

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Біотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу
в умовах невизначеності

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РБм-61
спеціальності 163 Біомедична інженерія

(шифр і назва спеціальності)

_____	Каплунова А.С.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____
_____	Яворська Є.Б.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____
_____	Хвостівський М.О.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____
_____	Яворська Є.Б.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____
_____	(прізвище та ініціали)
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу в умовах невизначеності» // Кваліфікаційна робота // Каплунова Анастасія Сергіївна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РБм-61 // Тернопіль, 2022 // с. –, рис. –, табл. –, додат. –, бібліогр. –.

Ключові слова: ЕКГ-СИГНАЛ, РАПТОВА СЕРЦЕВА СМЕРТЬ, УМОВИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ,, МЕТО ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА

У кваліфікаційній роботі магістра досліджено питання однієї з проблем сучасної кардіології – ризик раптової серцевої смерті. Для вирішення цієї проблеми необхідно удосконалити апаратно-програмну частину портативних систем реєстрації та обробки електрокардіосигналу шляхом удосконалення методів та засобів обробки ЕКС з врахуванням умов невизначеності.

В роботі запропоновано алгоритм аналізу часових параметрів ЕКС, за допомогою якого можна встановити початок реполяризації шлуночків для систем автоматизованої діагностики стану серця, який полягає в тому, що над сигналом проводиться операція згладжування артефактних сплесків, виділяються границі кардіоциклу і здійснюється пошук початку сегменту *ST* в заданому інтервалі.

Алгоритм обробки електрокардіографічної інформації дозволить діагностувати небезпечні для життя серцеві стани в умовах невизначеності і тим самим знизити ризик раптової серцевої смерті.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу
в умовах невизначеності

Виконала студентка гр. РБм-61 Каплунова А.С.
Керівник: Яворська Є.Б.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу в умовах невизначеності» // Кваліфікаційна робота // Каплунова Анастасія Сергіївна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РБм-61 // Тернопіль, 2022 // с. –, рис. –, табл. –, додат. –, бібліогр. –.

Ключові слова: ЕКГ СИГНАЛ, РАПТОВА СЕРЦЕВА СМЕРТЬ, УМОВИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, МЕТОД ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА

У кваліфікаційній роботі магістра досліджено питання однієї з проблем сучасної кардіології – ризик раптової серцевої смерті. Для вирішення цієї проблеми необхідно удосконалити апаратно-програмну частину портативних систем реєстрації та обробки електрокардіосигналу шляхом удосконалення методів та засобів обробки ЕКС з врахуванням умов невизначеності.

В роботі запропоновано алгоритм аналізу часових параметрів ЕКС, за допомогою якого можна встановити початок реполяризації шлуночків для систем автоматизованої діагностики стану серця, який полягає в тому, що над сигналом проводиться операція згладжування артефактних сплесків, виділяються границі кардіоциклу і здійснюється пошук початку сегменту *ST* в заданому інтервалі.

Алгоритм обробки електрокардіографічної інформації дозволить діагностувати небезпечні для життя серцеві стани в умовах невизначеності і тим самим знизити ризик раптової серцевої смерті.

ANNOTATION

Theme of qualification work: " Method and algorithm for processing the ECG signal under uncertainty " // Qualification work // Anastasia Kaplunova // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, RBm-61 // Ternopil, 2022 // P. __, Fig. - __, table. - __, appendix. - __, bibliogr. - __.

Keywords: ECG SIGNAL, SUDDEN CARDIAC DEATH, CONDITIONS OF UNCERTAINTY, HILBERT-HUANG METHOD

One of the problems of modern cardiology - the risk of sudden cardiac death - was investigated in the master's thesis. In order to solve this problem, it is necessary to improve the hardware and software part of portable electrocardiogram signal recording and processing systems by improving the methods and means of processing ECS, taking into account the conditions of uncertainty.

The paper proposes an algorithm for the analysis of time parameters of ECS, with the help of which the beginning of ventricular repolarization can be established for systems of automated diagnosis of the state of the heart, which consists in the fact that the operation of smoothing artifactual bursts is performed on the signal, the boundaries of the cardiocycle are distinguished and the beginning of the segment is searched for in the given interval.

The electrocardiographic information processing algorithm will make it possible to diagnose life-threatening heart conditions in conditions of uncertainty and thereby reduce the risk of sudden cardiac death.

ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Огляд електрокардіографів	
1.2 Види електрокардіографів	
1.3 Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	
2.1 Застосування теорії Гільберта-Хуанга	
2.2 Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
3.1 Опис алгоритму	
3.2 Методика виявлення реполяризації шлуночків	
3.3 Висновки до розділу 3	
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1 Охорона праці	
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	
4.3 Висновки до розділу 4	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. Насьогодні портативні системи діагностування захворювань та моніторингу функціонального стану організму людини отримують максимальне поширення. Згідно звітів світових дослідницьких компаній ринок носимих засобів моніторингу здоров'я постійно зростає зі швидкістю 43,3% на рік з 2013 по 2019 рр. та складає 8 млрд. дол. США у 2019 р. Зростання ринку викликане підвищенням попиту на інформаційні технології в медицині та підкріплене політикою багатьох держав на збереження здоров'я населення. В Україні значна увага приділена пристроям контролю та діагностування серцево-судинних хвороб. Застосування іновацій в цій області уможливить зниження летальних випадків від хвороб системи кровообігу.

Носимі девайси відрізняються підвищеними діагностичними можливостями в порівнянні з стаціонарними засобами аналізу ЕКГ-сигналу. Сучасні технології дозволяють розробляти та виробляти мініатюрні носимі пристрої реєстрації функціональних параметрів людини. Для їх роботи необхідно удосконалення класичних засобів та алгоритмів реєстрації та опрацювання ЕКС-сигналу, оскільки робота в умовах невизначеності відрізняється підвищеним фоном завад та меншим числом вимірювальних каналів та вимагає значної енергоефективності. Значний вклад у розвиток цієї галузі зроблено українськими науковими школами під керівництвом д.т.н., проф. Яворського Б.І., д.т.н., проф. Злепка С.М., д.ф.-м.н., проф. Драгана Я.П. та ін.

Однією із невирішених проблем сучасної охорони здоров'я залишається ризик раптової серцевої смерті (РСС). Поширеність РСС, яка сталась за межами стаціонару, в Європі складає близько 35 випадків на 100 000 населення. До цього схильні як особи похилого віку з відомими хворобами серця, так і молоді особи, які не підозрюють про присутність проблеми. Окремою категорією є особи, які схильні до ризику внаслідок специфіки їх роботи. Для зниження ризику РСС необхідно удосконалити портативні системи реєстрації та обробки ЕКС-сигналу як в апаратній частині, так і в програмній, удосконалюючи методи та засоби

опрацювання ЕКС-сигналу з врахуванням застосування їх в умовах невизначеності.

Тому удосконалення портативних систем реєстрації та обробки електрокардіографічної інформації як в апаратній, так і в програмній частинах шляхом удосконалення методів та засобів обробки інформації з урахуванням застосування їх в умовах невизначеності є актуально важливою науковою задачею.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження* є удосконалення методу завадостійкої обробки та аналізу ЕКС-сигналу для визначення симптомів РСС у портативних системах кардіодіагностики в умовах невизначеності.

Щоб досягнути мети, потрібно вирішити наступне:

1. Провести аналіз відомих методів автоматичного виміру параметрів ЕКС-сигналів в портативних системах кардіодіагностики.

2. Розробити алгоритм аналізу ЕКС-сигналу для визначення початку реполяризації шлуночків серця та виявлення ризику РСС в умовах невизначеності. аналізу ЕКС-сигналу для діагностування стану серця в умовах невизначеності.

3. Розробити структуру портативної системи кардіодіагностики з метою реалізації запропонованого алгоритму

Об'єкт дослідження: портативні системи обробки електрокардіографічної інформації.

Предмет дослідження: є методи та алгоритми автоматизованого фізіологічного стану людини.

Методи дослідження для вирішення поставлених завдань у роботі було використано теоретичні основи діагностування стану ССЗ, теорія цифрової обробки сигналів, теорія системного аналізу, теоретичні засади радіотехніки. Для програмної реалізації використано ППЗ MATLAB.

Наукова новизна отриманих результатів. Теоретичне та експериментальне визначення ефективних методів аналізу ЕКС-сигналів у портативних системах кардіодіагностики в умовах невизначеності для виявлення ризику РСС.

