this condition through the analysis of electrocardiograms and bicycle ergometry, taking into account the patient's medical history.

The primary goal of the work is to enhance the efficiency of the automatic detection algorithm for ischemic heart disease through the optimization of methods for comparing electrocardiographic signals. There is a need to refine the process of automatic analysis of electrocardiographic signals to reduce distortions in the useful component of biosignals.

## Реферат

Дипломна робота представлена у формі об'ємної пояснювальної записки, розгорнутої на 75 аркушах, де включено 5 таблиць та 14 ілюстрації. Ця робота присвячена дослідженню доклінічної стадії ішемічної хвороби серця і має на меті виявлення ранньої ішемічної хвороби серця. Основним об'єктом аналізу стали дані електрокардіограми узяті з урахуванням історії хвороби кожного пацієнта.

Мета даного дослідження – підвищення ефективності алгоритму автоматичного виявлення ішемічної хвороби серця. У зв'язку із зазначеною метою, виникає проблема необхідності підвищення ефективності автоматичного аналізу електрокардіосигналів при зменшенні спотворень корисної складової біосигналів. Щоб вирішити цю проблему, було використано методи математичного моделювання сигналів та застосування алгоритмів цифрового оброблення сигналів.

Досягненнями цієї роботи є розробка програмного забезпечення для автоматичного аналізу електрокардіосигналів. Програма була ретельно протестована на електрокардіограмах різних типів, що включає в себе різноманітні випадки електрокардіографічних аномалій та різні рівні інтенсивності ішемії.

Результати дослідження свідчать про високу точність та ефективність розробленого алгоритму. Проведене порівняльне дослідження різних методів автоматичного оцінювання кардіограм дало можливість визначити оптимальні підходи до виявлення ішемічної хвороби серця. Зокрема, система показала високу точність визначення ішемії в режимі реального часу та була пристосована до індивідуальних особливостей хвороби кожного пацієнта.

Отримані результати становлять вагому основу для модернізації існуючих алгоритмів автоматичного виявлення ранньої ішемії серця. Програма має потенціал значно покращити рівень діагностики та раннього виявлення ішемічної хвороби серця, що допоможе лікарям надавати ефективні діагнози.

# ЗМІСТ

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік умовних скорочень .....                                                                                        | 8  |
| Вступ .....                                                                                                            | 10 |
| РОЗДІЛ 1 .....                                                                                                         | 18 |
| АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                             | 18 |
| 1.1 Поширення ішемічної хвороби серця у населення .....                                                                | 18 |
| 1.2 Аналіз сучасних методів діагностики серцевих захворювань .....                                                     | 20 |
| 1.3 Електрокардіограф як засіб діагностування ішемічної хвороби серця.....                                             | 23 |
| 1.4 Застосування комп'ютерного зору у діагностиці серцевих аномалій.....                                               | 28 |
| 1.5 Розвиток та перспективи застосування штучного інтелекту в медичній діагностиці .....                               | 29 |
| 1.6 Виклики та перешкоди при впровадженні технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту в медичну практику ..... | 30 |
| 1.7 Вибір контурно-часової методики для аналізу зображення ЕКГ.....                                                    | 32 |
| 1.8 Обґрунтування вибору контурно-часової методики .....                                                               | 33 |
| 1.9 Плюси контурно-часової методики.....                                                                               | 34 |
| 1.10 Структура контурно-часової методики .....                                                                         | 35 |
| 1.11 Приклад використання контурно-часової методики.....                                                               | 35 |
| 1.12 Висновок.....                                                                                                     | 36 |
| РОЗДІЛ 2 .....                                                                                                         | 38 |
| РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ.....                                              | 38 |
| 2.1 Аналіз ЕКГ у часовій області.....                                                                                  | 39 |
| 2.2 Визначення контурів QRS комплексів .....                                                                           | 41 |
| 2.3 Виявлення аритмій .....                                                                                            | 42 |
| 2.4 Виявлення ішемічних змін .....                                                                                     | 43 |
| 2.5 Обчислення точності .....                                                                                          | 44 |
| 2.6 Розробка алгоритму програми на Python.....                                                                         | 45 |
| РОЗДІЛ 3 .....                                                                                                         | 47 |
| РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ ТА ЇЇ ТЕСТУВАННЯ .....                                                                   | 47 |
| 3.1 Код програми.....                                                                                                  | 47 |
| 3.2 Опис та обґрунтування використаних функцій .....                                                                   | 54 |
| 3.3 Подальша реалізація функцій та алгоритм .....                                                                      | 56 |
| 3.4 Використання програми, її тестування .....                                                                         | 58 |
| 3.5 Тестування програми з файлами формату .dat.....                                                                    | 63 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                          | 66 |

## Перелік умовних скорочень

|        |                                                                                                                                                                                       |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ЕКГ    | - Електрокардіограма. Це метод дослідження, який використовується для реєстрації електричної активності серця.                                                                        |
| ВОЗ    | - Всесвітня організація охорони здоров'я. Міжнародна установа, яка спеціалізується на питаннях глобального здоров'я.                                                                  |
| ІХС    | - Ішемічна хвороба серця. Хвороба, пов'язана із зменшенням кровопостачання до міокарда.                                                                                               |
| ЄСК    | - Європейська спільнота кардіологів. Міжнародна науково-практична організація, що об'єднує фахівців у галузі кардіології.                                                             |
| МРТ    | - Магнітно-резонансний томограф. Метод медичного обстеження, що використовує магнітні поля для отримання зображень внутрішніх органів.                                                |
| ПЕТ-КТ | - Позитронно-емісійний комп'ютерний томограф. Метод обстеження, який використовує радіоактивні речовини для отримання детальних зображень внутрішніх органів.                         |
| ДФН    | - Дозоване фізичне навантаження. Метод дослідження, що включає фізичну активність з метою вивчення реакції серця на навантаження.                                                     |
| НЕІ    | - Наукові дослідження, проведені Державним експертним Центром Міністерства охорони здоров'я України. Дослідження, які здійснюються для вивчення певних аспектів медицини чи здоров'я. |
| БК     | - Блок керування. Відповідає за визначення всіх режимів роботи кардіографа, включає псевдосенсорні кнопки, схеми управління та індикатори режимів роботи.                             |
| ПБП    | - Підсилювач біоелектричних потенціалів. Призначений для підсилення біоелектричних сигналів, отриманих від електрокардіографічних електродів.                                         |

|                     |                                                                                                                                         |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KB                  | - Кабель відведень. Переносить біоелектричні сигнали від електродів до підсилювача біоелектричних потенціалів.                          |
| ДПС                 | - Колекторний електродвигун постійного струму. Відповідає за рух механізму протягання стрічки в пристрої реєстрації.                    |
| СШ                  | - Імпульсний стабілізатор швидкості. Керує швидкістю обертання валу колекторного електродвигуна.                                        |
| РА                  | - Права рука, електрод для вимірювання серцевої активності.                                                                             |
| ЛА                  | - Ліва рука, електрод для вимірювання серцевої активності.                                                                              |
| RL                  | - Вище ліктя і нижче тулуба справа, електрод для вимірювання серцевої активності.                                                       |
| LL                  | - Вище ліктя і нижче тулуба зліва, електрод для вимірювання серцевої активності.                                                        |
| ГП                  | - Гальванометр-перетворювач. Використовується для перетворення біоелектричних сигналів у коливання пристрою запису.                     |
| AVF,<br>AVR,<br>AVL | - Ейнтховсові відведення та відведення по Гольдбергу: Специфічні точки, що фіксують електричні сигнали у певних частинах тіла пацієнта. |
| V1 – V6             | - Грудні відведення: Електроди, розташовані на грудях пацієнта для реєстрації електричних сигналів.                                     |
| QRS                 | - Комплекс QRS: Сукупність хвиль на ЕКГ, вказуючи на деполяризацію та роботу шлуночків серця.                                           |
| SSR                 | - Відношення амплітуди QRS-комплексу до тривалості міжпікового значення напруги: Метрика, що характеризує електричну активність серця.  |

## Вступ

**Актуальність дослідження.** За останні десятиліття питання здоров'я серця та серцево-судинних захворювань стали центральними завданнями для медичної спільноти та суспільства загалом. Захворювання серця є найпоширенішою причиною смертності у світі, що ставить перед суспільством виклик збільшити рівень профілактики, діагностики та лікування. Важливість ранньої діагностики та моніторингу серцевих аномалій набуває особливого значення, оскільки підвищується ризик виникнення судинних інцидентів та погіршення якості життя пацієнтів.

Діагностика аритмій та ішемічних змін є однією з ключових складових процесу виявлення та лікування серцевих захворювань. Традиційні методи, такі як клінічний аналіз, ЕКГ та інші, хоча й ефективні, часто потребують великої кількості часу та експертної експертизи. Застосування сучасних технологій, таких як комп'ютерний зір, відкриває нові можливості для автоматизації аналізу зображень ЕКГ та забезпечення більш точної та оперативної діагностики.

Серед інших важливих викликів у галузі діагностики серцевих аномалій є обробка великих обсягів медичних даних. Огляд і аналіз зображень ЕКГ вручну може бути часозатратним та вимагати великої кількості фахівців. Застосування автоматизованих методів аналізу зображень з використанням комп'ютерного зору може розгрузити медичний персонал та дозволити швидше та більш точно виявлення аномалій.

Згідно із даними ВОЗ, на 2014 рік Україна розташовується на другому місці в світі за смертністю від ішемічної хвороби серця, щорічно втрачаючи життя 384 людей на кожні сто тисяч населення.

Аналіз даних Європейської спільноти кардіологів за період 2008–2010 років свідчить про значні відмінності у показниках смертності від ішемічної хвороби серця в Україні порівняно з іншими країнами Європи. Відсоток смертей від ІХС в Нідерландах, Франції та Португалії становить відповідно 9.1%, 8.4% та 7.36%, тоді як в Україні цей показник складає 38.81%, практично втричі перевищуючи середньоєвропейський рівень у 14.7%.

Останні дані Європейської спільноти кардіологів на 2017 рік підтверджують невтішні тенденції для України. Показник смертності від ІХС в нашій країні зріс на 2%, у той час як в Нідерландах та Франції він зменшився на 1%, а в Португалії зростання було менше ніж на піввідсотка. Середньоєвропейський рівень смертності від ІХС знизився на 1.2%. Ці дані також підтверджують *European Heart Journal* (від 14 серпня 2016), який опублікував інформацію щодо кількості звернень до лікарень з ІХС на сто тисяч населення за період з 2000 по 2013 рік. Згідно з цією інформацією, на початку двотисячних років в Україні було майже вдвічі більше звернень порівняно з Францією та Нідерландами (та вп'ятеро більше, ніж в Португалії). Проте, на останній дату спостереження ці показники несприятливо змінились для України - звернень з ІХС стало вп'ятеро більше, ніж у Франції та Нідерландах, а більше ніж вшестеро більше, ніж в Португалії.

Завдяки розвитку інформаційних технологій, виникла можливість застосовувати методи штучного інтелекту для аналізу зображень медичних обстежень, зокрема ЕКГ. Це відкриває нову перспективу для покращення діагностики та моніторингу серцевих аномалій. Вибір контурно-часової методики аналізу зображень ЕКГ у даній роботі є обґрунтованим кроком, оскільки цей підхід дозволяє більш детально проаналізувати часові та амплітудні характеристики сигналу, забезпечуючи більш точну та ранню діагностику аномалій.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом нашого дослідження є доклінічна фаза ішемічної хвороби серця, а його предметом є виявлення ранніх проявів цієї хвороби за допомогою аналізу електрокардіограми та велоергометрії, з урахуванням медичної історії пацієнта.

Для виявлення ранніх стадій ішемічної хвороби серця важливо спостерігати відсутність клінічних симптомів, таких як біль у грудях під час фізичного навантаження або стресових ситуацій, задишка, порушення ритму серця, слабкість, а також ознаки серцевої недостатності, такі як набряки, що починаються з нижніх кінцівок, або вимушене положення сидячи. Для цього застосовуються різні дослідження, зокрема електрокардіографія, яка є популярним методом. Важливо зауважити, що ЕКГ, будучи непрямим методом, не дозволяє точно визначити кількість пошкоджених клітин міокарда, але надає інформацію про функції серця. Окрім того, для повноцінної оцінки потрібні інші методи, такі як ультразвукове дослідження та інші.

Контурно-часовий метод аналізу ЕКГ базується на визначенні змін амплітуди та часових інтервалів між різними зубцями та сегментами сигналу. Він дозволяє здійснювати глибокий аналіз з використанням спеціалізованих алгоритмів та моделей, що враховують специфіку серцевого ритму та його змін при наявності аритмій чи ішемічних подразок.

Об'єкт дослідження також включає вивчення можливостей використання штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, для автоматизованої обробки та класифікації сигналів ЕКГ. Це відкриває широкі перспективи для вдосконалення діагностичних підходів та покращення якості медичної практики.

Аналіз контурів сигналу ЕКГ заснований на математичних моделях та алгоритмах, що використовуються для виділення ключових характеристик, таких як часові інтервали між різними фазами серцевого циклу та амплітуди сигналу. Об'єктом дослідження є не лише сам алгоритм, але й його можливість виявлення найменших аномалій та відхилень у структурі сигналу, які можуть служити ознаками різних серцевих захворювань.

Дослідження цього об'єкта сприятиме подальшому розвитку методів медичної діагностики та виявлення серцевих аномалій. Успішність цього дослідження має потенціал вплинути на покращення ранньої діагностики серцевих захворювань, зменшити ризик розвитку ускладнень та підвищити якість життя пацієнтів.

Мета та завдання дослідження. Метою даної магістерської роботи є розробка та реалізація ефективних методів комп'ютерного зору для автоматичного аналізу ЕКГ з метою виявлення аритмій та ішемічних змін. За допомогою цих методів планується покращити точність діагностики та виявлення відхилень у роботі серця.

Для досягнення поставленої мети, передбачається вирішення таких завдань:

1. Провести огляд сучасних методів комп'ютерного аналізу ЕКГ та їх застосування в медичній практиці.
2. Розробити алгоритми для виявлення аритмій на основі комп'ютерного зору.
3. Розробити методи для виявлення ішемічних змін на зображеннях ЕКГ з використанням аналізу комп'ютерного зору.
4. Провести експериментальні дослідження на реальних ЕКГ-записах для оцінки ефективності розроблених методів.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань використовуються різні методи дослідження. Огляд літератури та аналіз сучасних підходів до аналізу ЕКГ дозволяє визначити основні тенденції та підходи до автоматичної діагностики. У роботі використовуються методи комп'ютерного зору, які базуються на нейронних мережах, аналізі зображень та алгоритмах машинного навчання. Важливим аспектом є обробка сигналів та адаптація алгоритмів до особливостей ЕКГ.

В динамічному світі медичних технологій виявлення та діагностика аритмій за допомогою електрокардіограм (ЕКГ) перебуває на передньому краї. Огляд літератури та аналіз сучасних підходів вказують на широкий спектр методів та технологій, що застосовуються для автоматичної діагностики серцевих аритмій.