Апробація результатів дослідження. Представлені в роботі результати доповідались та обговорювались на XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2022 р.).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Раптова смерть від серцевої недостатності зустрічається досить часто. Присутність кардіальної патології не всі зауважують, таке відбувається на ранніх стадіях хронічного плину хвороби, яка з часом переходить в гостру стадію. Міокард перестає виконувати основну функцію, органи і тканини не отримують кисень і це призводить до летального наслідку. До групи ризику входять не тільки особи похилого віку. Близько 5% випадків РСС зустрічається у молодих людей. Актуальність проблеми розвитку РСС внаслідок серцевої недостатності залишається досить високою.

1.1 Огляд електрокардіографів

Пристрій, який забезпечує реєстрацію електроімпульсів, які виникають при роботі серця – електрокардіограф – є важливим для спеціалістів поліклінічних та стаціонарних відділень, реанімаційних відділень, для бригад швидкої та екстренної допомоги. Сучасний кардіограф – це компактний пристрій, який забезпечує синхронну реєстрацію біоелектричних потенціалів від 1 до 12 відведень.

В залежності від виробника та встановленого ПЗ апарати ЕКГ можуть:

- забезпечувати отримання заключення за результатами контурного аналізу ЕКГ;
- автоматично підключати спеціальні відведення на випадок діагностування аритмії та ін. гострих патологій;
- проводити тривалий моніторинг серцевої діяльності із збереженням результатів в пам'яті пристрою;
- надавати дистанційний доступ до результатів діагностування.

ЕК складається з декількох блоків. Вхідний блок містить:

– електроди – 4 електроди накладаються на кінцівки та від 1 до 6 електродів, в залежності від каналності пристрою, накладаються на грудну клітину;

– кабелі відведень відповідають за передачу сигналів від електродів на пристрій;

– перемикач відведень.

Важливим компонентом конструкції ЕК є підсилювач електричних сигналів від поверхні тіла людини. Реєструючий пристрій відповідає за запис реєстрованого сигналу на папір.

1.2 Види електрокардіографів

За видом ЕК відрізняються каналністю – одноканальні та багатоканальні з трьох, шести або дванадцяти каналами. ЕК може бути стаціонарним або переносним, з дисплеєм або без нього, з функцією інтерпретації або без неї.

Сучасні різновиди ЕК – комп'ютерний бездротовий апарат, який з'єднується з ЕОМ за рахунок технологій Bluetooth та передає на нього данні кардіограми, при цьому забезпечуючи не лише електричну безпеку, але й вільне переміщення пацієнта.

1.2.1 Вибір апарату ЕК за кількістю каналів.

При виборі ЕК важливо враховувати його характеристики і в першу чергу необхідно визначитись з його каналністю.

Кількість одночасно працюючих каналів визначає працездатність пристрою. ЕК визначає 12 каналів, при цьому одноканальна модель записує послідовно кожен з них, трьохканальний апарат ЕК – по 3 одномоментно. Шести- і дванадцятиканальні моделі ЕК найбільш працездатні, перші знімають запис з 6 каналів, другі – зі всіх одночасно.

Одноканальні ЕК – це найпростіші мобільні апарати ЕКГ, які частіше всього використ низькою вагуються в умовах швидкої допомоги. Вони відрізняються компактністю, малою вагою, мінімальним набором керуючих

елементів, можливістю роботи як від мережі, так і від акумуляторної батареї, а також низькою вартістю та обмеженим функціоналом.

Трьохканальні апарати ЕК – забезпечують виведення результатів діагностування. Друк здійснюється за допомогою термопринтера автоматично або вручну. Окрім даних обстеження можна додати жодаткові дані про пацієнта: ПІБ, вік, покази пульсу тощо. Присутня можливість перенесення отриманих даних на ПК.

Трьохканальні ЕК проводять автоматичні розрахунки основних показників, не потребуючи контролю з боку персоналу. Деякі пристрої оснащені функцією дефібриляції.

Шестиканальні ЕК мають більшу область застосування. Цей вид апарату для зняття ЕКГ найбільш поширений, вони найчастіше закупляються державними, приватними клініками, госпіталями тощо. Апарати такого класу мають великий об'єм пам'яті (близько 1000 ЕКГ), вбудований жорсткий диск з об'ємом від 10 ГБ.

6-канальні апарати ЕКГ мають більш потужний акумулятор, який забезпечує можливість реєструвати 100-150 кардіограм безперервно. Такі пристрої відрізняються більш високою швидкістю друку і дають можливість використовувати папір різних форматів.

На дисплеї 6-канальних ЕК відображаються важливі дані про стан пристрою, об'єм вільної пам'яті, рівень заряду батареї, сповіщенні про закінчення паперу або від'днання електродів тощо.

Дванадцятиканальні ЕК використовуються для реєстрації та вимірювання біоелектричних потенціалів серця за 12 відведеннями. Вони часто використовуються в хірургії, ортопедії, терапії, а також в реабілітаційно-відновлювальній медицині.

12-канальні ЕК – медичні пристрої з максимальним потенціалом, які забезпечують складні дослідження роботи серця з одночасною перевіркою багатьох параметрів. Саме такі ЕК уможливають виявлення мінімальних відхилень серцевого ритму.

Пристрої мають максимальний об'єм пам'яті, що дає можливість робити записи тривалістю більше години.

Керування його здійснюється через ПК, що забезпечує зручність внесення та передачі додаткових даних про пацієнта.

Такі кардіографи забезпечують контроль за важливими показниками пацієнта: пульс, аритмія тощо. Показники норми задаються для кожного пацієнта. При визначенні похибки подається звуковий сигнал.

Найбільш сучасні, зручні та функціональні апарати ЕКГ на сьогоднішній день – це комп'ютерні кардіографи. Компактні, прості в управлінні, що поєднуються з планшетом або ПК, комп'ютерні кардіографи застосовуються для проведення стрес-тест досліджень та електрокардіографії у стані спокою.

1.2.2 Кардіографи з дисплеєм

Вибираючи серед видів сучасних електрокардіографів, зверніть увагу на апарати зняття ЕКГ з дисплеєм. Якщо в конструкції приладу закладено екран, то робота з ним буде більш комфортною та швидкою.

Можливість попереднього перегляду результатів діагностики на моніторі приладу – дуже зручна та затребувана функція. Для цього кардіограф оснащується TFT або РК-дисплеєм, що дозволяє вивести результат на монітор до отримання його паперової версії.

Наявність дисплея збільшує вартість кардіографа на 30-50%, але значно полегшує роботу фахівця, дозволяючи попередньо переглянути на екрані результати діагностики та ухвалити рішення про необхідність друку ЕКГ. Це рішення дозволить заощадити термопапір у разі, якщо кардіограма була виконана з перешкодами та потребує повторення.

1.2.3 Ринок кардіографів

На сучасному ринку електрокардіографів свою продукцію пропонують понад 20 вітчизняних та закордонних виробників.

Деякі компанії мають в асортименті по 10 і більше різновидів одно-, три-, шести-і дванадцятиканальних приладів. Така велика кількість пропозицій значно ускладнює вибір.

Зазвичай фахівці при купівлі кардіографа покладаються на власний досвід, думки колег, інформаційні джерела, імідж виробника, цінову доступність.

Український споживач має можливість купити кардіограф від провідних європейських виробників:

SCHILLER CardioVit (Швейцарія),

CardioLine (Італія),

Innomed Medical (Угорщина),

Esaote (Італія),

GE Marquette Hellige (Німеччина).

Крім цього, на українському ринку широко представлені кардіографи виробництва країн Азії та Японії:

Fukuda Denshi Co. Ltd (Японія),

Edan (Китай),

Nihon Kohden Corporation (Японія),

BioNet (Корея),

TrisMed (Корея),

BIOCARE (Китай).

Зупинимося коротко на найбільш відомих брендах та пропозиціях від провідних фірм.

Популярні виробники кардіографів з Європи, США та Японії.

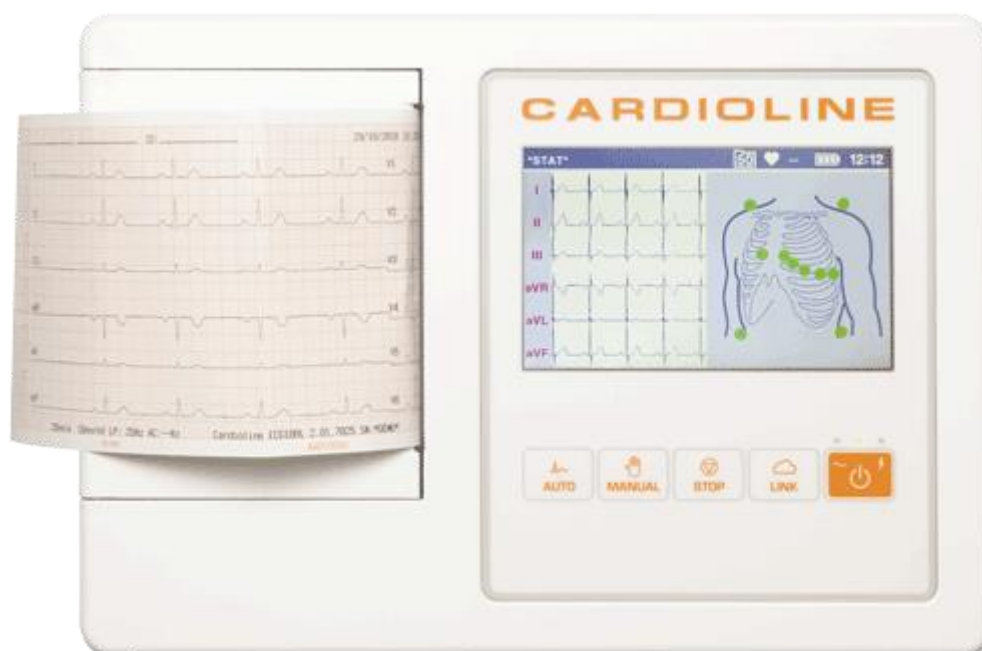
– Cardioline.

Один із лідерів ринку - італійський виробник Cardioline, що з'явився на ринку в 1950 році і добре відомий споживачам за брендом Cardiette.

Cardioline здійснює постачання своєї продукції до понад 50 країн світу. У лінійці Cardioline можна знайти всі види електрокардіографів: ці 3-х, 6-и, 12-канальні прилади безпечні, універсальні та надійні, вони втілюють останні технологічні ідеї та широкі можливості модернізації, їх можна легко адаптувати до індивідуальних потреб користувача.

Професійні електрокардіографи Cardioline відрізняються компактністю та зручністю використання. У лінійці Cardioline знайдуться моделі для застосування в умовах швидкої допомоги, і для великих кардіоцентрів, і для відділень функціональної діагностики.

Ці апарати ЕКГ мають вбудований Bluetooth для бездротового зв'язку з ПК. Кожну модель можна придбати в базовій комплектації або з додатковими функціями.



Зображення з сайту <https://cardioline.com/en/product-details-ecg1001/>

– SCHILLER

Компанія SCHILLER AG (Швейцарія), що є всесвітньо відомим виробником електрокардіографів та іншого кардіообладнання, випускає як прості, практичні та високоточні апарати ЕКГ та спірометри, так і складні медичні системи, мережеві монітори та прилади на базі.

Модельний ряд кардіографів SCHILLER великий: від компактних найпростіших апаратів CARDIOVIT AT-1 до інноваційної багатофункціональної діагностичної робочої станції Cardiovit CS-200, що поєднує всі можливості та

переваги попередніх поколінь кардіографів з останніми комп'ютерними досягненнями. Це техніка найвищої якості та відповідної ціни.



Зображення з сайту <https://prom.ua/p1335044708-elektrokardiograf-cardiovit-102.html?&primelead=Mt4yNQ>

– Fukuda Denshi Co.Ltd

Японська компанія Fukuda Denshi Co.Ltd. працює на світовому ринку медобладнання понад 60 років і має свої представництва у багатьох країнах світу.

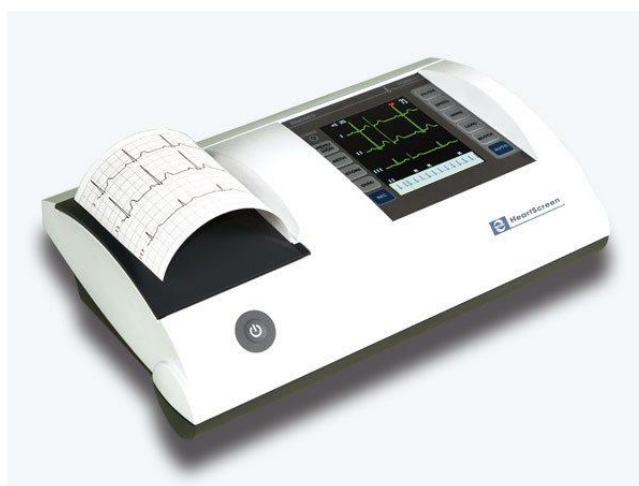
Вона займає третє місце по ввезенню ЕКГ-апаратури в нашу країну, поставляючи свою продукцію, виготовлену як у Японії, так і на власних заводах у Китаї. Варто зазначити, що вироблені в Китаї прилади коштують приблизно на 20% дешевше за «рідні» японські, що пояснюється різною вартістю робочої сили в одній та іншій країні.



Зображення з сайту <https://fukuda.com/>

– Innomed Medical Inc

Угорська компанія Innomed Medical Inc відносно молода, оскільки була заснована у 1989 році, але її електрокардіографи відомі не лише в Угорщині, а й у всьому світі. Мета компанії полягає у забезпеченні клієнтів сучасними рішеннями за оптимальною ціною та за низьких витрат на обслуговування. Модель кардіографа HeartScreen 80G стала призером у номінації "найкраще з кращого" на міжнародному конкурсі у сфері дизайну "RED DOT". Компанія випускає три-, шести- та дванадцятиканальні кардіографи. Незважаючи на багатофункціональність, прилади прості в експлуатації, надійні, забезпечують високу якість запису, мають можливість підключення до ПК.



Зображення з сайту <https://www.innomed.hu/en/>

– Esaote

Компанія Esaote - один з лідерів з виробництва медичних діагностичних систем. Esaote зарекомендувала себе як провідний європейський виробник УЗ продукції і займає одне з перших місць по випуску обладнання для спеціалізованої магнітно-резонансної томографії. Її модульні системи, що функціонують як окремі системи електрокардіографії або як частина більш складних високоефективних мереж, дають можливість кардіологам отримувати дані, численних кардіо-діагностичних досліджень (у тому числі ЕКГ спокою та під навантаженням, ехокардіографію та холтерівське моніторування) та керувати ними. Найбільш популярними є портативні моделі кардіографів виробництва «Esaote».



Зображення з сайту <https://www.esaote.com/ru-RU/ultrasound/ultrasound-systems/p/mylab-alpha/>

1.3 Діагностика патологій серця в умовах невизначеності

Для виявлення патологій серця застосовують різні підходи та методики, залежно від типу захворювання та його стадії. Одним із поширених та основних методів функціональної діагностики є метод холтерівського моніторування (ХМ). ХМ використовується для методики безперервного запису електрокардіограми в

декількох відведеннях ЕКГ, в умовах невизначеності, з подальшим дешифруванням в режимі off-line на спеціальних дешифраторах [3]. У всіх пристроях для такого моніторингу незмінною повинна залишатися базова частина методики: реєстрація ЕКГ у 2-3 відведеннях тривалістю від 18 до 24 годин в умовах вільної рухової активності (або у стаціонарного хворого). За показаннями, технічними можливостями або обставинами можуть використовуватися більш короткі або триваліший період запису [3].

Як правило, перед застосуванням моніторингу по Холтеру лікар застосовує інші види обстеження для виявлення або виключення деяких критичних захворювань. Одним із таких захворювань є інфаркт міокарда. Хоча іноді виявлення ІМ можливе й у процесі моніторингу.

Пропонований підхід аналізу ЕКС в умовах невизначеності схожий з процесом моніторингу по Холтеру, але переслідує інші цілі. Моніторинг по Холтеру призначений для виконання довгострокового спостереження пацієнта та подальшого вивчення його стану серця медичними фахівцями на підставі отриманого ЕКС протягом тривалого часу. Пропонований підхід, на відміну від ХМ, має на меті здійснення без участі висококваліфікованих медичних працівників короткострокового аналізу ЕКС та виявлення небезпечних для життя патологій серця в умовах вільної рухової активності пацієнтів із групи ризику. Прогнозування поведінки складного об'єкта, що у надзвичайній ситуації чи аварійному стані, можливе з урахуванням сучасних статистичних методів [4]. Аналіз ЕКС та виявлення патологій виконується з використанням можливостей сучасної обчислювальної техніки. Як таку техніку пропонується використовувати смартфон.

Послідовність дій запропонованого підходу наступна:

1. Реєстрація ЕКГ-сигналу та місцезнаходження.
2. Попередня обробка ЕКГ-сигналу.
3. Експрес оцінювання електричної стабільності серця.
4. Передача даних на сервер.
5. Повідомлення про стан.