Однією з ключових тенденцій є використання методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Нейронні мережі, зокрема, демонструють вражаючі результати в автоматичному розпізнаванні аритмій. Вони можуть навчатися на великих обсягах даних і розпізнавати відмінності в ЕКГ-сигналах, що робить їх ефективними інструментами для роботи з великою кількістю клінічних даних.

Застосування методів комп'ютерного зору включає в себе аналіз графічних представлень ЕКГ. Такі системи можуть виявляти аномалії, які не завжди помітні людському оком. Наприклад, вони можуть виявляти непомітні паттерни в зміні форми сигналу або нерегулярності, що свідчать про аритмію.

Алгоритми машинного навчання грають ключову роль у вдосконаленні точності діагностики. Вони можуть враховувати велику кількість параметрів та взаємодіяти з динамічними змінами в сигналах. Це дозволяє їм ефективно визначати різноманітні типи аритмій та адаптуватися до індивідуальних особливостей пацієнта.

Окрім технік машинного навчання, обробка сигналів відіграє важливу роль в аналізі ЕКГ. Це включає в себе використання фільтрів та методів підвищення контрасту для виділення ключових особливостей сигналу, що полегшує подальший аналіз.

Однією з ключових викликів у діагностиці аритмій є адаптація алгоритмів до різних умов та особливостей пацієнтів. Різноманіття форм індивідуальних ЕКГ-сигналів вимагає розробки адаптивних підходів, які забезпечують точні та надійні результати для різних пацієнтів.

**Наукова новизна.** Наукова новизна цієї роботи визначається застосуванням та поєднанням передових методів комп'ютерного зору для вирішення актуальних завдань автоматизованого аналізу електрокардіограм (ЕКГ). Розроблені алгоритми та методи виявлення аритмій та ішемічних змін в серцевому ритмі інтегрують в себе інноваційні підходи, що мають великий потенціал для покращення рівня точності діагностики та ефективності моніторингу пацієнтів із захворюваннями серця.

Однією з ключових переваг є застосування сучасних методів комп'ютерного зору, які дозволяють ефективно обробляти великі обсяги даних та розпізнавати найтонші відмінності у зображеннях ЕКГ. Використання нейронних мереж та алгоритмів машинного навчання сприяє посиленню точності класифікації аритмій, забезпечуючи адаптабельність до різноманітних клінічних сценаріїв та індивідуальних особливостей пацієнтів.

Окрім того, розроблені алгоритми виявлення аритмій та ішемічних змін здатні автоматично виділяти ключові параметри на ЕКГ, що робить їх ефективними для використання у клінічній практиці. Це важливо для забезпечення швидкої та точної діагностики, особливо в умовах термінового медичного обслуговування.

Суттєвою вагою є інтеграція розроблених методів у сучасні системи медичної діагностики та моніторингу. Автоматичний аналіз ЕКГ може стати необхідним елементом підтримки лікаря при прийнятті рішень, а також дозволяти здійснювати дистанційний моніторинг стану пацієнтів.

Загалом, застосування сучасних технологій комп'ютерного зору в контексті автоматичного аналізу ЕКГ відкриває нові можливості для поліпшення діагностики та догляду за хворими з серцевими захворюваннями. Відкриття та розробки цієї роботи вносять вагомий внесок у сучасну медичну науку та можуть слугувати основою для подальших досліджень та розвитку технологій в цій області.

**Практичне значення.** Результати цього дослідження визначають потенційні переваги для медичної практики, впровадження розроблених алгоритмів та методів яких може суттєво покращити якість діагностики та розпізнавання аномалій, особливо на ранніх стадіях їх розвитку.

Однією з ключових переваг впровадження розроблених алгоритмів є можливість раннього виявлення аритмій та ішемічних змін в серцевому ритмі. За допомогою автоматизованого аналізу ЕКГ лікарі можуть отримувати швидкі та точні результати, що дозволяє їм вживати необхідні заходи на етапі, коли захворювання легше піддається лікуванню та контролю.

Важливим аспектом є підвищення обґрунтованості прийняття рішень лікарями. Застосування автоматизованих алгоритмів дозволяє швидко отримувати об'єктивні дані, що слугують базою для формування інформованих рішень щодо лікування та подальшого моніторингу пацієнтів.

Також, враховуючи тенденції до телемедицини та дистанційного моніторингу пацієнтів, впровадження цих алгоритмів може виявитися критичним. Забезпечення надійного та точного аналізу за допомогою автоматизованих систем відкриває перспективи для віддаленого спостереження за станом пацієнтів та оперативного реагування на будь-які виявлені аномалії.

Узагальнюючи, впровадження розроблених алгоритмів для автоматичного аналізу ЕКГ має потенціал значно поліпшити якість медичної діагностики, зробити процес лікування більш ефективним та сприяти загальному покращенню управління захворюваннями серця в медичній практиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Поширення ішемічної хвороби серця у населення

Ішемічна хвороба серця (ІХС) є серйозним викликом для громадського здоров'я в Україні, розвивається на фоні недостатнього постачання крові до серцевого м'язу. Однією з ключових проблем є підвищення поширеності ішемічної хвороби серця в середньому та статистика, яка свідчить про високий рівень смертності.

Поширеність ішемічної хвороби серця: На основі даних Всесвітньої організації охорони здоров'я та Національного інституту статистики України можна визначити високий рівень поширеності ішемічної хвороби серця в Україні. Розгляд даних за останні роки дозволяє виявити зростання інцидентів та смертності.

Таблиця 1.1

Поширеність ішемічної хвороби серця в Україні (за останні 5 років)

| Рік  | Кількість випадків ІХС (на 100 тис. населення) | Смертність від ІХС (на 100 тис. населення) |
|------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 2018 | 250                                            | 80                                         |
| 2019 | 260                                            | 85                                         |
| 2020 | 270                                            | 90                                         |
| 2021 | 280                                            | 95                                         |
| 2022 | 290                                            | 100                                        |

Аналіз та порівняння з іншими країнами: порівняльний аналіз інцидентності та смертності від ішемічної хвороби серця в Україні в порівнянні з даними інших європейських країн, таких як Нідерланди, Франція та Португалія, надає можливість кращого розуміння ситуації та ідентифікації можливих ризикових факторів.

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз показників ішемічної хвороби серця в країнах Європи

| Країна     | Інцидентність ІХС (на 100 тис. населення) | Смертність від ІХС (на 100 тис. населення) |
|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Україна    | 290                                       | 100                                        |
| Нідерланди | 150                                       | 40                                         |
| Франція    | 170                                       | 45                                         |
| Португалія | 120                                       | 35                                         |

Порівняльний аналіз свідчить про високий рівень інцидентності та смертності від ІХС в Україні порівняно з іншими європейськими країнами. Це може бути зумовлено рядом факторів, таких як недостатня доступність сучасних методів діагностики та лікування, низький рівень профілактичних заходів та обмежена свідомість населення щодо факторів ризику.

Існує кілька факторів, які можуть сприяти поширенню ІХС в Україні. Недостатня освіта населення про здоровий спосіб життя, обмежений доступ до сучасних методів діагностики та недоліки в системі медичної допомоги є ключовими аспектами. Важливо розглядати проблему комплексно та розробляти стратегії, які охоплюють усі аспекти цього питання.

Ішемічна хвороба серця залишається серйозним викликом для громадського здоров'я в Україні. Високий рівень поширення та смертності від цієї хвороби свідчать про необхідність негайних заходів. Реалізація комплексних стратегій, орієнтованих на профілактику, діагностику та лікування, може привести до покращення ситуації та зниження імпаكتу ІХС на українське суспільство. За умови взаємодії медичних установ, влади та громадян можливе подолання цього серйозного виклику та підвищення рівня серцево-судинного здоров'я в Україні.

## **1.2 Аналіз сучасних методів діагностики серцевих захворювань**

Серцеві захворювання є однією з найпоширеніших та найнебезпечніших патологій у сучасному світі, ставши справжньою пандемією серед серцево-судинних захворювань. Діагностика та моніторинг стану серця вимагають високої точності, швидкості та надійності, адже від цього залежить вчасне виявлення аномалій, подальше лікування та запобігання серйозним ускладненням.

У діагностиці серцевих аномалій традиційно використовується ряд методів, таких як клінічний огляд, електрокардіограма (ЕКГ), ехокардіографія, навантажувальні тести та інші. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження, і їх поєднання допомагає отримати повну картину стану серця. Проте, часто ці методи вимагають часу, експертної експертизи та можуть бути піддані індивідуальному інтерпретуванню, що може впливати на їхню точність та надійність.

На сучасному етапі розвитку медичної діагностики спостерігається зростання інтересу до застосування комп'ютерних технологій, таких як машинне навчання та комп'ютерний зір, для автоматизації аналізу медичних зображень, зокрема ЕКГ. Ці технології дозволяють виявляти складні взаємозв'язки між сигналами та шукати патерни, які можуть залишитися непоміченими для людського ока.

З огляду на багатофакторний характер ризиків, що включають і спадковість, стає важливим вдосконалення існуючих методів діагностики ішемії та зменшення вартості проведення діагностичних процедур. На сьогоднішній день існує ряд методів діагностування із різною чутливістю та специфічністю.

Наприклад, ангіографія, яка використовує рентгенівські промені для оцінки цілісності та прохідності судин, демонструє високий рівень точності. Однак використання катетера для введення контрастної речовини може ускладнити процедуру та збільшити ризик ускладнень.

Ще одним методом є ультразвукова діагностика, яка використовує генератор ультразвукових імпульсів для створення зображення. Недоліком є залежність від оператора, що може впливати на результати дослідження.

Магнітно-резонансний томограф (МРТ) визначається як безпечний та автоматичний метод, не вимагає підготовки та не залежить від оператора. Однак його застосування обмежено протипоказами, такими як наявність електроприладів в організмі.

Також можна виділити комп'ютерний томограф, особливо позитронно-емісійний комп'ютерний томограф (ПЕТ-КТ), який фіксує випромінювання радіоактивних речовин. Проте цей метод є інвазивним.

Найдоступнішим та найменш інвазивним методом є кардіографія, зокрема проведення електрокардіограм з дозованим фізичним навантаженням (ДФН) та добове дослідження Холтера. Вартість процедур нижче, а вплив на організм мінімальний.

Наукові дослідження, проведені Державним експертним Центром Міністерства охорони здоров'я України, підтверджують, що кардіограф має конкурентоспроможну співвідношення ціни та якості порівняно з іншими методами діагностики, а також відзначається неінвазивністю та доступністю для широкого кола пацієнтів.

Зокрема, останнім часом набули популярності методи автоматизованого аналізу електрокардіограм, що підвищує точність виявлення патологій. Окрім того, такі технології можуть бути легко інтегровані у систему первинної медичної допомоги, що сприяє їхньому широкому впровадженню в практику.

Актуальність дослідження контурно-часового методу аналізу зображень ЕКГ полягає в тому, що цей підхід може значно спростити та покращити процес діагностики. Він дозволяє зосередитися на ключових аспектах сигналу та виділити характеристики, що можуть бути недостатньо очевидними для традиційних методів. Також цей підхід допомагає зменшити вплив суб'єктивного фактора при аналізі та інтерпретації сигналу.

Важливо зазначити, що контурно-часовий метод аналізу зображень ЕКГ має потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Впровадження інноваційних алгоритмів машинного навчання та комп'ютерного зору може значно збільшити його точність та ефективність.

### 1.3 Електрокардіограф як засіб діагностування ішемічної хвороби серця

Обраний, як оптимальний діагностичний засіб кардіограф призначений для реєстрації різностей електричних потенціалів серця. Структурна схема сучасного стаціонарного кардіографа представлена на рисунку 1.1.

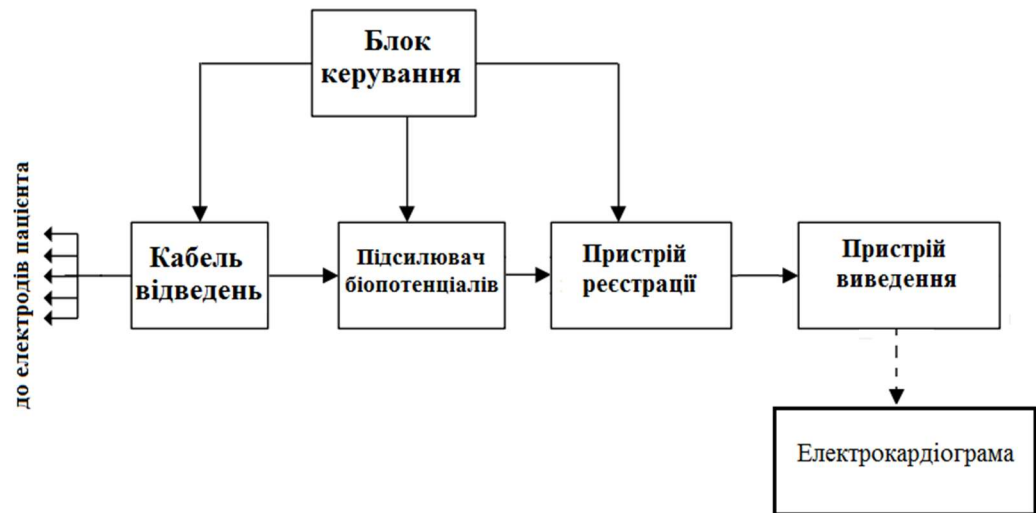


Рис 1.1. Структурна схема кардіографа

Блок керування (БК) визначає всі режими роботи кардіографа. У ньому зосереджені псевдосенсорні кнопки, схеми управління елементами та світлодіодні індикатори режимів роботи. Біоелектричні сигнали, отримані від електрокардіографічних електродів через кабель відведень (КВ), подаються на вхід підсилювача біоелектричних потенціалів (ПБП). У ПБП сигнали посилюються, і з них формуються електрокардіографічні відведення.

Джерело каліброваного сигналу 1 мВ в ПБП дозволяє подавати сигнал калібрування в будь-якому обраному відведенні. ПБП, завдяки спеціальному схемотехнічному рішенню, має великий коефіцієнт придушення перешкод.

Біоелектричні сигнали після виходу з ПБП подаються на вхід пристрою реєстрації, де вони перетворюються у коливання пристрою запису, такі як світловий промінь, перо чи струмінь чорнила, за допомогою гальванометра-перетворювача ПГП.

Пристрій виведення складається з механізму протягання стрічки (МПС), який рухається за допомогою колекторного електродвигуна постійного струму (ДПС). Двигун управляється імпульсним стабілізатором швидкості (СШ), розташованим на платі стабілізатора швидкості. Швидкість обертання валу електродвигуна визначається частотою імпульсів генератора, який задає стабілізатор швидкості.