Розглянемо особливості запропонованого підходу.

1. Початковою дією є виконання реєстрації ЕКС та місцезнаходження пацієнта. Реєстрація ЕКС здійснюється з використанням наведеного вище кардіопідсилювача.

Для реєстрації ЕКС пропонується спеціальний мініатюрний кардіопідсилювач. Він у порівнянні з обладнанням портативного реєстратора, який використовується при холтерівському моніторингу, має мінімальні розміри (2×3 сам підсилювач і кілька електродів для реєстрації ЕКС, що закріплюються в безпосередній близькості від підсилювача). Такий кардіопідсилювач завдає пацієнту мінімум незручностей і виконує реєстрацію сигналу лише по одному відведенню. Цього зазвичай досить для того, щоб виявити яскраво виражену небезпечну для життя патологію.

Отримання розташування пацієнта виконується на смартфоні з використанням служб GPS-навігації (зараз цими службами оснащуються практично будь-які нові смартфони). Керування кардіопідсилювачем здійснюється за допомогою обчислювального пристрою, здатного прийняти бездротовим каналом зв'язку зареєстрований ЕКС. Як основний пристрій виступає, як уже було сказано, смартфон. Взаємодія кардіопідсилювача та смартфона здійснюється бездротовим каналом зв'язку. Найбільш пріоритетним протоколом взаємодії є протокол Bluetooth 4.0. Цей протокол дозволяє передавати необхідний потік інформації за певну ділянку часу (в середньому 500 відліків за секунду), і в той же час він використовує енергозберігаючий режим роботи, що є дуже критичним для кардіопідсилювача.

Реєстрація здійснюється автоматично, за сигналом, що подається зі смартфона. Після сигналу, який повідомляє медальйон про те, що необхідно виконати реєстрацію ЕКГ, дані з кардіопідсилювача в режимі реального часу надходять на смартфон.

2. Після отримання ЕКС відбувається його попередня обробка. Вона полягає у видаленні з ЕКС перешкод, які виникають під час реєстрації сигналу в умовах вільної рухової активності. Перешкоди спотворюють отриману інформацію, і, отже, знижують достовірність результатів експрес-оцінки небезпечного для життя стану серця. Попередня обробка полягає у видаленні тренду ізолінії та виконанні

високочастотної фільтрації. Найбільш складною є процедура видалення монотонного тренду ізолінії.

Початок обробки проводиться з видалення тренду. Запропонований спосіб усунення монотонного тренду полягає у сортуванні функції та її апроксимації, побудованої на основі ряду, де коефіцієнти знаходяться за допомогою моментів високого порядку. Для підвищення ефективності придушення перешкод останнім часом широке застосування знайшли методи розкладання сигналів на вузькосмугові складові по локально зосереджених базисах.

Для усунення високочастотних перешкод в сигналах використовується емпірична модова декомпозиція (ЕМД). Емпіричні моди – це монокомпонентні складові сигналу, які замість постійної амплітуди та частоти, як у простій гармоніці, мають мінливу в часі амплітуду та частоту. ЕМ не мають суворого аналітичного опису, але повинні задовольняти умови, що гарантують певну симетрію та вузькосмугові базові функції. Основною перевагою ЕМД є висока адаптивність, пов'язана з тим, що базисні функції, що використовуються для розкладання сигналу, конструюються безпосередньо з досліджуваного сигналу, що дозволяє врахувати всі його локальні особливості, внутрішню структуру, присутність різних перешкод [5]. Крім адаптивності, розкладання має й інші важливі для практичних додатків властивості [5]: локальність (можливістю обліку локальних особливостей сигналу); ортогональність, що забезпечує відновлення сигналу з певною точністю; повнотою, що гарантує кінцівку числа базисних функцій за кінцевої тривалості сигналу.

Для придушення високочастотних (ВЧ) перешкод емпіричні моди, отримані в результаті емпіричної модової декомпозиції ЕКС, піддають нелінійній пороговій обробці (НПО), яка полягає у спеціальній нелінійній процедурі дискримінації відліків ЕМ на певному пороговому рівні відповідно до певних правил:

$$\eta(EM_j(i)) = \Psi(p),$$

де Ψ – деяка нелінійна гранична функція, p – поріг, i – номер відліку, j – номер (рівень розкладання) ЕМ.

Для реконструкції електрокардіосигналу, «очищеного» від перешкод, емпіричні моди, що піддаються нелінійній пороговій обробці, підсумовуються.

Найбільш серйозним недоліком описаного способу придушення ВЧ перешкод в ЕКС є обчислювальна складність класичного алгоритму емпіричної модової декомпозиції, що ускладнює реалізацію цього способу в реальному часі.

Тому, пропонується зменшення часу розкладання сигналу на монокомпонентні частотні складові у класичному алгоритмі емпіричної модової декомпозиції виключити процедуру відсіювання. При цьому перші наближення до ЕМ будуть вважатися частотними компонентами вхідного сигналу і саме до них застосовується НПО, а базис залишається адаптивним, оскільки отриманий безпосередньо з даних емпіричним методом.

При реалізації класичного алгоритму емпіричної модової декомпозиції виконується 6-8 ітерацій для якісного відсіювання ЕМ (так рекомендує Н. Хуанг у роботі [6]), а при розкладанні ділянки ЕКС у 2500-3000 відліків виходить 8-12 ЕМ. Таким чином, цикл виконується 48-96 разів. При усіченні алгоритму емпіричної модової декомпозиції кількість циклів скорочується у 6-8 разів. Якщо для усунення ВЧ перешкод використовувати лише три перших частотних компоненти, то кількість циклів буде лише 3, тобто. скоротиться приблизно в 12-32 разів.

3. Оброблений ЕКС надходить у блок виконання експрес-оцінки. Під експрес-оцінкою стану серця розуміється процес визначення в реальному масштабі часу наявності патології серця шляхом порівняння параметрів стандартного ЕКС з параметрами зареєстрованого сигналу. При цьому слід зазначити, що визначення критичного стану серця здійснюється без участі висококваліфікованих фахівців за допомогою виконання відомих алгоритмів визначення патологій серця за рахунок обчислювальних можливостей смартфона в автоматичному режимі.

Аналіз параметрів зареєстрованого ЕКС дозволяє зафіксувати порушення ритму, порушення проведення, порушення електричної осі серця, ектопічні та замінні скорочення, пошкодження міокарда.

Експрес-оцінка спрямована на виявлення інфаркту міокарда (ІМ), який є основним серцевим захворюванням з високим летальним результатом. Тому своєчасна діагностика інфаркту залишається актуальною проблемою в сучасній кардіології. До загальновизнаних ознак «ЕКС з відхиленням від норми» та визначенням ІМ належать:

1. Відсутність зубця R у відведеннях, розташованих над місцем інфаркту.
2. Поява патологічного зубця Q у відведеннях, які розташовані над областю інфаркту.
3. Підйом сегмента ST вище ізолінії у відведеннях, розташованих над місцем інфаркту.
4. Зміщення сегмента ST нижче ізолінії у відведеннях, протилежних до місця виникнення інфаркту.
5. Від'ємний зубець T у відведеннях, розташованих над областю інфаркту.

Якщо параметри ЕКС, що аналізується, відхиляються від нормальних значень, то аналізований сигнал відноситься до «ЕКС з ІМ». У цьому випадку необхідно здійснити виклик швидкої допомоги безпосередньо до місця перебування пацієнта.

Для аналізу ЕКС запропонований підхід, заснований на методах статистичної обробки сигналу, які показали хороші результати при ентропійно-параметричному аналізі функцій [7, 8]. Перевагами запропонованого підходу є можливість виявлення патологій шляхом порівняння статистичних параметрів досліджуваного сигналу зі статистичними параметрами нормального ЕКС. Цей спосіб заснований на таких статистичних параметрах, як коефіцієнт ентропії, контрексес, середнє відхилення квадратичне, коефіцієнт асиметрії. Для виконання аналізу виконують побудову функції розподілу параметрів ЕКС. Далі шляхом порівняння перерахованих вище параметрів з параметрами нормального сигналу отримують значення відхилення від норми. Висновок про тип патології

дозволяє зробити величину відхилення будь-якого параметра від норми, відомого для певної ділянки ЕКС.

4. Вся аналізована інформація та отримані в автоматичному режимі висновки про стан серця передаються на сервер додатків. Там, у разі потреби, відбувається детальний аналіз ЕКС вже за допомогою висококваліфікованого медичного персоналу. При цьому незалежно від того, коли відбувається детальний аналіз, якщо на смартфоні виявлено патологію серця, то виконується оповіщення власника про те, що необхідно в найкоротші терміни звернутися до найближчого медичного закладу.

1.4 Висновки до розділу 1

У розділі наведено опис ризиків та симптомів раптової серцевої смертності. ВСС - несподівана смерть, пов'язана з порушенням серцевої роботи, що сталася протягом години від появи симптомів у пацієнта з відомою серцевою хворобою. Відомо, що найнебезпечнішими ризиками РСС є інфаркт міокарда (ІМ) та травматичний шок (ТШ). У більшості випадків симптомами є фібриляція шлуночків.

Розглянуто підхід для аналізу ЕКС за умов невизначеності. Розглянуто етапи одного циклу аналізу, детально наведено опис аналізу сигналу та розглянуто способи усунення перешкод із сигналу.

Необхідно докладніше розкрити зміст етапів.

У першому циклі відбувається реєстрація ЕКС та його передача на смартфон. Крім того, виконується визначення місцезнаходження пацієнта за допомогою технології GPS.

У другому циклі здійснюється попередня обробка ЕКС. У пропонованому способі експрес-оцінки стану серця для створення адаптивного базису, що відповідає реальним змін сигналу в часі, використовується перетворення Гільберта-Хуанга.

У третьому циклі виконується експрес-оцінка електричної стабільності серця. Як розв'язання цього завдання запропоновано проводити оцінку стану

серця, засновану на ентропійно-параметричному аналізі параметрів ЕКС, що дозволяє встановити зміну основних зубців та сегментів ЕКС.

Далі виконується передача даних на сервер для додаткового і при необхідності більш глибокого аналізу та оповіщення пацієнта про стан серця.

На закінчення слід зазначити, що розглянутий підхід дозволяє виявити інфаркт міокарда у фізично активного населення, що перебуває у групі ризику, в умовах невизначеності та задокументувати передбачуваний діагноз захворювання.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Особливістю сигналів, отриманих при фізичних експериментах, і те, що вони, зазвичай, нестационарні і значно зашумлені. Застосування традиційних способів очищення сигналів від шумів за допомогою частотних фільтрів (згладжувальних, медіанних, Баттерворта та ін) призводять до значного спотворення форми сигналу, що може призводити до помилкової фізичної інтерпретації досліджуваного процесу.

Відомий інший спосіб очищення сигналів від шумів, що базується на використанні емпіричної модової декомпозиції Хуанга [22]. Спосіб полягає у розкладанні вихідного сигналу на складові (моди), потім у виключенні перших складових (від 1 до 3), які зазвичай являють собою шум, що міститься у вихідному сигналі.

Приклад зашумленої моделі сигналу показано на рисунку 2.1, на рисунку 2.2 — набір функцій розширення, а на рисунку 2.3- чистий сигнал, отриманий шляхом віднімання перших трьох функцій розкладання.

Основна перевага цього методу очищення сигналів від шуму в порівнянні з традиційними методами з використанням низькочастотних фільтрів (згладжування, медіанного, Баттерворта та ін.) полягає в тому, що фільтрація на основі емпіричного розкладу мод набагато менше спотворює форму вихідного сигналу.

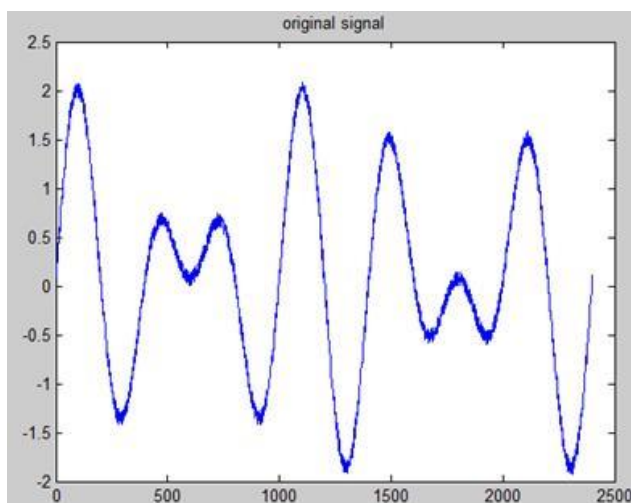


Рис. 2.1 – Приклад зашумленого модельного сигналу

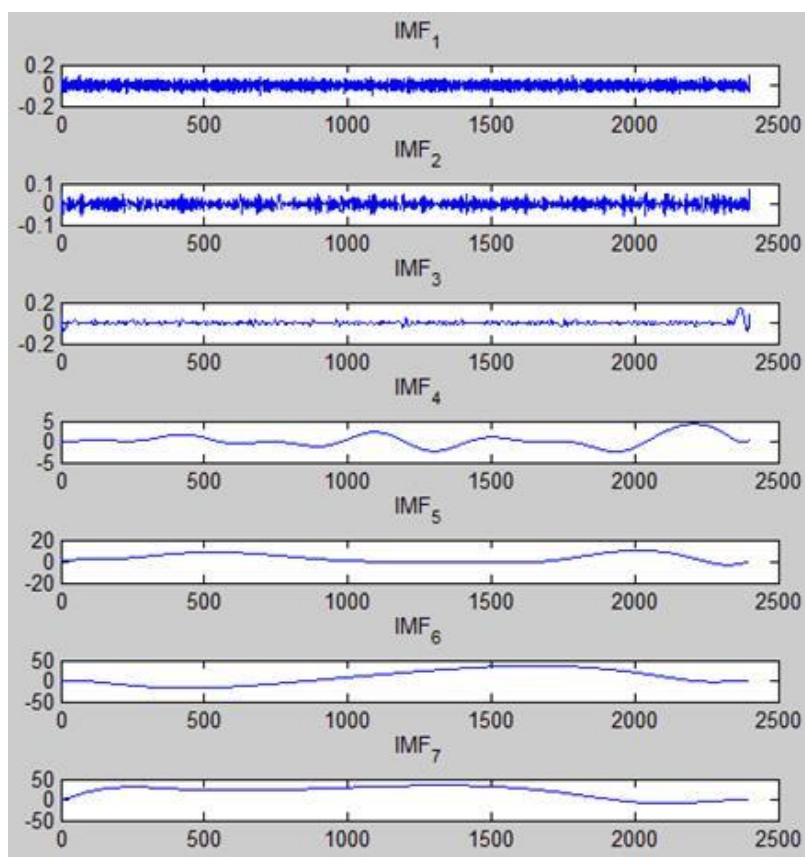


Рис. 2.2 – Набір функцій розкладу зашумленого модельного сигналу

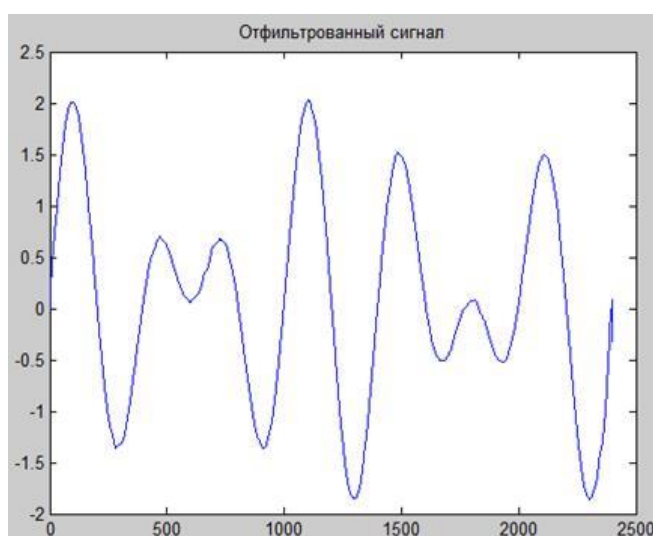


Рис. 2.3 – Сигнал очищений від шуму, в результаті віднімання перших трьох функцій розкладу

Досвід застосування декомпозиції Хуанга для обробки значно зашумлених сигналів, одержуваних при фізичних експериментах і наведених у [23], показали, що:

– розкладання Хуанга при різних реалізаціях шуму стає нестійким, тобто. вид одержуваних під час розкладання функцій IMF істотно змінюється при зміні експерименту;

– кількість функцій IMF, що є шумом, також змінюється при зміні експерименту: «шумовими» можуть бути як одна, так дві, три і більше функцій. Тим часом, коефіцієнт придушення шумів прийматиме значення приблизно від 4 до 12, залежно від того, скільки «шумових» IMF функцій виключено. Зрозуміло, що бажано автоматично визначати кількість «шумових» функцій та виключати їх усі. Неправильне визначення кількості шумових функцій призводить або до недостатнього ступеня очищення сигналу від шуму, або до значних спотворень очищеного від шумів сигналу, тому виключати фіксовану кількість функцій IMF не можна;

– у процесі декомпозиції відбувається поступове зменшення кількості екстремумів у функціях розкладання та внаслідок цього виникає проблема довизначення граничних значень функцій IMF. Інакше це призвело б до значних викидів в області граничних значень, а це, в свою чергу, призведе до помилкової фізичної інтерпретації функцій розкладання та ускладнило б очищення сигналу від шумів. У [24] пропонується робити довизначення за допомогою екстраполяції. У разі значно зашумленого сигналу реалізувати довизначення за допомогою екстраполяції важко.