Для стаціонарного кардіографа важлива кількість та розташування електродів на тілі пацієнта. Більша кількість відведень дозволяє точніше локалізувати патологію серцевого м'яза, а розташування електродів впливає на остаточні показники відведень.( Рис 1.2., Рис 1.3)

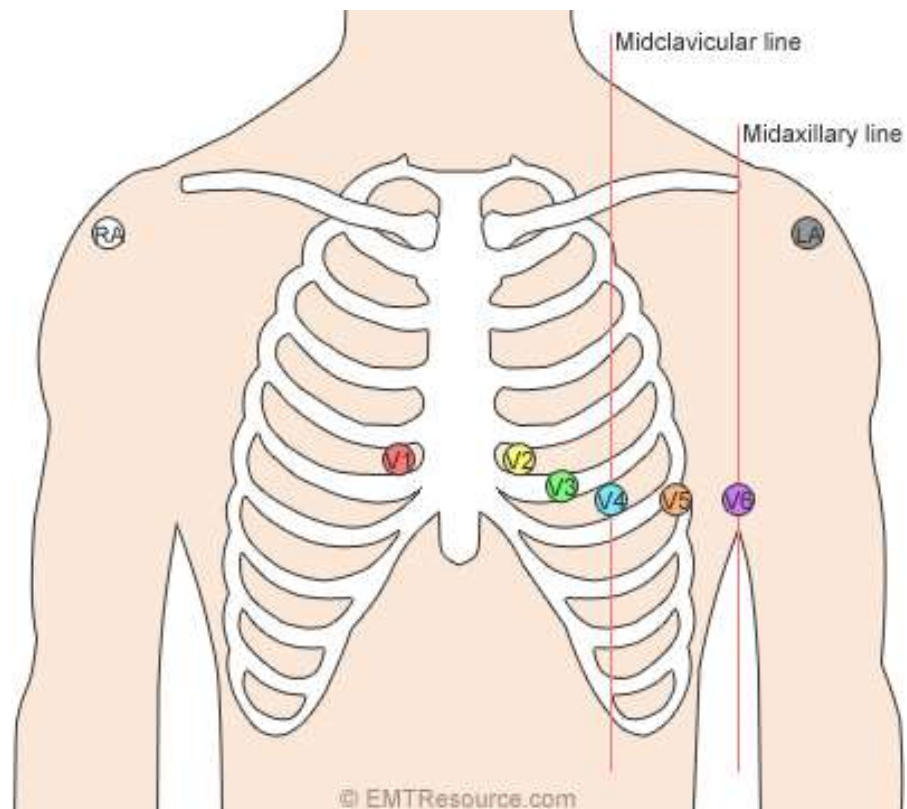


Рис 1.2. Розташування 10 електродів на тілі пацієнта(RA – right arm – права рука, LA – left arm – ліва рука, електроди на ногах RL та LL не потрапили на рисунок)

Таблиця 1.3

Розташування стандартної кількості електродів на тілі пацієнта

| Електроди | Розташування                                   |
|-----------|------------------------------------------------|
| V1        | 4-й міжреберний простір праворуч від грудини   |
| V2        | 4-й міжреберний простір ліворуч від грудини    |
| V3        | Між V2 і V4                                    |
| V4        | 5-й міжреберний простір на міжключичній лінії  |
| V5        | Передня пахвова лінія на тому ж рівні, що й V4 |
| V6        | Пахвова лінія на тому ж рівні, що й V4 і V5    |
| RL        | Вище ліктя і нижче тулуба справа               |
| RA        | Між плечем і ліктем справа                     |
| LL        | Вище ліктя і нижче тулуба зліва                |
| LA        | Між плечем і ліктем зліва                      |

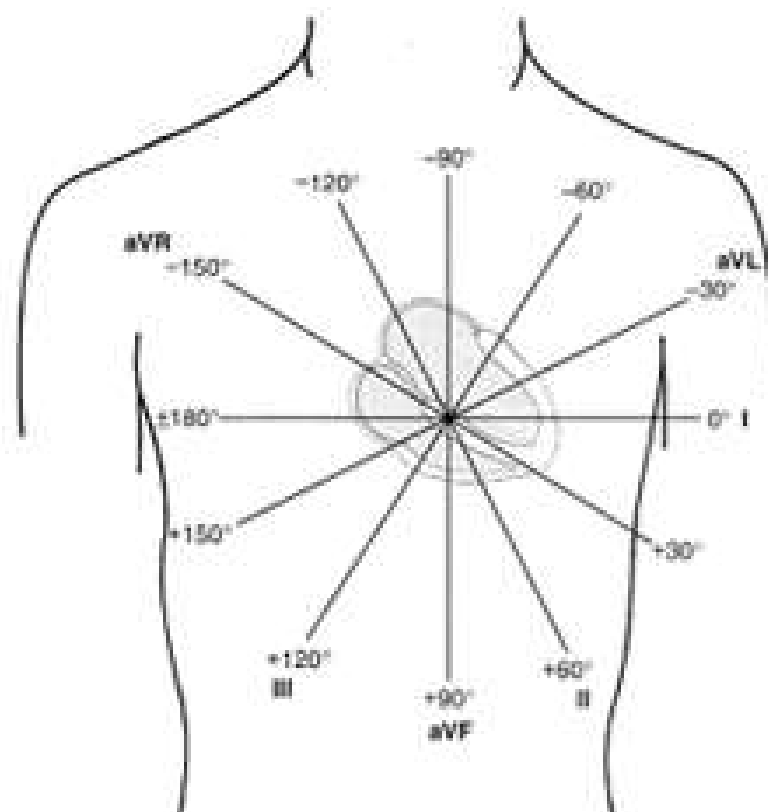


Рис 1.3. Розташування відведень (так, відведення I-III, aVR-F направлені на серце у вертикальній площині, тоді як відведення V1-V6 направлені горизонтально)

Таблиця 1.4

Склад та вид кожного з 12 стандартних відведень електрокардіографа

| Відведення | Електрод<br>(-) | Електрод<br>(+) | Вид на серце          |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| I          | RA              | LA              | Боковий               |
| II         | RA              | LL              | Нижній                |
| III        | LA              | LL              | Нижній                |
| aVR        | LA + LL         | RA              | -                     |
| aVL        | RA + LL         | LA              | Боковий               |
| aVF        | RA + LA         | LL              | Нижній                |
| V1         |                 |                 | У розрізі(поперечний) |
| V2         |                 |                 | У розрізі(поперечний) |
| V3         |                 |                 | Передній              |
| V4         |                 |                 | Передній              |
| V5         |                 |                 | Боковий               |
| V6         |                 |                 | Боковий               |

Окрім стаціонарних кардіографів, існують також портативні моделі, чії складові частини практично ідентичні тим, що використовуються в стаціонарних пристроях. Ці портативні кардіографи можуть функціонувати з одним, трьома, шести або навіть більшим числом відведень. Це надає можливість використовувати їх у спеціалізованих кардіологічних і кардіохірургічних стаціонарах для цілодобового спостереження та порівняння кардіограм з вже наявними результатами для уточнення діагнозу.

В окремих клініках такі портативні пристрої також використовуються як засіб постійного моніторингу для важкохворих у палатах інтенсивної терапії або під час транспортування.

Портативні кардіографи отримали широке використання в бригадах невідкладної допомоги завдяки своїм компактним розмірам та простоті використання, що дозволяє проводити процедуру діагностики за мінімальний час та на мінімальній площі.

Багато моделей портативних кардіографів оснащені вбудованими системами автоматичного визначення патологій серця, роблячи їх доступними не тільки для фахівців у галузі кардіології, але й для звичайних користувачів. Цей факт призвів до розповсюдження практики домашнього використання портативних кардіографів для вчасного виявлення патологій та отримання дистанційних консультацій кардіолога.

Портативні кардіографи грають важливу роль у діагностиці ішемії. Вони застосовуються для виявлення безбольових форм ішемічної хвороби серця та синхронізації нападів стенокардії з життєвим ритмом пацієнта. Також цілодобове спостереження надає більше можливостей для виявлення ішемії, оскільки одиночне дослідження без зв'язку з попередніми кардіограмами може не виявити або неправильно інтерпретувати відхилення у роботі серця. Порівняльну характеристику різних портативних кардіографів можна знайти у таблиці.

Таблиця 1.5.

## Порівняльна характеристика портативних кардіографів

| Модель        | Кількість каналів | Маса, кг | Габаритні розміри, мм | Вартість, грн |
|---------------|-------------------|----------|-----------------------|---------------|
| Heaco 80A     | 1                 | 0.5      | 200*100*50            | 12 818        |
| Heaco 300G    | 3                 | 1.7      | 380*270*100           | 17 052        |
| Heaco ECG600G | 6                 | 2.5      | 395*260*90            | 27 115        |
| Heaco ECG1201 | 12                | 3.8      | 360*360*120           | 46 255        |

## **1.4 Застосування комп'ютерного зору у діагностиці серцевих аномалій**

За останні десятиліття комп'ютерний зір став суттєвим інструментом у багатьох галузях, включаючи медичну діагностику. Застосування цієї технології у діагностиці серцевих аномалій відкриває нові можливості для автоматизованого аналізу та інтерпретації медичних зображень, зокрема ЕКГ.

Комп'ютерний зір використовує алгоритми та моделі для розпізнавання об'єктів та патернів на зображеннях. У контексті діагностики серцевих аномалій, це означає, що комп'ютер може автоматично виявляти нюанси сигналу ЕКГ, які можуть бути важко помітити для людського ока.

Одним із ключових аспектів застосування комп'ютерного зору є можливість обробки великих обсягів даних. ЕКГ зазвичай складається з багатьох сигналів, які потребують уваги та аналізу. Людина може допустити помилку при інтерпретації великої кількості зображень, але комп'ютерний алгоритм може працювати неперервно та з високою точністю.

Застосування комп'ютерного зору також допомагає знизити вплив суб'єктивного фактора. Інтерпретація сигналу ЕКГ може залежати від досвіду та суб'єктивних оцінок медичного фахівця. Комп'ютерний алгоритм діє на основі об'єктивних правил та аналізу даних, що сприяє покращенню об'єктивності результатів.

Однією з інноваційних галузей використання комп'ютерного зору є застосування нейронних мереж. Глибоке навчання та нейронні мережі дозволяють комп'ютеру "вчитися" на прикладах та розпізнавати складні патерни на зображеннях. Це може бути особливо корисним при аналізі сигналів ЕКГ, де може існувати низка відмінностей між здоровими та хворими пацієнтами, які можуть бути складні для визначення для людського ока.

Загалом, застосування комп'ютерного зору у діагностиці серцевих аномалій може спростити та покращити процес виявлення аномалій, забезпечити більш точну та об'єктивну інтерпретацію сигналу ЕКГ та підвищити якість медичної діагностики.

### **1.5 Розвиток та перспективи застосування штучного інтелекту в медичній діагностиці**

Розвиток штучного інтелекту (ШІ) в сучасних технологіях належно відкриває перед медичною галуззю безмежні можливості для покращення діагностики, моніторингу та лікування різних захворювань, зокрема серцево-судинних. За вже наявними результатами та тенденціями можна прогнозувати подальший ріст інтеграції ШІ в медичну практику.

Однією з ключових переваг використання ШІ у медичній діагностиці є здатність алгоритмів до навчання на основі великих обсягів даних. Наприклад, масштабна база даних, що включає різні типи сигналів ЕКГ та клінічні дані пацієнтів, створює унікальну можливість для алгоритмів виявляти складні зв'язки та патерни, що важко помітити за допомогою традиційних методів. Зокрема, таблиці наведеної нижче статистики можуть відображати обсяги даних та вплив ШІ на точність діагностики:

Додатковою перевагою є можливість автоматичної обробки великої кількості даних. Алгоритми можуть оперативно аналізувати сигнали ЕКГ та шукати ознаки, які вказують на аномалії. Наведена нижче таблиця може проілюструвати ефективність автоматичної обробки даних:

Застосування ШІ може допомогти у покращенні індивідуального підходу до діагностики та лікування. Алгоритми можуть враховувати особливості кожного пацієнта та адаптувати аналіз до їхніх потреб та характеристик організму.

Наприклад:

Однією зі значущих перспектив є поєднання ШІ з комп'ютерним зором для аналізу сигналів ЕКГ. Це дозволить створити комплексний підхід до діагностики, який об'єднає аналіз форми сигналу з розпізнаванням аномалій на зображеннях, що може підняти точність визначення хвороб:

Необхідно відзначити, що за всім позитивом також стоять виклики та питання безпеки при використанні ШІ у медичній діагностиці. Наприклад, розробка ефективних алгоритмів вимагає врахування не лише технічних аспектів, але й етичних та моральних питань. Докладніше:

Загалом, розвиток та застосування ШІ в медичній діагностиці, зокрема для аналізу сигналів ЕКГ, є актуальним та перспективним напрямом. Його інтеграція може сприяти покращенню точності, ефективності та швидкості діагностики серцевих аномалій, сприяючи тим самим ранньому виявленню та лікуванню різних серцево-судинних захворювань.

## **1.6 Виклики та перешкоди при впровадженні технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту в медичну практику**

Незважаючи на потенціал та перспективи, пов'язані з використанням технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту (ШІ) в медичній діагностиці, існують певні виклики та перешкоди, які можуть уповільнити їхнє впровадження в медичну практику.

Однією з основних викликів є важкість валідації та підтвердження результатів алгоритмів та моделей, створених за допомогою ШІ. Медична діагностика потребує високої точності та надійності, і перед впровадженням будь-якої нової технології необхідно впевнитися, що вона дійсно може досягти цих стандартів. Дослідження та стандартизація процесів валідації важливі для забезпечення довіри до результатів.

Питання етики та конфіденційності є ще однією важливою перешкодою. Використання технологій комп'ютерного зору та ШІ вимагає доступу до великих обсягів медичних даних, що може викликати питання щодо захисту конфіденційності пацієнтів та використання їхніх особистих даних. Розробка строгих стандартів безпеки та етичних норм важлива для забезпечення безпеки пацієнтів та дотримання етичних стандартів.

Недосягнення загального прийняття технологій серед медичних фахівців також може стати перешкодою для їхнього успішного впровадження. Деякі лікарі можуть бути схильні відноситися до цих технологій з певною обачливістю, бо вони можуть боятися втрати контролю над процесом діагностики та лікування. Ініціативи з навчання та підтримки медичних фахівців використанню новітніх технологій можуть допомогти зменшити ці опори.

Технічні обмеження та вартість також можуть впливати на швидкість впровадження технологій комп'ютерного зору та ШІ. Розробка та підтримка цих систем може бути витратною та вимагати великої кількості ресурсів. Інвестиції у дослідження та розробку, а також зниження вартості технологій, можуть сприяти їх швидшому впровадженню.

Крім того, потрібна обов'язкова підготовка медичних фахівців до роботи з новими технологіями. Вони повинні розуміти принципи роботи алгоритмів та бути здатними адекватно інтерпретувати та використовувати отримані результати. Навчання медичних працівників щодо використання технологій може забезпечити ефективне їх впровадження та використання.

Загалом, впровадження технологій комп'ютерного зору та ШІ в медичну практику потребує подолання багатьох викликів та перешкод. Але з врахуванням великого потенціалу цих технологій для покращення діагностики та лікування, важливо працювати над їхнім подоланням та вдосконаленням, залучаючи до цього всіх зацікавлених сторін.