Недоліки цього відомого способу очищення сигналів від шумів на основі емпіричної модової декомпозиції полягають у складності реалізації довизначення граничних значень функцій IMF і без критерію для автоматичного визначення того, які функції розкладання можуть розглядатися як «шумові».

Запропонований спосіб очищення сигналів від шумів містить читання з файлу з вихідним даними $Y[j]$, $j=1..N$, N – кількість точок дискретизації сигналу, визначення локальних екстремумів $Y_{\max}[k]$ та $Y_{\min}[k]$ і номерів елементів $j_{\max}[k]$ та $j_{\min}[k]$ масиву $Y[j]$, що відповідають цим екстремумам, кубічну сплайн-інтерполяцію масивів $Y_{\max}[j_{\max}[k]]$ та $Y_{\min}[j_{\min}[k]]$ та формування масивів $Y_{\max}[j]$ та $Y_{\min}[j]$, $j=1..N$, обчислення функції середніх

значень $M[j] = Y_{\max}[j] - Y_{\min}[j]$, $j=1..N$, обчислення першого наближення до першої функції моди $H[j] = Y[j] - M[j]$, обчислення другого наближення до першої функції моди підстановкою замість $Y[j]$ масиву $H[j]$ та повторення обчислень, обчислення третього та наступних наближень до першої функції моди, при максимальній кількості наближень, що дорівнює n , обчислення першого залишку $R1[j]$ шляхом віднімання з вихідного числового масиву даних $Y[j]$ n -го наближення до першої функції моди, обчислення другої та наступних функцій моди $Hs[j]$ та залишків $R s[j]$, $s=1..n$ шляхом повторення обчислень шляхом підстановки замість $Y[j]$ масиву $Hs[j]$, $s=1..n$, до визначення граничних значень функцій розкладання за правилом $Cs[1]=Cs[2]$, $Cs[2]=1.1*Cs[3]$, $Cs[3]=0.9*Cs[4]$, $Cs[N]=Cs[N-1]$, $Cs[N-2]=1.1*Cs[N-3]$, $Cs[N-3]=0.9*Cs[N-4]$, чим забезпечується формування одного мінімуму та одного максимуму на початку та в кінці функції розкладання, обчислення середніх значень функцій розкладання Cs_{sr} , віднімання з вихідного сигналу $Y[j]$ тих функцій розкладання Cs , модуль середнього значення яких менший за порогове значення, що визначається як $p*|C1sr|$, p -множник, пропорційний рівню шуму в оброблюваному сигналі $Y[j]$, $j=1..N$.

Основними онаками запропонованого способу очищення сигналу від шуму є те, що необхідна кількість наближень до функції моди і необхідна кількість функцій розкладання стає фіксованим і рівним n , незалежно від виду сигналу, причому значення n визначається ступенем зашумленості сигналу, при малій зашумленості значення n може бути взято рівним 4.

2.1 Застосування теорії Гільберта-Хуанга

Завдання обробки ЕКГ здебільшого вирішуються лікарем шляхом аналізу сигналів у часовій області, що обумовлено складною структурою самого сигналу та підвищеною швидкодією при прийнятті рішення [8]. Навіть за відсутності факторів ризику існують різні варіанти ЕКГ-сигналів, що значно ускладнює підходи до його обробки та аналізу у часовій області [9].

В умовах розвитку цифрової обробки сигналів традиційними стаються методи частотного аналізу ЕКГ для підвищення достовірності діагностики критичних станів пацієнта [10].

Теорія Гільберта - Хуанга (ННТ) є новою для розвитку області цифрової обробки сигналів та даних [11, 12]. ННТ застосовується для опрацювання різних медичних сигналів: ЕКГ [13], електроенцефалографія (ЕЕГ) [14], флюорографічні [15], мовні [16] та інші сигнали. Всі відомі способи спрямовані на ефективне придушення завад у сигналах та пошук нових інформативних параметрів для підвищення достовірності діагностики серцевих захворювань.

ННТ за своєю природою включає два методи: декомпозиція сигналу на емпіричні моди (DSEM) та спектральний аналіз Гільберта (SAG).

Перші роботи з обробки ЕКГ-сигналів з використанням ННТ представлені в 2002 [17, 18].

Теорія ННТ полягає в тому, що ЕКГ-сигнал на кожному рівні розміщення представляється у вигляді амплітудно-часових складових.

Перша група складових представляє собою швидко осцилюючу, деталізуючу, відповідальну за передачу високих частот компоненту сигналу. Друга складова – це компонента сигналу, яка повільно змінюється, апроксимується та відповідає за передачу низьких частот.

Перевагою ННТ є висока адаптивність до досліджуваного ЕКГ-сигналу, пов'язана з тим, що базисні функції, які використовуються для розкладу, формуються безпосередньо із самого сигналу, що дозволяє врахувати його локальні максимуми та мінімуми, структуру та присутність завад.

Застосування ННТ дозволяє подавати ЕКГ-сигнал у вигляді суми амплітудно-часових складових:

$$x(t) = \sum_{i=1}^I ATC_i(t) + r_i(t),$$

де $ATC_i(t)$ – амплітудно-часові складові сигналу (amplitude-time component, або ATC);

$r_i(t)$ – кінцева складова сигналу;

n - відлік часу ($0 < t < N$), N – число дискретних відліків часу в сигналі);

$i = 1, 2, 3, \dots, I$ – номер *AFC*-сигналу.

Приклад розкладання ЕКГ-сигналу на амплітудно-часові складові на рисунку 2.1.

За результатами розкладання (див. рис. 2.1) досліджуваного ЕКГ видно, що сигнал розкладений на 9 амплітудно-часових складових та результуючий залишок, сума яких дозволить отримати досліджуваний ЕКГ-сигнал без втрати його якості.

При проведенні *SAG* для кожної *ATC* ЕКГ-сигналу обчислюється миттєва частота, яка накладається на поверхню енергетичної густини (surface of energy density або *SED*) і обчислюється за виразом:

$$E(n) = \sum_{i=1}^I ATC_i^2(n) \exp(q \int \varpi_i(n) dn),$$

де $q = \sqrt{-1}$ – уявні одиниця;

ϖ – значення циклічної частоти кожної складової ЕКГ-сигналу.

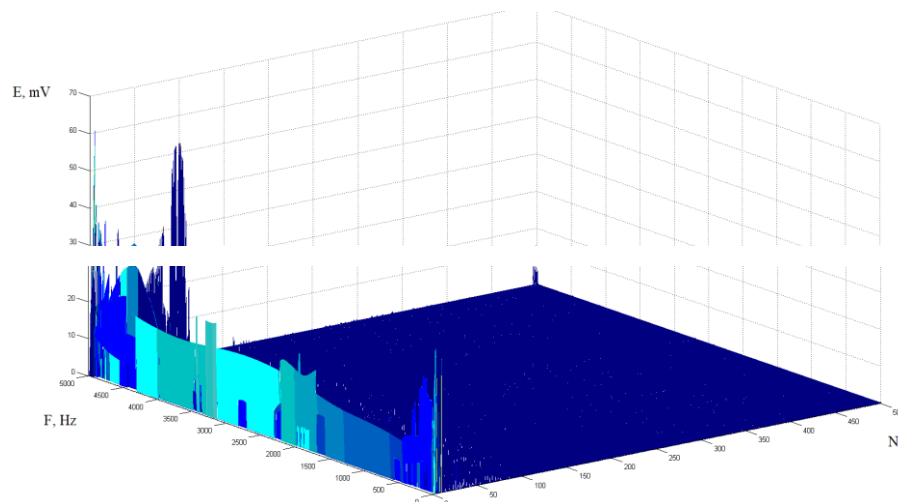


Рис. 2.2 – *SAG* ЕКГ-сигналу

З рис. 2.2 видно, що досліджуваний ЕКГ-сигнал є нелінійним та нестационарним, його характеристики мінливі при різних представленнях в системі координат енергія-частота-час.