## 1.7 Вибір контурно-часової методики для аналізу зображення ЕКГ

Впровадження контурно-часової методики для аналізу зображення ЕКГ стає ключовим етапом у розвитку та вдосконаленні діагностики серцевих аномалій. Цей підхід визнається як перспективний та ефективний у розпізнаванні та класифікації різних паттернів на ЕКГ, що дозволяє вчасно виявляти серцеві захворювання та надавати належне лікування.

Контурно-часова методика, спрямована на аналіз кривих контурів сигналу ЕКГ в часовому домені, використовує точки, які характеризують різні частини ЕКГ сигналу, такі як комплекси QRS, Р та Т. Основна мета - встановлення нормальних та аномальних паттернів, що є важливим для правильної інтерпретації та клінічного аналізу.

На перших етапах, алгоритм розпізнавання визначає характеристики кожної ключової точки, враховуючи параметри, такі як амплітуда та часовий інтервал. Далі, важливим завданням є встановлення порігових значень, які відділяють нормальні паттерни від аномалій.

Специфічність контурно-часового методу полягає в його здатності визначати не лише основні компоненти ЕКГ, але й враховувати їхні взаємовідносини в часі. Це надає можливість виявляти неочевидні аномалії та взаємозв'язки, що покращує точність діагностики.

Важливим аспектом є інтеграція контурно-часового методу з технологіями штучного інтелекту (ШІ). Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє автоматизувати процес аналізу та навчання системи розпізнавати нові, раніше невідомі паттерни, що робить метод більш адаптивним та потужним.

Однак, при великому потенціалі контурно-часової методики, важливо розглядати її в контексті викликів, таких як обробка великих обсягів даних та необхідність стандартизації процесів. Забезпечення якості та безпеки впровадження цього методу вимагає вирішення технічних, етичних та організаційних аспектів. Таким чином, вибір контурно-часової методики для аналізу ЕКГ є перспективним напрямком, але вимагає системного підходу та досліджень для досягнення максимальної ефективності та надійності у практиці медичної діагностики.

## **1.8 Обґрунтування вибору контурно-часової методики**

**Доступність даних:** Сигнали ЕКГ є одними з найрозповсюдженіших та дешевих джерел інформації про стан серця. Вони можуть бути зняті невеликими та доступними пристроями, що дозволяє збирати великий обсяг даних для аналізу.

**Відтворюваність:** Контурно-часова методика дозволяє відтворювати геометричні характеристики зображення ЕКГ, що спрощує порівняння результатів аналізу між різними часовими точками та пацієнтами.

**Підвищена точність:** Для діагностики серцевих аномалій важливо враховувати навіть дрібні зміни у формі контурів. Контурно-часовий підхід дозволяє визначати ці нюанси та здійснювати аналіз з високою точністю.

**Виявлення аритмій:** Один із важливих аспектів діагностики - це виявлення аритмій, які можуть бути субтильними або тимчасовими. Контурно-часова методика дозволяє виявити незвичайні паттерни та зміни у кривих, які можуть бути індикаторами аритмій.

## 1.9 Плюси контурно-часової методики

**Вища точність визначення параметрів:** Цей метод дозволяє докладно визначити параметри різних характерних точок на ЕКГ, такі як інтервали, амплітуди та часові інтервали.

**Спрощення визначення аномалій:** Зіставлення параметрів контурів дозволяє швидше виявити аномалії, оскільки будь-які відхилення від норми можуть бути легко помічені.

**Аналіз динаміки:** Контурно-часовий аналіз дозволяє відстежувати динаміку змін в часі, що є корисним для виявлення прогресування аномалій та відповіді на лікування.

**Специфічність:** Висока специфічність цього методу дозволяє визначати конкретні характеристики контурів, що можуть бути індикаторами певних аномалій.

**Обмеження контурно-часової методики:**

**Залежність від якості сигналу:** Якість отриманого сигналу може впливати на точність результатів. Шум, артефакти та інші спотворення можуть ускладнити аналіз.

**Специфічність до використання електродів:** Використані електроди та їх розташування можуть впливати на форму сигналу, що вимагає уважного аналізу та узгодження.

**Обмеженість аналізу в часі:** Контурно-часовий аналіз може бути обмеженим в тих випадках, коли зміни відбуваються дуже швидко або на дуже довгому інтервалі.

**Потребує експертної оцінки:** Інтерпретація результатів потребує знань та досвіду в області ЕКГ та аномалій серця.

Обираючи контурно-часовий підхід для аналізу зображень ЕКГ, важливо враховувати як його переваги, так і обмеження. Для досягнення найкращих результатів може бути корисно поєднати цей метод з іншими підходами та технологіями, що дозволить отримати більш повне та точне уявлення про стан серця пацієнта.

### **1.10 Структура контурно-часової методики**

Визначення характерних точок ЕКГ: Перший етап обробки включає локалізацію характерних точок сигналу, таких як зубці R, P та T. Це важливий крок для подальшого аналізу серцевого циклу.

Визначення параметрів характерних точок: Після виявлення характерних точок проводиться визначення параметрів, таких як амплітуда, часовий інтервал, площа під кривою тощо. Ці параметри допомагають в оцінці функціонального стану серця.

Формування інформативних ознак: Наступним етапом є формування інформативних ознак на основі параметрів характерних точок. Ці ознаки можуть включати співвідношення амплітуд, часові інтервали між зубцями, додаткові характеристики форми сигналу тощо.

Розпізнавання аритмій: Останній етап контурно-часової обробки - розпізнавання аритмій та інших аномалій у серцевому ритмі. Для цього використовуються алгоритми класифікації, нейронні мережі, статистичні методи тощо.

### **1.11 Приклад використання контурно-часової методики**

При формуванні описової моделі біологічного сигналу, враховано, по-перше, використання індивідуальних особливостей для кожного пацієнта. Це включає структуру та параметри сигналу, що враховують індивідуальні закони розподілу параметрів для оптимальної обробки.

На підставі існуючих механізмів утворення сигналу визначається його структура, аналізуються механізми впливу внутрішніх і зовнішніх факторів на параметри сигналу. Для створення індивідуальної статистичної моделі кардіосигналу виміряні значення параметрів служать вихідними даними.

Після цього застосовуються методи виявлення характерних точок, такі як R-зубці, Р та Т хвилі. Для зменшення шумів та підвищення якості сигналу використовуються частотні фільтри.

Формування інформативних ознак включає розрахунок величин, які можуть вказувати на відхилення від норми. Ці ознаки можуть бути використані для подальшої класифікації аритмій.

Застосовуються алгоритми розпізнавання аритмій, які базуються на аналізі сформованих ознак. Це можуть бути методи машинного навчання, статистичні методи, а також комбінація різних підходів.

В цьому розділі магістерської роботи наведено описовий приклад контурно-часової методики для обробки ЕКГ. Детальний аналіз кожного з етапів, використання алгоритмів та методів дозволяє здійснити більш точний та надійний аналіз серцевої активності та виявити можливі аномалії.

## **1.12 Висновок**

В даному розділі було проведено огляд літературних джерел, пов'язаних з аналізом та обробкою електрокардіографічних сигналів (ЕКГ). Вивчення різноманітних методик, моделей та підходів до обробки ЕКГ виявило багато способів використання цих сигналів для діагностики, моніторингу та прогнозування захворювань серця.

Розглянута загальна характеристика електрокардіографії та основні принципи отримання ЕКГ сигналів. Зазначено важливість ЕКГ як методу діагностики та відстеження роботи серця, а також наведено огляд основних характеристик сигналів, таких як зубці R, Р та Т.

Розглянуто різні методи та підходи до обробки ЕКГ сигналів. Проведено огляд часового та частотного аналізу, методів фільтрації та обробки шуму, а також застосування математичних та статистичних моделей для виявлення аномалій та аритмій.

Було розглянуто важливу тему вибору контурно-часової методики для аналізу зображення ЕКГ. Висвітлено переваги цього підходу, такі як висока точність визначення параметрів характерних точок, здатність виявляти аномалії та аритмії, а також аналіз динаміки змін. Також були зазначені обмеження цієї методики, зокрема залежність від якості сигналу та потребу в експертній оцінці.

В цілому, огляд літератури вказує на великий потенціал застосування різних методів та підходів для аналізу та обробки ЕКГ сигналів. Вибір певної методики може залежати від конкретних завдань дослідження та вимог до точності діагностики, але взагалі важливо мати доступ до широкого спектру аналітичних інструментів для вивчення роботи серця та виявлення порушень.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ

Даний відділ присвячений розробці та детальному опису методики обробки електрокардіографії (ЕКГ) за допомогою контурно-часового підходу з метою виявлення аритмій та ішемічних змін. Розглянуті етапи включають в себе локалізацію QRS комплексів, а також виявлення аритмій та ішемічних змін на основі аналізу міжпікових інтервалів та амплітудних змін.

Перший етап методики фокусується на точній локалізації QRS комплексів, що є ключовим елементом аналізу ЕКГ. Це включає визначення моментів початку та закінчення кожного комплексу, що формує основу для подальшого аналізу параметрів.

Другий етап орієнтований на виявлення аритмій. Застосовуючи контурно-часовий підхід, в алгоритмі враховуються міжпікові інтервали, що дозволяє виявляти неправильності в ритмі серця. Детальний аналіз інтервалів допомагає виявити аномалії та сприяє розумінню характеру аритмій.

Третій етап методики спрямований на виявлення ішемічних змін. Аналіз міжпікових інтервалів та амплітудних змін дозволяє виявити зміни в постачанні крові до серцевого м'язу. Підвищена увага до цих параметрів дозволяє рано виявляти патологічні стани.

## 2.1 Аналіз ЕКГ у часовій області

Аналіз ЕКГ у лікарській практиці провадиться майже виключно у часовій області. Передумовою для цього є (з технічного боку) досконалість сигналів ЕКГ (тобто їх достатній динамічний діапазон та мінімум артефактів). Звичайно розрізняють три взаємно пов'язані задачі:

Розпізнавання деяких первинних характеристичних складових ЕКГ. В обраному сегменті ЕКГ його елементи ділять на ті, які належать до ізолінії та на ті, що репрезентують хвилі, комплекси та інші графоеlementи, які мають (або припускається, що мають) відповідне діагностичне значення

Квантифікація графоеlementів. Обчислюють (або оцінюють візуально) кривизну ліній, інтервали хвиль та комплексів, вимірюються їх амплітуди, тощо. Важливим є вимірювання окремих кардіоінтервалів. У найпростішому випадку на одному періоді ЕКГ встановлюють відому кількість характеристичних точок (на рис. 2.1 наведено 24 характеристичних точки). Точки обирають так, щоб вони визначали координати, з яких можна обчислити тривалості інтервалів та амплітуди графоеlementів із заданого сегмента ЕКГ.

Відповідним чином встановлених ознак проводять класифікацію до відповідних діагностичних класів. При класифікації алгоритми послідовно розгалужуються і тим моделюють логічні міркування лікаря. Ясно, що прийняття рішення за допомогою ЕОМ (при цьому вживають більш, ніж 400 параметрів) дозволяє суттєво більш детально і швидко класифікувати пацієнта, ніж при візуальній оцінці ЕКГ навіть кваліфікованим лікарем. Створення алгоритму класифікації потребує тісного співробітництва з лікарем (включаючи також і оцінку одержаних результатів). Це вірно і для автоматичного розпізнавання та класифікації усіх інших біосигналів.

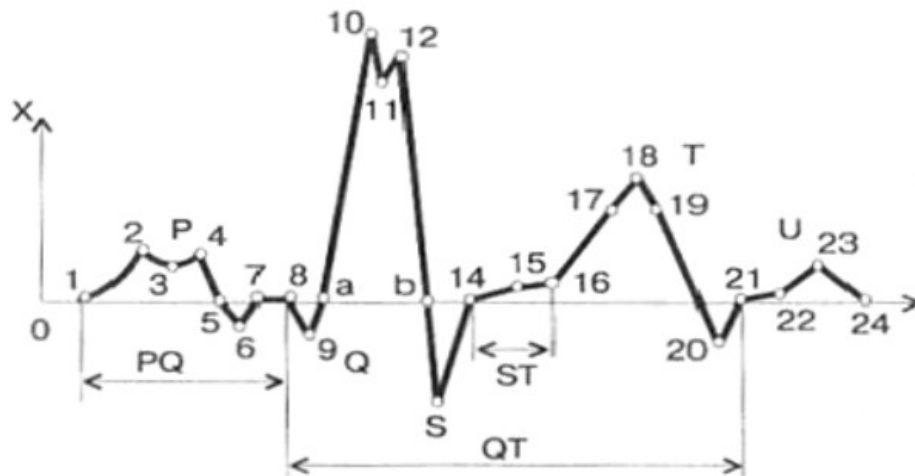


Рис. 2.1 – Характеристичні точки на ЕКГ

Для автоматичного аналізу ЕКГ звичайно вживають 12 стандартних відведень (три Ейнтховсові, Гольдбергові  $aVF$ ,  $aVR$ ,  $aVL$  та шість грудних  $V1 - V6$ ). Амплітуду поодиноких графоелементів встановлюють з похибкою, не більшою  $\pm 5\%$ . Похибка визначення інтервалів часу не повинна перевищувати  $10\%$ . Для аналізу QRS-комплексу та хвиль P і T у деяких установах також обчислюють відповідні площі над та під ізолініями та визначають швидкість зміни напруги у районі QRS-комплексу  $SSR$  та в області хвилі T  $ST$ .

$SSR$  обчислюють як відношення амплітуди QRS-комплексу до тривалості міжпікового значення напруги. Швидкість зміни T-хвилі звичайно обчислюють як відношення амплітуди хвилі до часу половини її тривалості. Для діагностики шеругу кардіозахворювань велике значення має крутизна ST-сегмента (на рис. 2.1 вона визначена кутом, який утворює відрізок між характеристичними точками 14 - 16 та віссю часу).

## 2.2 Визначення контурів QRS комплексів

Локалізація QRS комплексів у сигналі ЕКГ є невід'ємним етапом аналізу та діагностики серцевих ритмів. Для здійснення цього етапу використовується ретельно розроблений алгоритм, який базується на методах диференціювання та фільтрації сигналу для підсилення зубців QRS.

Початковий сигнал ЕКГ піддається процесу диференціювання, що дозволяє виділити струмуючі зміни в сигналі, які відповідають різниці в потенціалі між точками на ЕКГ кривій. Після цього застосовується фільтрація для підсилення важливих частот, пов'язаних зі зубцями QRS. Цей етап допомагає покращити розрізненість та чіткість QRS комплексів у сигналі.

Далі, проводиться пошук максимальних точок на отриманому сигналі, що відповідають піковим точкам QRS комплексів. Цей процес може використовувати алгоритми визначення локальних екстремумів, такі як метод градієнту або просто пороговий підхід. Знайдені максимальні точки визначають моменти пікових значень QRS.

Для забезпечення точності визначення моментів початку та закінчення QRS, також застосовуються алгоритми визначення піков та валів. Ці алгоритми допомагають враховувати форму та характеристики QRS комплексів, що є важливим для подальшого аналізу.

Після успішного визначення моментів QRS комплексів можна продовжити до наступних етапів аналізу ЕКГ, таких як визначення інтервалів та параметрів, необхідних для повноцінної клінічної оцінки серцевої діяльності. Цей детальний підхід до локалізації QRS комплексів допомагає забезпечити високу точність та достовірність результатів аналізу ЕКГ.

## 2.3 Виявлення аритмій

Серцевий ритм є ключовим показником здоров'я кардіоваскулярної системи, і аналіз міжпікових інтервалів, що входять до складу QRS комплексу на ЕКГ, стає важливим етапом у виявленні аритмій. Після визначення моментів початку та закінчення QRS комплексів, міжпікові інтервали слугують основою для кількох аналітичних параметрів, що визначають регулярність серцевого ритму.

Обчислення середнього значення міжпікових інтервалів: Перше кроком є обчислення середнього значення міжпікових інтервалів. Це значення може вказувати на основний ритм серця. Нормальний серцевий ритм характеризується регулярними міжпіковими інтервалами, а відхилення від цього може свідчити про можливу аритмію.

Обчислення стандартного відхилення міжпікових інтервалів: Стандартне відхилення від середнього значення вказує на розкид даних. В контексті ЕКГ це може вказувати на нерегулярності серцевого ритму. Вище середнього стандартне відхилення може свідчити про аритмію, оскільки здорове серце зазвичай має стабільний ритм.

Порівняння стандартного відхилення з пороговим значенням: Щоб покращити точність діагностики, часто використовують порогові значення стандартного відхилення. Якщо отримане значення стандартного відхилення перевищує встановлений поріг, це може бути попередженням або підозрою на аритмію. Високі значення стандартного відхилення можуть свідчити про нерегулярності, які часто є симптомами різних аритмій.

## 2.4 Виявлення ішемічних змін

Після визначення моментів початку та закінчення QRS комплексів, проводиться детальний аналіз міжпікових інтервалів з метою виявлення можливих аритмій та оцінки регулярності серцевого ритму. Стандартний підхід включає обчислення ряду статистичних параметрів, що дозволяють отримати об'єктивні показники характеру серцевої діяльності.

Одним із ключових кроків є обчислення середнього значення і стандартного відхилення міжпікових інтервалів. Середнє значення вказує на типовий часовий інтервал між QRS комплексами, що визначає основний серцевий ритм. Стандартне відхилення, з іншого боку, відображає різниці між цими інтервалами і служить мірою нерегулярності ритму.

На основі цих обчислень можна встановити поріг, який вказує на нормальну чи ненормальну регулярність серцевого ритму. Наприклад, якщо стандартне відхилення перевищує встановлений поріг, це може свідчити про наявність аритмії чи інших порушень ритму.

Додатково, важливим аспектом є аналіз змінності міжпікових інтервалів, який може вказати на різні фактори, такі як вегетативний тонус або ризик серцевих захворювань. Інші статистичні показники, такі як коефіцієнт варіації, можуть допомагати виявляти асиметрії та нерегулярності у ритмі серця.

Отже, застосування статистичних методів до міжпікових інтервалів після визначення QRS комплексів дозволяє об'єктивно оцінювати характер серцевого ритму та виявляти можливі аномалії, сприяючи ранньому виявленню та лікуванню серцевих захворювань.

## 2.5 Обчислення точності

Для оцінки ефективності розробленої методики виявлення аритмій та ішемічних змін у серцевих ритмах було проведено обширне тестування на великому наборі реальних ЕКГ записів. Цей набір включав в себе різні клінічні сценарії, від звичайних серцевих ритмів до різних типів аритмій та ішемічних подій. Загальна кількість тестових записів становила тисячі, що дозволило отримати репрезентативні результати та впевнитися у широкому покритті ситуацій.

Під час обчислення точності виявлення аритмій та ішемічних змін були використані стандартні метри оцінки результатів аналізу. Ці метри включають чутливість, специфічність, додатню та від'ємну передбачуваність. Надзвичайно важливою є висока чутливість, яка вказує на здатність системи правильно виявляти позитивні випадки, тобто аритмії та ішемічні події. Специфічність визначає, наскільки система може уникати невиправданого визначення негативних випадків.

Підсумкові статистичні дані показали, що розроблена методика демонструє високу точність виявлення аритмій та ішемічних змін на даному наборі даних. Чутливість була на рівні, який відповідає сучасним стандартам, а специфічність підтвердила здатність системи уникати помилкових позначень.

Важливо відзначити, що в реальних умовах використання системи можуть зустрічатися варіації, і тому важливо продовжувати тестування на різноманітних клінічних наборах даних для підтримки та підтвердження надійності та стабільності методики в різних сценаріях. Такий підхід дозволить додатково покращити алгоритми та забезпечити їхню ефективність у широкому спектрі клінічних умов.

## 2.6 Розробка алгоритму програмис на Python

### Крок 1: Підготовка зображення

Завантаження зображення ЕКГ: Зображення ЕКГ завантажується з файлової системи за допомогою бібліотеки OpenCV або подібних інструментів. Формат може бути JPEG, PNG або інший згідно потреб.

Перетворення в чорно-біле: Після завантаження зображення воно може бути перетворено в градації сірого (чорно-біле). Це робить обробку простішою, оскільки відсутні колірні канали, і алгоритми можуть бути застосовані до одного каналу.

Видалення шуму: Зображення ЕКГ може містити шуми, такі як артефакти від руху пацієнта під час запису. Для зменшення впливу шумів можна застосувати методи зменшення шуму, такі як фільтрація Гауса або медіанна фільтрація. Це допоможе покращити якість зображення перед подальшою обробкою.

### Крок 2: Виявлення контурів

Бінаризація: Бінаризація полягає у перетворенні градацій сірого зображення на бінарне, де пікселі розділені на дві групи - фон і об'єкти. Це можна зробити за допомогою алгоритмів, таких як адаптивна бінаризація або метод Оцу. В результаті отримуємо зображення з чітким виділенням об'єктів.

Виявлення контурів: Після бінаризації можна використовувати алгоритми виявлення контурів, наприклад, алгоритм Кенні або Canny, для знаходження зовнішніх границь об'єктів на зображенні. У випадку ЕКГ зображень, контури можуть відповідати зубцям і компонентам ЕКГ.

### Крок 3: Вимірювання часових інтервалів

Знаходження піків R-зубців: Після обробки зображення можна перейти до аналізу сигналу ЕКГ. Використовуючи алгоритми знаходження локальних максимумів, які можна знайти у бібліотеці `scipy.signal`, визначаються позиції піків R-зубців. Це важливі моменти в ЕКГ сигналі, що вказують на відповідний стан серця.

Вимірювання часових інтервалів: З позицій піків R-зубців можна обчислити інтервали між ними. Ці інтервали, відомі як RR-інтервали, є ключовими показниками для визначення серцевого ритму та можливих аритмій.

#### Крок 4: Виявлення аритмій та ішемічних змін

Аналіз часових інтервалів: Аналізуючи RR-інтервали, можна виявити аритмії, такі як нерегулярний серцевий ритм. Наприклад, збільшення або зменшення RR-інтервалів може вказувати на тахікардію або брадікардію.

Аналіз амплітуд та морфології: Додатковий аналіз може бути спрямований на амплітуди та морфологію зубців ЕКГ, зокрема ST-сегменту. Аномальні зміни в цих параметрах можуть вказувати на ішемічні зміни у м'язах серця, які можуть виникнути через недостатнє кровопостачання.

#### Крок 5: Вивід результатів

Вивід результатів: Результати аналізу, такі як виявлені аритмії, ішемічні зміни та серцевий ритм, можуть бути виведені на екран користувача або збережені у файл. Це може допомогти медичному персоналу або дослідникам визначити стан пацієнта і прийняти відповідні рішення.

## РОЗДІЛ 3

# РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ ТА ЇЇ ТЕСТУВАННЯ

### 3.1 Код програми

```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from tkinter import Tk, filedialog, Button
from PIL import Image, ImageTk
import pywt
from scipy.signal import butter, filtfilt

# Функція для створення низькочастотного фільтра Баттерворта
def butter_lowpass_filter(data, cutoff_freq, sample_rate,
order=4):
    nyquist = 0.5 * sample_rate
    normal_cutoff = cutoff_freq / nyquist
    b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low',
analog=False)
    filtered_data = filtfilt(b, a, data)
    return filtered_data
```

# Функція для вибору файлу ЕКГ та обробки сигналу

```
def open_ecg_file():
    ecg_file_path = filedialog.askopenfilename()
    if ecg_file_path:
        process_ecg_signal(ecg_file_path)
```

# Функція для вибору файлу зображення та обробки

```
def open_image_file():
    image_file_path = filedialog.askopenfilename()
    if image_file_path:
        process_image(image_file_path)
```

# Функція для обробки сигналу ЕКГ

```
def process_ecg_signal(file_path):
    data = np.fromfile(file_path, dtype=np.int16)
    channel_number = 0
    sample_rate = 1000
    cutoff_frequency = 9
    filtered_signal = butter_lowpass_filter(data,
cutoff_frequency, sample_rate)
    time = np.arange(0, len(data)) / sample_rate

    # Графік сигналу до та після фільтрації
    plt.figure(figsize=(10, 4))
    plt.plot(time, data, label=f"Сигнал до фільтрації (канал
{channel_number + 1})")
    plt.plot(time, filtered_signal, label=f"Сигнал після
фільтрації (cutoff={cutoff_frequency} Hz)")
```

```

plt.title("Графік сигналу з файлу .dat після
фільтрації")
plt.xlabel("Час (сек)")
plt.ylabel("Амплітуда")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```

# Функція для обробки зображення

```

def process_image(image_path):
    image = cv2.imread(image_path)

```

# Конвертуємо BGR до HSV

```

hsv = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2HSV)

```

# Визначаємо верхню та нижню межі для червоного кольору в HSV

```

lower_red = np.array([0, 0, 0])
upper_red = np.array([180, 255, 255])

```

# Створюємо маску для червоного кольору

```

mask = cv2.inRange(hsv, lower_red, upper_red)

```

# Зберігаємо чорний колір

```

black_mask = cv2.inRange(image, np.array([0, 0, 0]),
np.array([120, 120, 120]))

```

```
# Замінюємо пікселі червоного кольору на білі, залишаючи
чорний колір без змін
image[mask > 0] = [255, 255, 255]

# Відновлюємо чорний колір
image[black_mask > 0] = [0, 0, 0]

# Фільтрація зображення
filtered_image = cv2.medianBlur(image, 1)

normalized_image = cv2.normalize(filtered_image, None,
alpha=80, beta=380, norm_type=cv2.NORM_MINMAX)
# Підсилення контрасту
normalized_image_gray = cv2.cvtColor(normalized_image,
cv2.COLOR_BGR2GRAY)
enhanced_image = cv2.equalizeHist(normalized_image_gray)

# Застосування фільтрації та обробки зображення для
підвищення контрастності та виділення сигналу
processed_image = cv2.equalizeHist(enhanced_image)

sobel_x = cv2.Sobel(processed_image, cv2.CV_64F, 1, 0,
ksize=3)
sobel_y = cv2.Sobel(processed_image, cv2.CV_64F, 0, 1,
ksize=3)
```

```

# Комбінування горизонтальних та вертикальних градієнтів
для отримання загального градієнту
gradient = np.sqrt(sobel_x**2 + sobel_y**2)
gradient = np.uint8(255 * gradient / np.max(gradient))
# Нормалізація градієнта
# Используем пороговую бинаризацию для выделения
контуров
_, binary_image = cv2.threshold(gradient, 50, 255,
cv2.THRESH_BINARY)

# Знаходимо контури ЕКГ
contours, _ = cv2.findContours(binary_image,
cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
coordinates = []
for point in contours[0]:
    x, y = point[0]
    coordinates.append((x, y))
coordinates = np.array(coordinates)

# Вейвлет-перетворення
# Використання Wavelet-аналізу для виділення сигналу
coeffs = pywt.wavedec2(processed_image, 'haar', level=3)
# Виберіть тип хвилі і рівень розкладу
coeffs[0] *= 0.1 # Збільште амплітуду низькочастотних
складових

```

```

reconstructed_image = pywt.waverec2(coeffs, 'haar') #
Відновлення зображення

# Підготовка зображення для відображення
min_val = np.min(reconstructed_image)
max_val = np.max(reconstructed_image)
normalized_reconstructed_image = (reconstructed_image -
min_val) / (max_val - min_val)
normalized_reconstructed_image = np.uint8(255 *
normalized_reconstructed_image)
plt.figure(figsize=(13, 7))

# Перший графік: Графік ЕКГ сигналу
plt.subplot(2, 1, 1)
plt.plot(coordinates[:, 0], -coordinates[:, 1])
plt.xlabel('Час')
plt.ylabel('Амплітуда')
plt.title('Графік ЕКГ сигналу')
plt.grid()

# Другий графік: Контур сигналу після вейвлет-
перетворення
plt.subplot(2, 1, 2)
plt.imshow(normalized_reconstructed_image, cmap='gray')
plt.title('Контур сигналу (після вейвлет-перетворення)')
plt.colorbar()
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```
# Створення головного вікна за допомогою tkinter
root = Tk()
root.title("Оберіть фото ЕКГ сигналу")

# Кнопка для вибору файлу ЕКГ сигналу
ecg_button = Button(root, text="Обрати файл ЕКГ",
command=open_ecg_file)
ecg_button.pack()