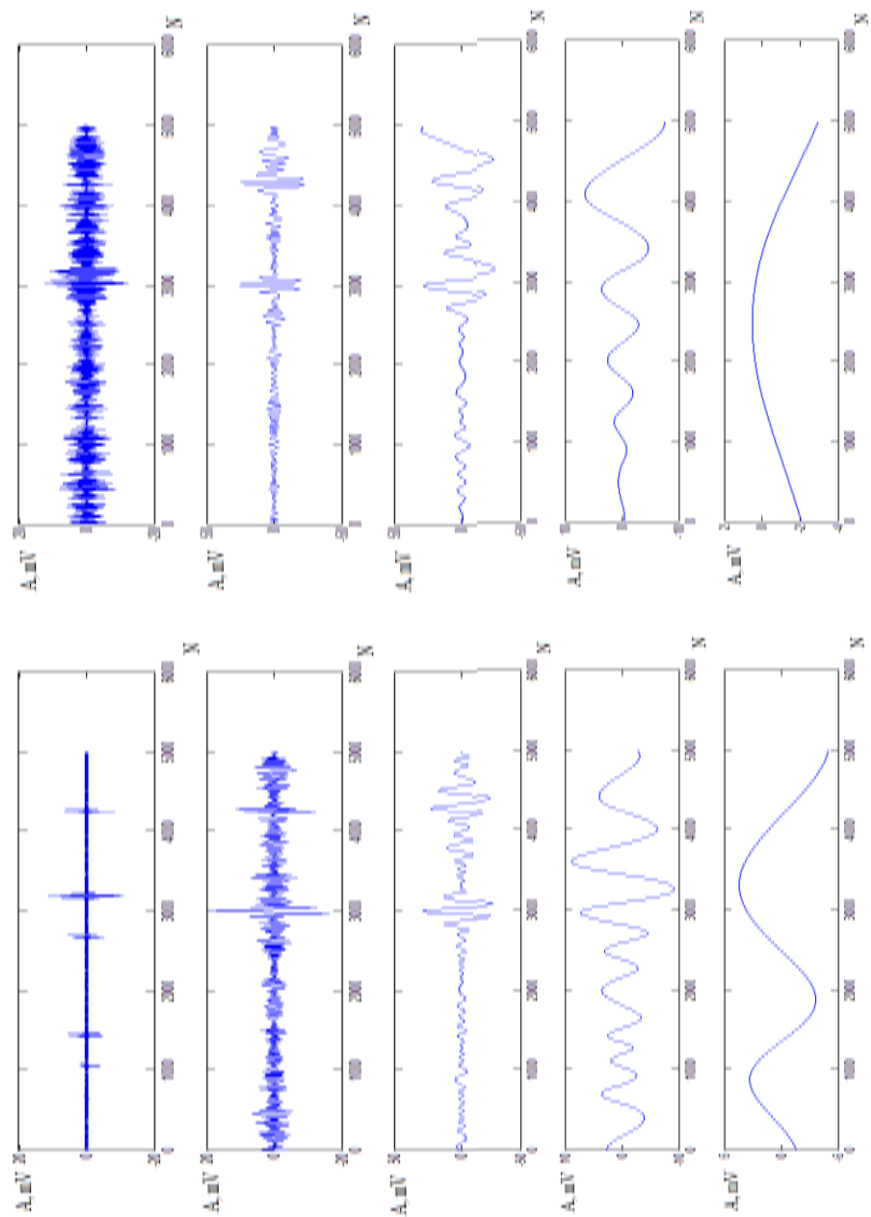


Рис. 2.1 – Пример АТС ЕКГ-сигналу

2.8 Висновки до розділу 2

Результатом перетворення Гільберта-Хуанга досліджуваних ЕКГ-сигналів є виведення ЕМ представлене в системі координат амплітуда-час по кожному значенню частоти та перетворення спектру Гільберта в системі координат енергія-частота-час.

Співставлення амплітудно-частотних розподілів ЕКГ-сигналу за кожним значенням його частоти уможливить підвищення оперативності та ефективності ставлення діагностичних заключень про наявність патологічних змін в умовах невизначеності.

Розглянуто застосування декомпозиції Хуанга для обробки значно зашумлених сигналів, одержуваних при фізичних експериментах.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

У розділі наведено результат застосування адаптивного методу обробки нелінійних і нестационарних сигналів – перетворення Гільберта-Хуанга на базі розробленого алгоритму.

3.1 Опис алгоритму

Запропонований алгоритм автовиявлення симптомів РСС з урахуванням аналізу ЕКГ-сигналу за умов невизначеності.

Суть запропонованого алгоритму полягає в:

переврка якості з'єднання електрод-шкіра;
реєстрація ЕКГ-сигналу в умовах невизначеності;
підсилення та аналогово-цифрове перетворення ЕКГ-сигналу;
адаптивна фільтрація на основі рангових процедур та видалення дрейфу ізолінії;
попередня обробка, приведення ЕКГ-сигналу до іхолінії, виділення кардіоциклу;
виявлення симптомів найбільш небезпечних ризиків РСС (інфаркту міокарда та травматичного шоку) на основі аналізу ЕКГ-сигналу, виділеного кардіоциклу та його окремих сегментів;
передача результатів по радіоканалам.

Застосування цього алгоритму дозволяє знизити ризик РСС за рахунок аналізу стану серця в режимі реального часу та своєчасної діагностики, що дозволить підвищити ефективність системи охорони здоров'я.

Запропонований алгоритм автоматичного виявлення симптомів РСС умовах невизначеності представлено на рисунку 3.1.

Як впливає з рисунку, запропонований алгоритм містить наступні операції: реєстрацію ЕКС, попередню обробку та фільтрацію, визначення за допомогою відомих і запропонованих автором способів критичних станів серця та симптомів РСС. У разі їх наявності проводиться оповіщення якомога більшого кола людей,

включаючи самого пацієнта та швидкої допомоги, за допомогою доступних каналів зв'язку.



Рис. 3.1. – Алгоритм виявлення симптомів РСС в умовах невизначеності

У рамках пропонованого підходу розроблено структуру портативної системи кардіодіагностики. Система складається з портативного пристрою реєстрації ЕКС та мобільного обчислювального пристрою. У портативному пристрої реєстрації введені блоки детектора обриву, попередньої обробки кардіосигналу та блок самоконтролю, у обчислювальному пристрої - блоки реєстрації розташування, додаткової обробки та блок аналізу ризику РСС.

Для усунення перешкод та артефактів на ЕКС, отриманому в умовах невизначеності, автором було запропоновано наступний алгоритм. Для фільтрації високочастотних та імпульсних перешкод пропонується використовувати адаптивний ранговий фільтр. Для оцінки існуючої перешкоди та вибору значення параметра налаштування фільтра введені блоки виявлення інформативної ділянки (ІД) ЕКС та формувач оцінки перешкоди. Для усунення дрейфу ізолінії – використовується спосіб числення з ЕКГ апроксимованого поліному побудованого за опорними точками сигналу.

Запропонований алгоритм обробки ЕКС дозволить усувати види перешкод, що виявляються в умовах невизначеності: високочастотні, імпульсні перешкоди та дрейф ізолінії. Застосування рангових алгоритмів для завадостійкої обробки ЕКС дозволить підвищити швидкість обчислення, якість подавлення завад та достовірність виявлення QRS-комплексів.

3.2 Методика виявлення реполяризації шлуночків

Вона спрямована на підвищення достовірності виділення R-зубців і визначення початку сегмента ST.

Суть методики полягає у визначенні інтервалу на ЕКС правіше зубця R, де абсолютна різниця амплітуд його відліків нижче за пороговий рівень.

Цей інтервал є частиною сегмента ST, і його ліва границя відповідає початку реполяризації шлуночків серця, або точці J. Труднощі аналізу ЕКС за наявності артефактів усуваються шляхом введення операції згладжування сигналу, що дозволяє усунути вплив артефактних сплесків на формування порогового рівня при обнуленні незначимого сигналу.

У виділеному RR-інтервалі визначається ліва та права межі інтервала пошуку початку реполяризації шлуночків серця зубця R, задаються дві множини відліків ЕКС в інтервалі пошуку $X_1 = \{x_a + x_b\}$ та $X_2 = \{x_c + x_d\}$. Далі проводиться обчислення середніх арифметичних значень амплітуд M_1 та M_2 відліків із множин X_1 та X_2 , обчислюється абсолютна різниця середніх значень амплітуд ЕКС $D = |M_1 - M_2|$ і, поки значення D не стане нижчим від порогового рівня ЕКС, повторюється обчислення M_1 , M_2 , D для множин X_1 та X_2 , зміщених на один елемент праворуч до досягнення правої границі інтервалу пошуку.