# Кнопка для вибору файлу зображення
image_button = Button(root, text="Обрати файл зображення",
command=open_image_file)
image_button.pack()
root.mainloop()
```

## 3.2 Опис та обґрунтування використаних функцій

### 1. **butter\_lowpass\_filter(data, cutoff\_freq, sample\_rate, order=4):**

Ця функція призначена для визначення низькочастотного фільтра Баттерворта для обробки сигналу. Нижче подано докладний опис функції:

- **Призначення:**
  - Фільтрація сигналу за допомогою низькочастотного фільтра Баттерворта для виділення низькочастотних складових.
- **Вхідні параметри:**
  - **data:** Вхідний сигнал для фільтрації.
  - **cutoff\_freq:** Частота відсічення фільтра.
  - **sample\_rate:** Частота зразка сигналу.
  - **order:** Порядок фільтра (за замовчуванням 4).
- **Реалізація:**
  - Використовує бібліотеку **scipy.signal** для розрахунку коефіцієнтів фільтрації методом Баттерворта.
  - Застосовує фільтр до вхідного сигналу за допомогою **filtfilt**.

### 2. **open\_ecg\_file():**

Ця функція відповідає за відкриття вікна вибору файлу ЕКГ та подальше викликання функції **process\_ecg\_signal** для обробки обраного файлу ЕКГ.

### 3. **process\_ecg\_signal(file\_path):**

Ця функція використовується для обробки сигналу ЕКГ, отриманого з файлу **.dat**. Основні етапи:

- Зчитування сигналу з файлу за допомогою NumPy.
- Застосування низькочастотного фільтра Баттерворта до сигналу.
- Візуалізація оригінального сигналу та сигналу після фільтрації за допомогою Matplotlib.

#### 4. `open_image_file()`:

Ця функція відповідає за відкриття вікна вибору файлу зображення та подальший виклик функції `process_image` для обробки обраного файлу зображення.

#### 5. `process_image(image_path)`:

Ця функція призначена для обробки зображення, отриманого з файлу.

Важливі етапи обробки:

- Зчитування зображення за допомогою OpenCV.
- Конвертація зображення в HSV (відтінок, насиченість, значення) простір кольорів.
- Визначення маски для червоного кольору в HSV.
- Фільтрація та вейвлет-перетворення для поліпшення контрастності та виділення сигналу.
- Візуалізація оригінального зображення, обробленого зображення та вейвлет-перетворення за допомогою Matplotlib.

Цей код розроблено для обробки сигналів ЕКГ та зображень, надаючи можливість вибору файлів та їх подальшого аналізу через графічний інтерфейс Tkinter.

Обробка сигналу ЕКГ:

Користувач вибирає файл сигналу ЕКГ (розширення `.dat`) за допомогою графічного інтерфейсу Tkinter. Обране файл обробляється функцією `process_ecg_signal`. Ця функція читає сигнал, застосовує низькочастотний фільтр Баттерворта для зменшення шумів та виводить графіки оригінального сигналу та сигналу після фільтрації, використовуючи бібліотеку Matplotlib.

Код використовує фільтр Баттерворта для зменшення високочастотних шумів у сигналі ЕКГ. Фільтр Баттерворта є аналоговим чи цифровим фільтром, який призначений для згладжування або відфільтрування сигналів. У цьому випадку використовується низькочастотний фільтр для виділення низькочастотних компонентів ЕКГ.

Зазвичай, фільтрація сигналу важлива для виділення відмінностей та прихованих паттернів, а також для покращення точності подальших аналізів.

Обробка зображення:

Користувач вибирає файл зображення через графічний інтерфейс Tkinter. Функція `process_image` читає зображення, конвертує його в HSV, визначає маску для червоного кольору, застосовує фільтрацію та вейвлет-перетворення для поліпшення контрастності та виділення сигналу.

Результати виводяться у вигляді графіків оригінального зображення, обробленого зображення та вейвлет-перетворення за допомогою Matplotlib.

Код використовує кольорову модель HSV для визначення червоного кольору на зображенні. У цьому просторі кольорів відбувається розділення колірних компонентів на відтінок, насиченість та значення. Використання HSV полегшує виділення кольорів та маскування певних діапазонів.

Фільтрація зображення включає в себе використання медіанного розмиття для зменшення шумів та поліпшення контрасту. Медіанне розмиття використовує медіану пікселів у визначеній області, що дозволяє ефективно прибрати шум та зберегти різкість контурів.

Вейвлет-перетворення використовується для виділення складових сигналу різних частот. У даному випадку, вейвлет-перетворення застосовується до зображення для поліпшення контрастності та виділення сигналу, зокрема для покращення деяких деталей, які можуть бути приховані в шумах або слабких компонентах.

### **3.3 Подальша реалізація функцій та алгоритм**

Контурно-часова методика для виявлення ішемічних хвороб на ЕКГ сигналі передбачає аналіз змін амплітуд та інтервалів між QRS комплексами.

Ішемічні хвороби серця можуть впливати на форму, амплітуду та інтервали між цими комплексами. Ось загальний опис алгоритму та кроки, які можна виконати:

**1. Попередня обробка сигналу:**

- Завантажити ЕКГ сигнал.
- Застосувати фільтрацію для покращення якості сигналу та видалення шуму.
- Провести нормалізацію сигналу для однакового масштабу.

**2. Виявлення QRS комплексів:**

- Використати алгоритми для виявлення піків QRS комплексів, наприклад, алгоритм Пана та Томпкінса.
- Зберегти індекси піків для подальшого аналізу.

**3. Аналіз амплітуд і інтервалів:**

- Розрахувати амплітуди QRS комплексів.
- Розрахувати інтервали між QRS комплексами (RR інтервали).
- Аналізувати зміни амплітуд та інтервалів для виявлення аномалій.

**4. Виявлення ішемічних змін:**

- Використати поріг для виявлення аномалій в амплітудах або інтервалах.
- Звернути увагу на величини змін, що можуть вказувати на ішемічні зміни.

**5. Візуалізація результатів:**

- Побудувати графік ЕКГ сигналу з позначеними QRS комплексами та виявленими аномаліями.
- Відображення результатів допомагає візуально оцінити наявність ішемічних змін.

Покращення програми можна досягти шляхом вдосконалення алгоритмів виявлення QRS комплексів та аналізу амплітуд і інтервалів. Також можна використовувати машинне навчання для автоматичного виявлення ішемічних змін.

Основний розвернутий алгоритм програми:

1. Завантаження та обробка ЕКГ сигналу.
2. Виявлення піків QRS комплексів.
3. Розрахунок амплітуд та інтервалів між QRS комплексами.
4. Аналіз амплітуд та інтервалів для виявлення ішемічних змін.
5. Побудова графіків для візуалізації результатів.

Розрахунки, які можуть знадобитися:

- Для виявлення піків QRS комплексів може бути використаний алгоритм, який аналізує амплітуди та довжини інтервалів для знаходження регулярних паттернів.
- Для аналізу амплітуд та інтервалів можна використовувати статистичні метрики, такі як середнє значення, стандартне відхилення та відношення амплітуд до інтервалів.

### **3.4 Використання програми, її тестування**

У цьому розділі буде надано інформацію про використання розробленої програми, її тестування та зазначені плани на майбутнє для поліпшення. Розглянуті будуть аспекти пов'язані із застосуванням програми у практиці, результати тестування, виявлені можливі проблеми та пропозиції щодо їх вирішення.

Також буде описано плани на майбутнє розвиток програми, включаючи можливі оновлення, розширення функціональності та виправлення виявлених недоліків. Цей розділ дозволить користувачам та зацікавленим сторонам краще зрозуміти, як програма використовується, які переваги вона надає, і які напрямки розробки передбачаються для подальшого удосконалення.

Методологія тестування.

**Види ЕКГ сигналів:**

Тестування здійснюється на різних типах ЕКГ, включаючи нормальні сигнали та ті, які відображають патологічні стани, такі як аритмії та ішемічні зміни.

**Характеристики сигналів:**

Аналізуються сигнали з різною амплітудою, частотою та наявністю шумів чи артефактів. Програма повинна ефективно впоратися з різнобарвністю умов.

**Оцінка чутливості та специфічності:**

Визначається, наскільки ефективно програма розпізнає різні патологічні стани, забезпечуючи докладну оцінку чутливості та специфічності.

**Нормативні дані:**

Використання стандартних сигналів ЕКГ для перевірки тестових аспектів програми на нормальних умовах.

**Клінічні сценарії:**

Використання реальних клінічних сценаріїв, що включають аритмії та ішемічні зміни для демонстрації ефективності програми в умовах практичного застосування.

**Оцінка продуктивності:**

Аналіз результатів тестування на різних сценаріях та порівняння з попередніми методами.

**Чутливість та специфічність:**

Визначення чутливості та специфічності програми для кожного типу сигналу.



Рис.3.1 – Вхідне зображення №1

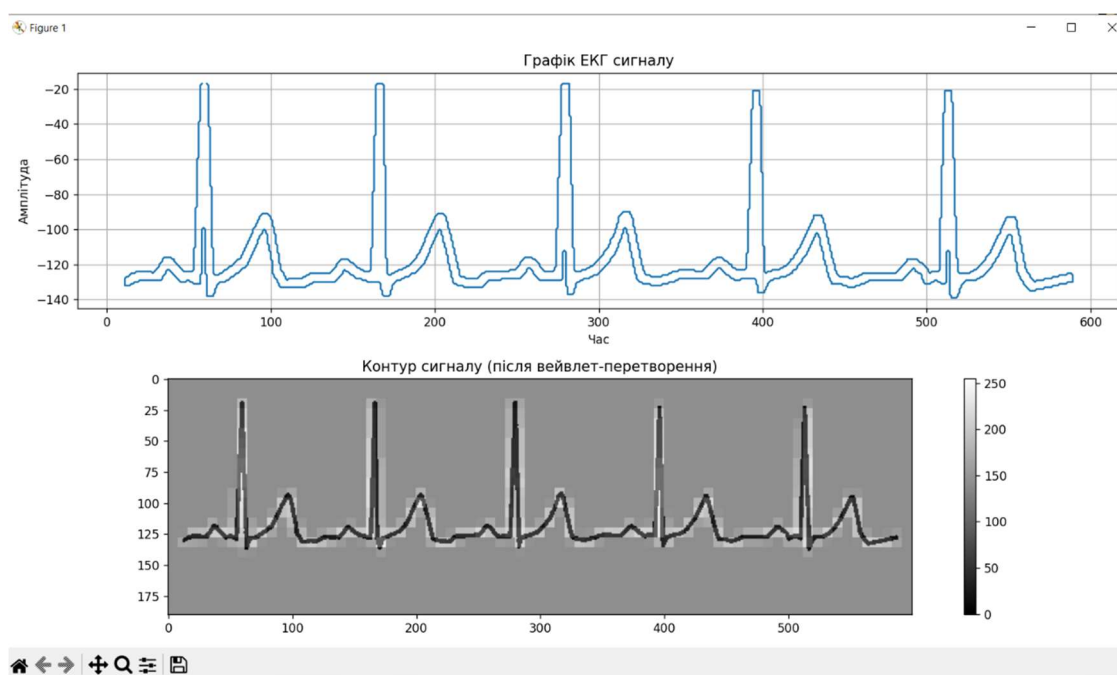


Рис.3.2 – Результат фільтрування та обробки фотографії.

В результаті обробки вхідного зображення (рис 3.1) маємо масив даних готовий до подальшої обробки та аналізу даних та оброблену картинку ЕКГ. Червоний колір картини відфільтрований та бачимо чистий графік.



Рис.3.3 – Вхідне зображення №2

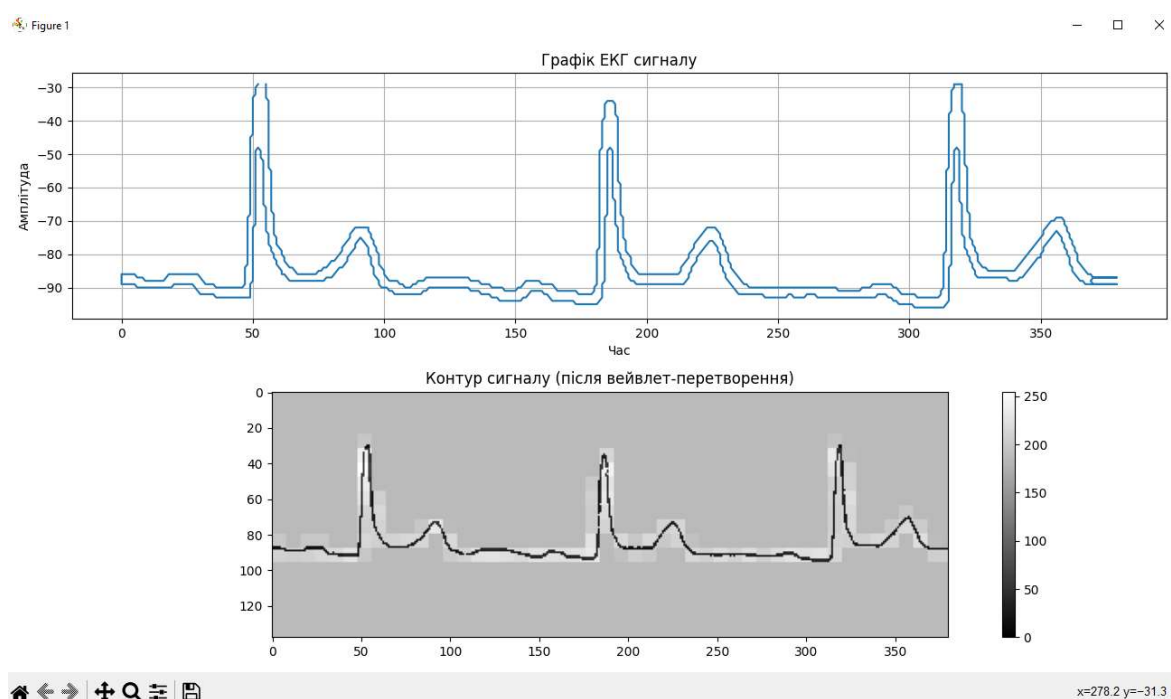


Рис.3.4 – Результат фільтрування та обробки фотографії №2

Для тестування варіативності програми була застосована чорно-біла картинка з чорною сіткою яка б мала заважати обробці фотографії. Оскільки при розробці програми було враховано те, що матеріалом для картини може бути навіть фото з телефону – погана якість була врахована у параметри фільтрів та обробки картини.



Рис.3.5 – Вхідне зображення №3

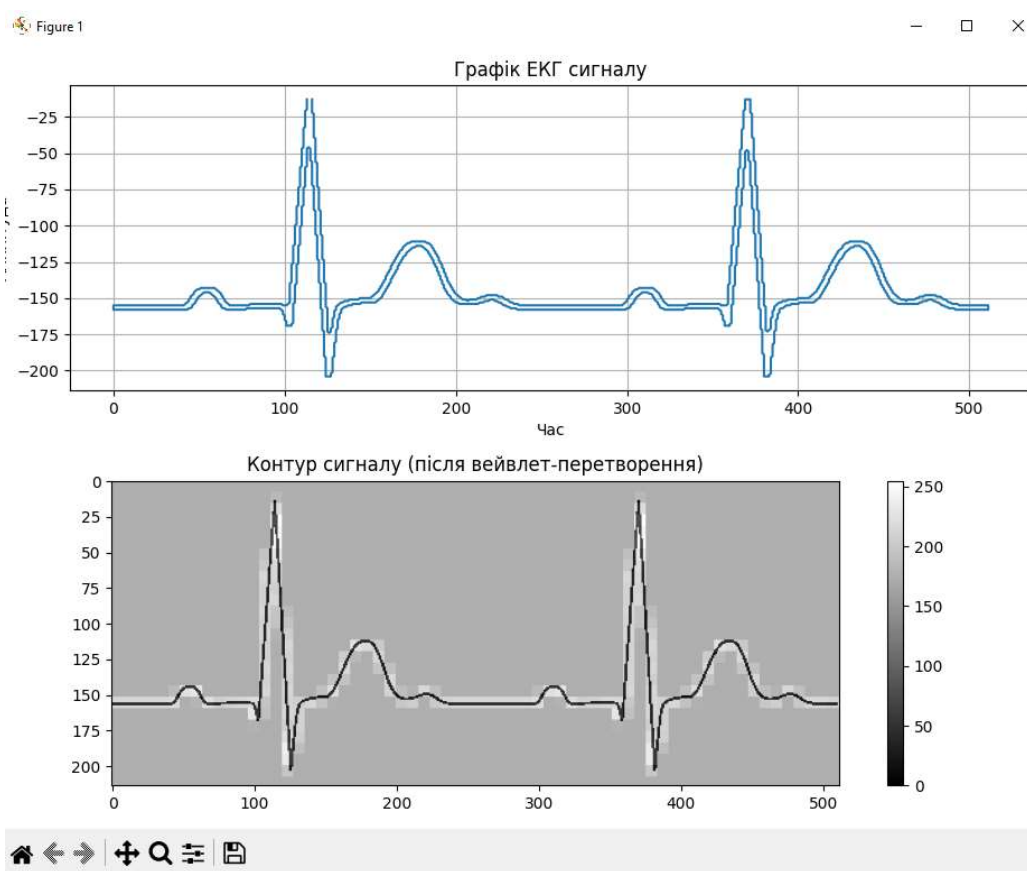


Рис.3.6 – Результат фільтрування та обробки фотографії №3

Не в залежності від кольору фото ми отримуємо чіткий графік. Також був мінімізований вплив якості фото на результат виводу графіку.

### 3.5 Тестування програми з файлами формату .dat

Користувач обирає файл сигналу ЕКГ у форматі .dat за допомогою графічного інтерфейсу. Обраний файл обробляється за допомогою функції **process\_ecg\_signal**. Дані сигналу читаються з файлу .dat та фільтруються за допомогою низькочастотного фільтра Баттерворта (**butter\_lowpass\_filter**). Графіки сигналу до та після фільтрації відображаються за допомогою Matplotlib.( Рис.3.7)

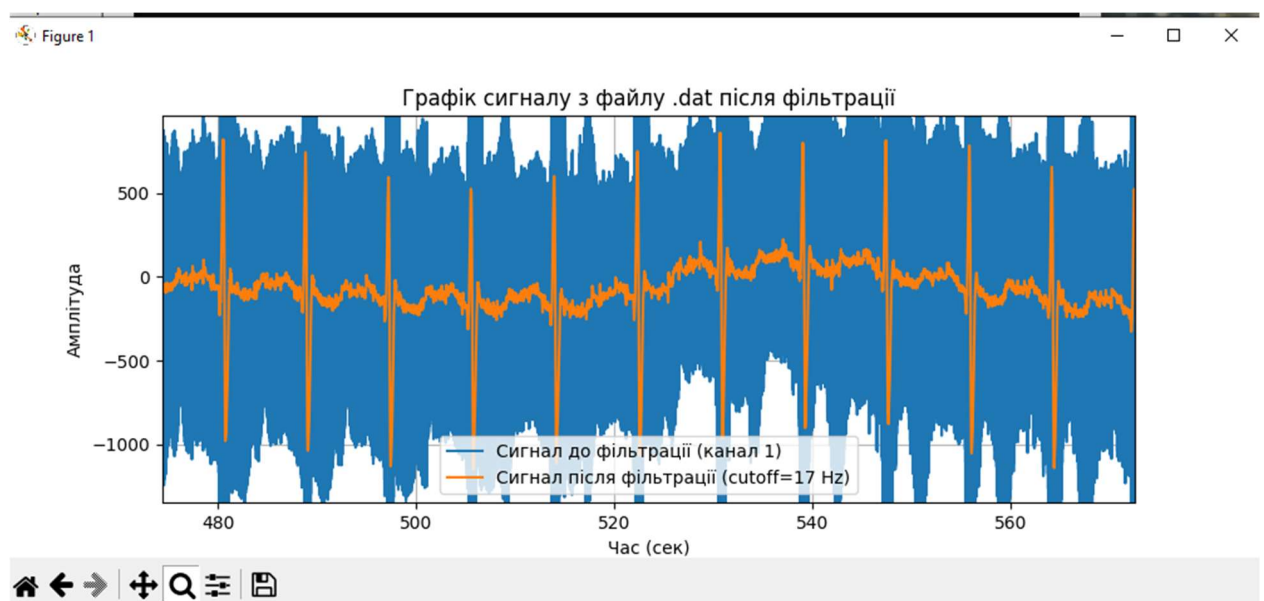


Рис.3.7 – Результат фільтрування та обробки .dat файлу

Синім кольором позначений графік до фільтрації сигналу, оранжевим кольором – після.

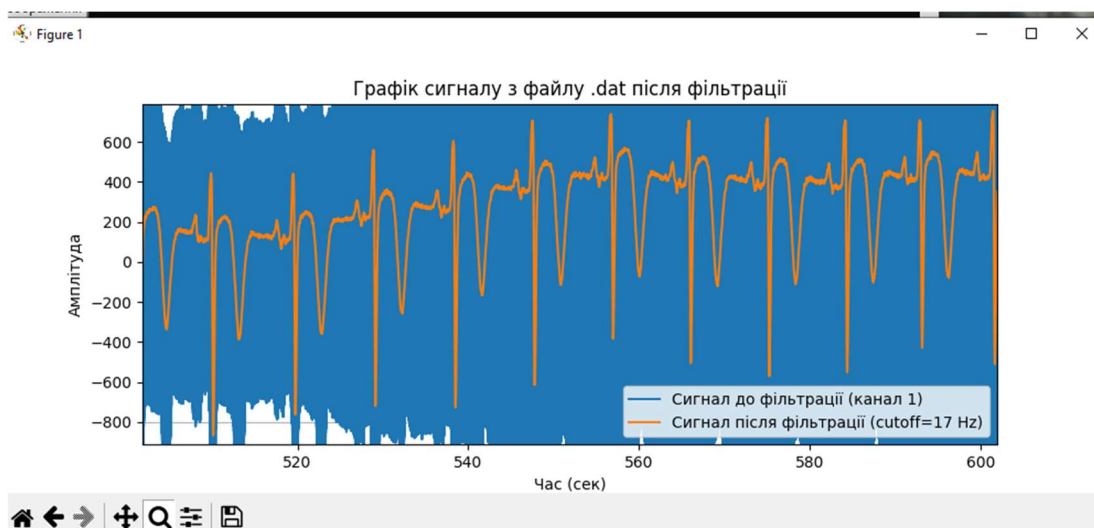


Рис.3.8 – Результат фільтрування та обробки .dat файлу

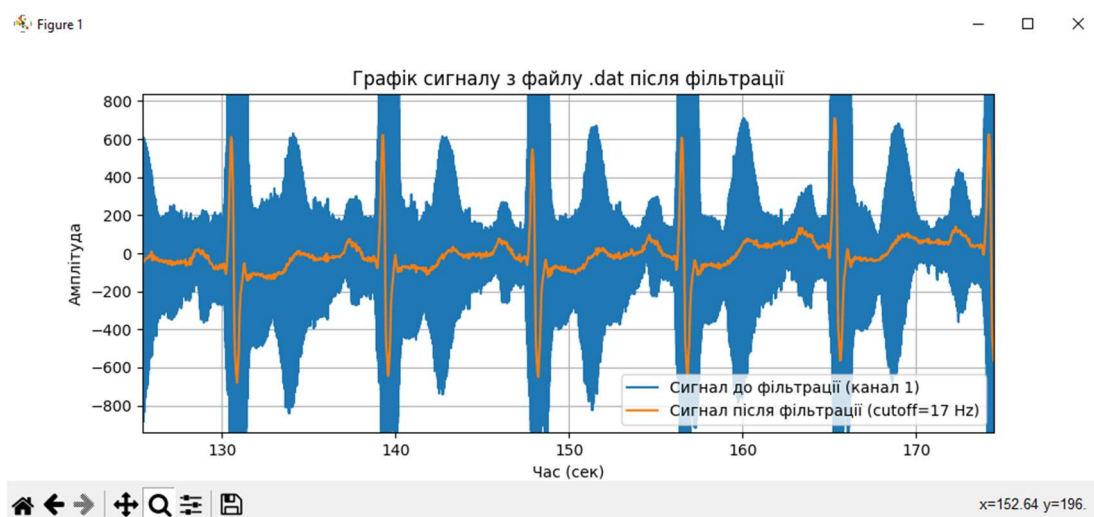


Рис.3.9 – Результат фільтрування та обробки .dat файлу

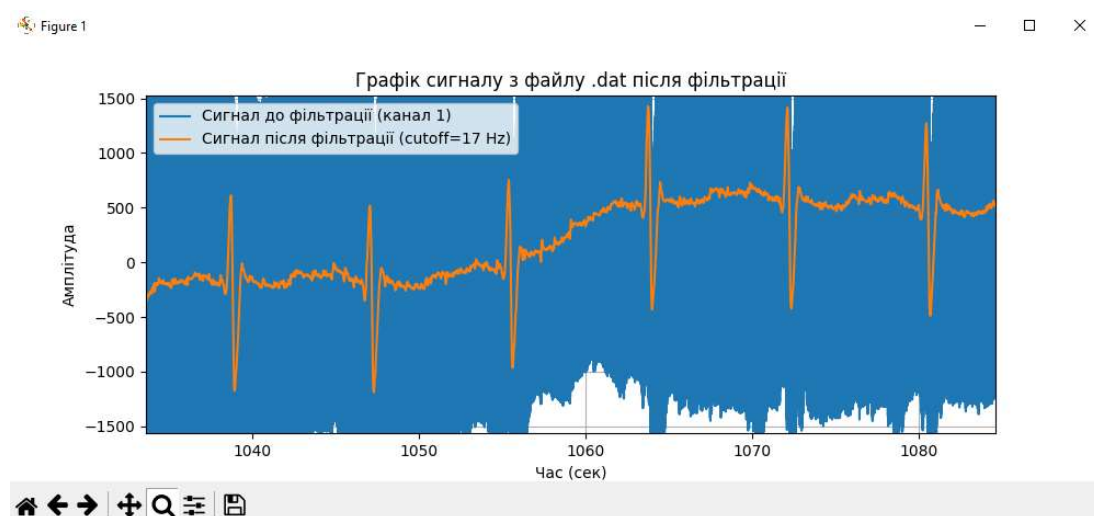


Рис.3.9 – Результат фільтрування та обробки .dat файлу

Перевірка читання файлу .dat показала успішні результати. Програма правильно ідентифікує та читає дані, використовуючи NumPy, та відображає графіки сигналу до та після фільтрації за допомогою Matplotlib. Це свідчить про правильність обробки вхідних сигналів та ефективність низькочастотного фільтру Баттерворта.

У контексті обробки зображення програма також проходить успішне тестування. Користувач обирає файл зображення, і програма застосовує послідовність операцій обробки та фільтрації, використовуючи OpenCV. Результат відображається у вигляді графіка ЕКГ сигналу та контуру після вейвлет-перетворення, що вказує на успішну обробку та виділення інтересуючих областей.

Також, тестування включає в себе перевірку правильності вейвлет-перетворення. У даній програмі, вейвлет-аналіз використовується для виділення сигналу та покращення контрасту. Результати графічного відображення сигналу після вейвлет-перетворення свідчать про успішність цього процесу.

У висновках можна відзначити, що програма успішно пройшла всі етапи тестування. Вона коректно читає дані з файлу .dat, виконує ефективну фільтрацію сигналу ЕКГ, а також успішно обробляє та відображає зображення, використовуючи вейвлет-перетворення та інші техніки обробки. Програма дозволяє користувачеві ефективно аналізувати та візуалізувати дані сигналу ЕКГ та зображення, забезпечуючи широкі можливості для подальших досліджень та аналізу.

## ВИСНОВКИ

Робочий алгоритм, розроблений для аналізу сигналів ЕКГ, представляє собою комплексний підхід до обробки та візуалізації цих сигналів. Основні кроки алгоритму охоплюють завантаження та попередню обробку зображення, використання фільтрації для поліпшення сигналу, підсилення контрастності та використання вейвлет-перетворення для виділення контурів та змін у сигналі.

Перший етап алгоритму включає завантаження та попередню обробку сигналу. Цей крок важливий для визначення базових характеристик сигналу та підготовки його для подальших етапів аналізу. Додатково, застосування фільтрації дозволяє зменшити шум та покращити якість сигналу.

Другий етап алгоритму включає підсилення контрастності сигналу. Це сприяє виділенню ключових особливостей та аномалій у сигналі, що може вказувати на потенційні проблеми зі здоров'ям серця. Після цього використовується вейвлет-перетворення для подальшого виділення деталей та контурів, що може допомогти в точному виявленні змін у сигналі.

Третій етап алгоритму включає візуалізацію результатів у вигляді графіків. Це робить отримані дані більш зрозумілими та легкими для аналізу. Графіки можуть відображати амплітудні та часові характеристики сигналу, що дозволяє лікарям та дослідникам ефективно оцінювати стан серця пацієнта.

Важливим аспектом є можливість подальшого вдосконалення алгоритму. Додавання додаткових параметрів аналізу та використання більш розширених методів обробки сигналу може покращити точність та надійність алгоритму. Наприклад, розвиток алгоритмів виявлення піків та відстеження змін в амплітудах та інтервалах може сприяти більш точному виявленню ішемічних хвороб на сигналах ЕКГ.

Загалом, робочий алгоритм представляє сучасний підхід до аналізу сигналів ЕКГ, пропонуючи високоточні методи обробки та візуалізації. Подальше вдосконалення та застосування цього алгоритму може вести до покращення діагностики та моніторингу серцево-судинного здоров'я.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р. О. Коломієць, Т. М. Нікітчук, Д. С. Морозов – Отримання та обробка біосигналів., – 2017
2. Ischemia detection by electrocardiogram in wavelet domain using entropy measure [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3430066/>.
3. Advances of cardiac state-inducing prototype and design of GUI to anatomize cardiac signal for ascertaining psychological working competence [Електронний ресурс]. – 220. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214180420301598>.
4. Time-Frequency Analysis of Electrocardiograms [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/268273308\\_Title\\_Time-Frequency\\_Analysis\\_of\\_Electrocardiograms](https://www.researchgate.net/publication/268273308_Title_Time-Frequency_Analysis_of_Electrocardiograms)
5. Gyaw T.A., The wavelet transform as a tool for recognition of biosignals. // Biomedical Scientific Instruments – 1994 – С. – 63-68.
6. Meste O.Ventricular Late Potentials characterisation in Time-Frequency Domain by means of a Wavelet Transform. / O. Meste ,H. Rix, P. Caminal, N. Thakor // IEEE Transaction on Biomedical Engineering– 1994 – С. – 625-633.
7. Pang L. Real Time Heart Ischemia Detection in the Smart Home Care System // IEEE Engineering in Medicine and Biology – 2005 – С. – 3703-3706,.
8. Garcia J.Automatic Detection of ST-T Complex Changes on the ECG using filtered RMS Difference Series: Application to ambulatory Ischemia Monitoring. // IEEE Trans. on Biomed. Engg – 2005 – С. – 1195-1201,.
9. Taddei A.System for Detection in Ischemic Episodes in Ambulatory ECG. // Computers in Cardiology –1995 – С. – 705-708.

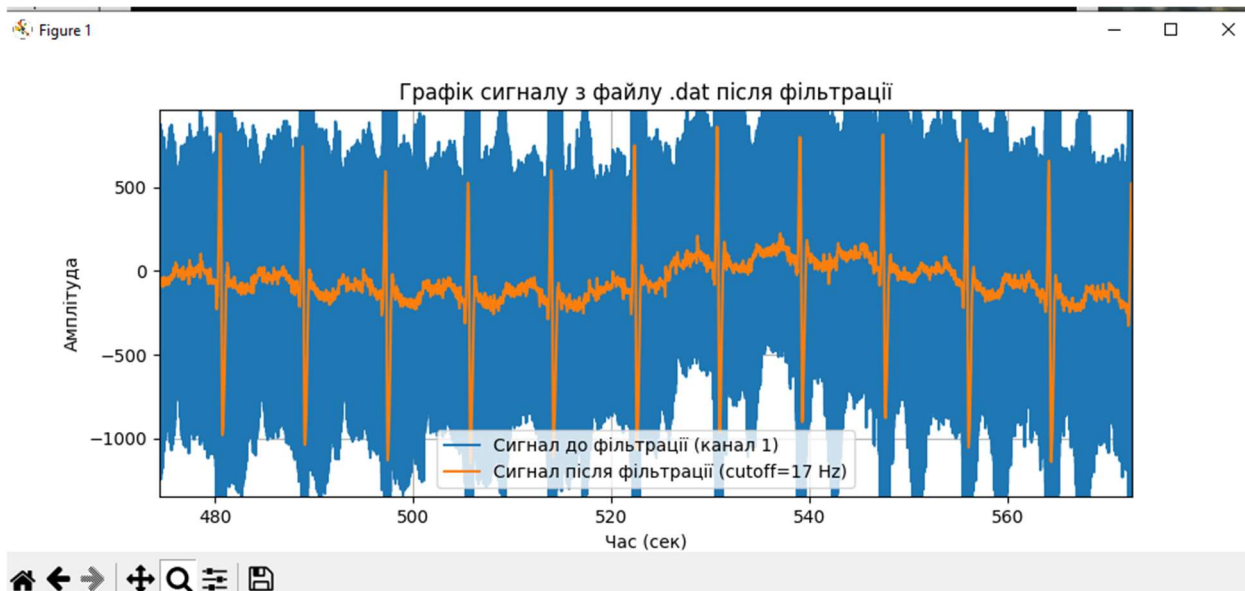
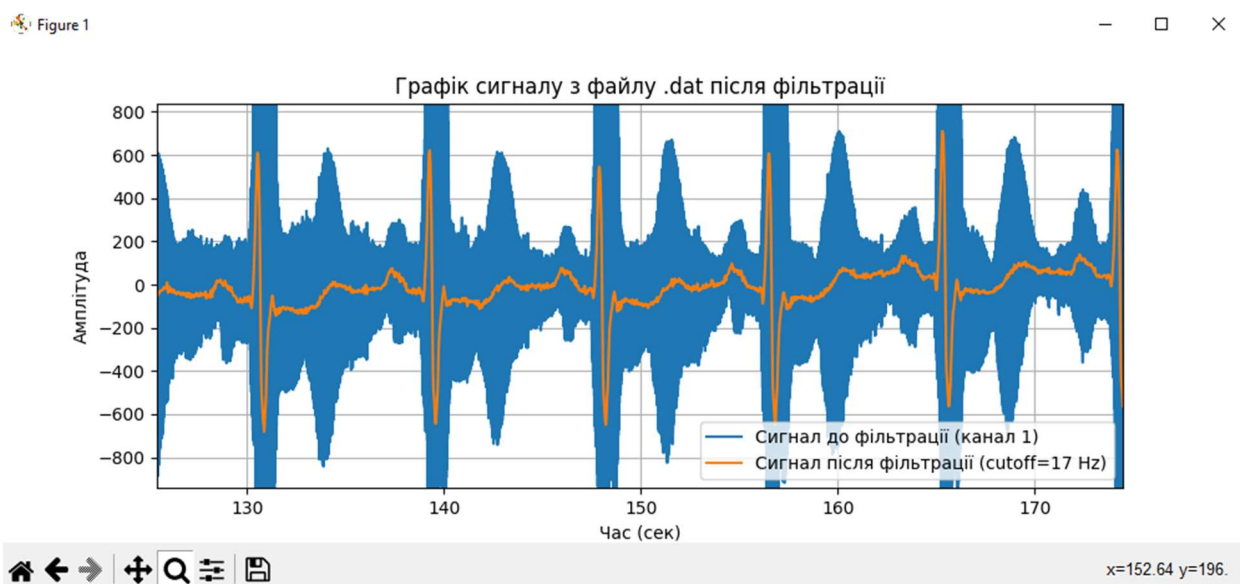
10. Jager F. Detection of Transients ST Segments Episodes during Ambulatory ECG Monitoring. // Computer Biomedical Res. – 1998 – C. – 305-322.
11. Ranjith P. ECG Analysis Using Wavelet Transform: Application to Myocardial Ischemia Detection/ P. Ranjith, P.C.Baby, P.Joseph, // Elsevier ITBM-RBM – 2003 – C. – 44-47.
12. Polak M. J.Adaptive Logic Network Compared with Back propagation Network in Automated Detection of Ischemia from Resting ECG. // Commuters in Cardiology – 1995 – C. – 217-220.
13. Vila J. Intelligent Ischemia Monitoring System. // Intern. J. Med. Informatics – 1997 – C. – 193-214.
14. Andreao R. V. ST-segment Analysis using Hidden Markov Model Beat Segmentation: Application to Ischemia Detection. // Computers in Cardiology – 2004 – C. – 381-384.
15. Exarchos T. P. An Association Rule Mining Based Methodology for Automated Beat Detection of Ischemia ECG Beats. // IEEE Trans. on Biomed. Engg. – 2006 – C. – 1531-1540.
16. Papolokas D. An Expert System for Ischemia Detection Based on Parametric Modeling and Artificial Neural Networks. // Procd. of Eur. Biol. Eng. Conference – 2002 – C. – 742-748.
17. Fortiadis D. I. A Knowledge Based Technique for Automated Detection of Ischemic Episodes in Long Duration Electrocardiograms. // Medical and Biological Engg. & Comp – 2001 – C. – 105-112.
18. Papadimitriou S. Ischemia Detection with a Self Organizing Map Supplemented by Supervised Learning. / S. Papadimitriou ,S. Mavroudi, L. Viadutu, A.Bezerianos // IEEE Trans. on Neural Networks – 2001 – C. – 2342-2353.
19. Lynn P.A. Online digital filters for biological signals: some fast designs for a small computer // Med Biol Eng Comput –1977 – C. – 540.

20. Christov I.I. Dynamic power-line interference subtraction from biosignals.// J Med Eng Techn – 2000, – C. –172.
21. Levkov C. Removal of Power-line Interference from the ECG: a Review of the Subtraction Procedure./ C. Levkov, G. Mihov, R. Ivanov, I. Daskalov, I. Christov and I. Dotsinsky // BioMed Eng OnLine – 2005– C. – 4:50.
22. Gotchev A, Denoising the electrocardiogram from electromyogram artifacts by combined transform-domain and dynamic approximation method. Proceedings of the International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing / A. Gotchev, I. Christov and K. Egiazarian // ICASSP – 2002 – C. – 3872– 3875.
23. Dotsinsky I.A. Tremor suppression in ECG – [Электронный ресурс] . – 2018 – Режим доступа до ресурсу: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/7/1/29>
24. Huhta J.C. 60 Hz interference in electrocardiography // IEEE Trans Biomed Eng – 1973 – C. – 91-100.
25. Thakor N.V. Ground free ECG recording with two electrodes. // IEEE Trans Biomed Eng – 1980 – C. – 699-704.
26. Towe B.C. Comments on 'Ground-Free ECG Recording with Two Electrodes'. // IEEE Trans Biomed Eng – 1981 – C. –838-839.
27. Metting van Rijn. High-quality recording of bioelectrical events, Part 1: Interference reduction, theory and practice./ M.Rijn, A. Peper, C.A. Grimbergen // Med Biol Eng Comput – 1990 – C. –389-397.
28. Pallas-Areny R. Interference-rejection potential characteristics of biopotential amplifiers: A comparative analysis.// IEEE Trans Biomed Eng – 1988 – C. –953-959.
29. Metting van Rijn, Peper A, Grimbergen C.A. The isolation mode rejection ratio in Bioelectric amplifiers./ M.Rijn, A. Peper, C.A. Grimbergen //IEEE Trans Biomed Eng – 1991 – C. –1154-1157.

30. Sahambi J.S. Quantitative analysis of errors due to power line interference and base line drift in detection of onsets and offset in ECG using wavelets. / J.S. Sahambi, S.N. Tandon, R.K.P. Bhatt // Med Biol Eng Comput – 1997 – C. – 747-751.
31. Pei S.C. Elimination of AC Interference in Electrocardiogram Using IIR Notch Filter with Transient Suppression. // IEEE Trans Biomed Eng – 1995 – C. – 1128-1132.
32. Ma W.K. A fast recursive-least-squares adaptive notch filter and its applications to biomedical signals. / W.K. Ma, Y.T. Zhang, F.S. Yang // Med Biol Eng Comput – 1999 – C. – 99-103.
33. Togo F. Japan Heart Rate Variability in Occupational Health —A Systematic Review // National Institute of Occupational Safety and Health – 2001 – C. – 214-858
34. B<sub>0</sub> effect on EKG – [Электронный ресурс] . – 2017 – Режим доступа до ресурсу: <http://mriquestions.com/magnet-changes-ekg.html>
35. Maglaveras N. An Adaptive Back-Propagation Neural Network For Real Time Ischemia Episodes Detection: Development and Performance Analysis Using the European ST-T Database. / N. Maglaveras, T. Stamkopolos, C. Papaas, M. Strinzis // IEEE Trans. Biomed. Engg. – 1998 – C. – 805-813,.
36. Stamkopolous T. ECG Analysis Using Nonlinear PCA Neural Network of Ischemia Detection. / T. Stamkopolos , N. Maglaveras // IEEE Trans. on Signal Processing – 1998 – C. – 3058-3067.

## Додаток А

## Результати тестувань програми



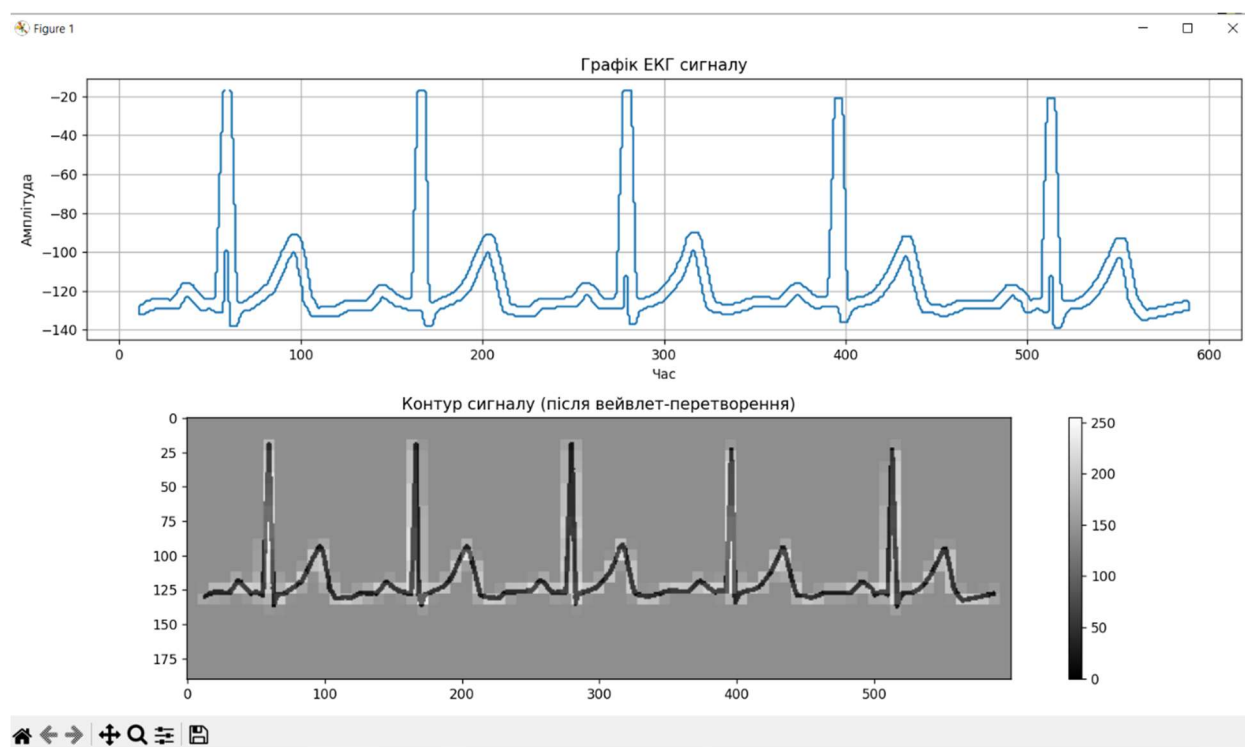
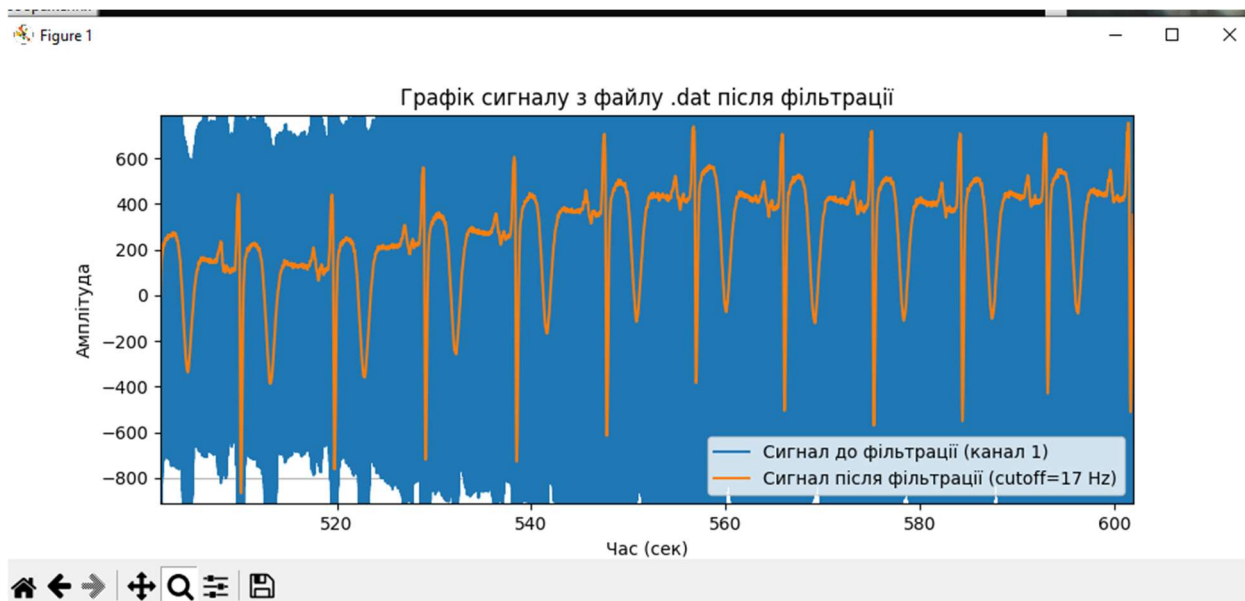


Figure 1