У кожному j -му відведенні, в якому проводилася реєстрація ЕКС, обчислюється відлік $J_{j,i} = x_a$, для якого D нижче за пороговий рівень ЕКС. Потім визначається найпізніше серед значень $J_{j,i}$ всіх відведень. Знайдене значення є початком реполяризації шлуночків серця в i -му кардіоциклі.

Перевага запропонованого алгоритму полягає в надійному виділенні початку реполяризації шлуночків на основі більш достовірного виділення R-зубців. Надійне виділення R-зубців сприяє покращенню умов подальшої обробки ЕКС, виділення початку реполяризації шлуночків серця? дозволяє діагностувати одну з ознак ішемічної хвороби серця та інфаркту міокарда - зміщення сегмента ST.

Для дослідження алгоритму виділення початку реполяризації шлуночків серця був проведений експеримент, який полягав в перевірці алгоритму на зразках записів ЕКГ. Як тестову вибірку було взято записи з вільної бази даних людей з різних груп, здорових та з серцевими хворобами. Загальна кількість вибірки становила 200 записів тривалістю 30 з кожна у стандартних відведеннях та відведеннях по Небу. При дослідженні використовувалися ділянки як з високим рівнем перешкод і артефактів, так і з відносно низьким. Алгоритм знаходження точки J було реалізовано в середовищі MATLAB. На рисунку 3.2 представлено результат роботи на чистому ЕКС та на ЕКС, що містить артефакти. В обох випадках всі виділені значення початку реполяризації шлуночків

перебувають у межах сегмента ST. Д результатів в якості перевірки використувався метод експертної оцінки. Як експерт виступав лікар-кардіолог з багаторічною практикою. Узагальнені результати наведено у таблиці 3.1.

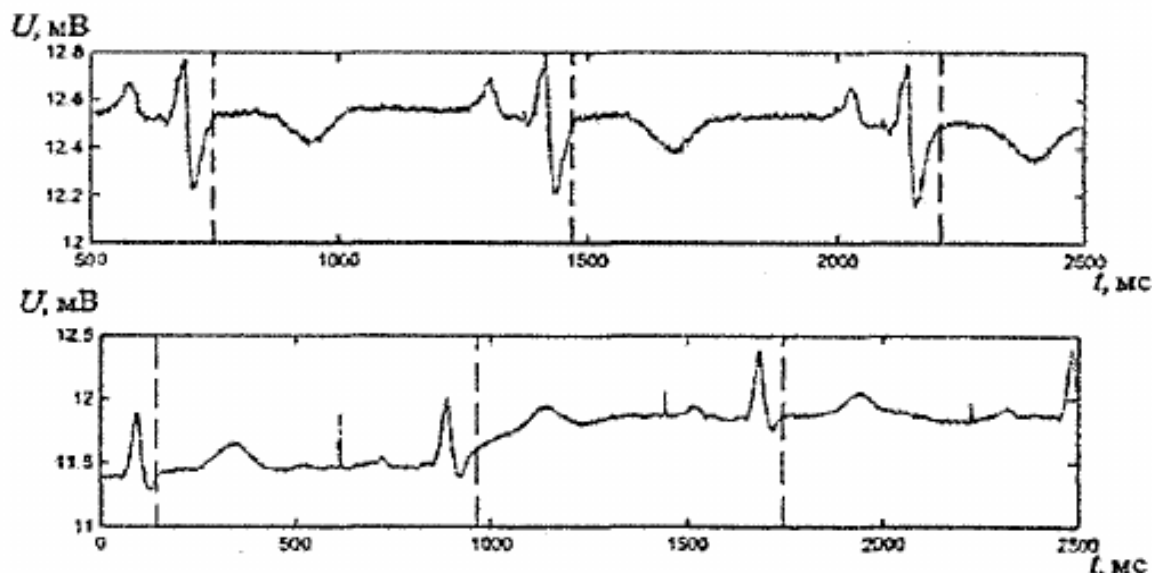


Рис. 3.2 –Результат роботи алгоритму на ЕКС без завад (зверху) та з артефактами (знизу)

Таблиця 3.1

Результати дослідження методики визначення початку реполяризації шлуночків

Відведення	Загальне число кардіоциклів виділених експертом	К-сть правильно виділених точок J	Відсоток пропущених точок J	К-сть хибно виділених точок J	Відсоток хибно виділених точок J	Середня різниця значення сигналу між точками, виділеними програмно та вручну, мВ
Для ділянок ЕКГ з низьким рівнем завад						
I	1026	954	7	0	0	0,1
D	1536	1398	9	0	0	0,1
A	1536	1390	9,5	0	0	0,15
I_n	1536	1391	9,4	2	0,001	0,14
Для ділянок ЕКГ з артефактами						
I	1009	898	11	6	0,006	0,13
D	1067	949	11,1	8	0,007	0,14
A	1066	938	12	12	0,011	0,16
I_n	1066	939	12	11	0,01	0,16

З таблиці видно, що найкращі результати роботи вийшли в першому стандартному відведенні та першому відведенні по Небу. Достовірність визначення початку реполяризації шлуночків становила від 88 до 93%.

Запропонована методика реєстрації та аналізу електрокардіографічних даних може використовуватись в умовах невизначеності при відповідних апаратних можливостях.

Щодо портативної системи діагностики, то основними параметрами її є:

Параметр	Значення
Пропускна здатність	56 кБіт/сек
Середня величина струму споживання	33 мА
Час роботи в умовах невизначеності без застосування алгоритму вибору необхідних параметрів налаштування	28 год.
Час роботи в умовах невизначеності із застосуванням алгоритму вибору необхідних параметрів налаштування	33 год.
Кількість каналів	1

Задані параметри дозволяють зробити висновок, що портативна система кардіодіагностики відповідає сучасним вимогам.

3.3 Висновки до розділу 3

У розділі представлено результати роботи запропонованого алгоритму, зокрема роботоздатність та ефективність методу та засобу обробки електрокардіосигналу в умовах невизначеності для діагностики РСС.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на тему «Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу в умовах невизначеності» наведено опис ризиків та симптомів раптової серцевої смертності. ВСС - несподівана смерть від причин, пов'язаних з порушенням роботи серцево-судинної системи, що сталася протягом години від появи симптомів у пацієнта з відомою серцевою хворобою. Відомо, що найнебезпечнішими ризиками РСС є інфаркт міокарда (ІМ) та травматичний шок (ТШ). У більшості випадків симптомами є фібриляція шлуночків.

Розглянуто підхід для аналізу ЕКС за умов невизначеності. Розглянуто етапи одного циклу аналізу, детально наведено опис аналізу сигналу та розглянуто способи усунення перешкод із сигналу.

Необхідно докладніше розкрити зміст етапів.

У першому циклі відбувається реєстрація ЕКС та його передача на смартфон. Крім того, виконується визначення місцезнаходження пацієнта за допомогою технології GPS.

У другому циклі здійснюється попередня обробка ЕКС. У пропонованому способі експрес-оцінки стану серця для створення адаптивного базису, що відповідає реальним змін сигналу в часі, використовується перетворення Гільберта-Хуанга.

У третьому циклі виконується експрес-оцінка електричної стабільності серця. Як розв'язання цього завдання запропоновано проводити оцінку стану серця, засновану на ентропійно-параметричному аналізі параметрів ЕКС, що дозволяє встановити зміну основних зубців та сегментів ЕКС.

Далі виконується передача даних на сервер для додаткового і при необхідності більш глибокого аналізу та оповіщення пацієнта про стан серця.

Слід зазначити, що розглянутий підхід дозволяє виявити інфаркт міокарда у фізично активного населення, що перебуває у групі ризику, в умовах невизначеності та задокументувати передбачуваний діагноз захворювання.

У другому розділі описано спосіб очищення сигналів від шумів, що базується на використанні емпіричної модової декомпозиції Хуанга.

Результатом перетворення Гільберта-Хуанга досліджуваних ЕКГ-сигналів є виведення ЕМ представлене в системі координат амплітуда-час по кожному значенню частоти та перетворення спектру Гільберта в системі координат енергія-частота-час.

Співставлення амплітудно-частотних розподілів ЕКГ-сигналу за кожним значенням його частоти уможливить підвищення оперативності та ефективності ставлення діагностичних заключень про наявність патологічних змін в умовах невизначеності.

Розглянуто застосування декомпозиції Хуанга для обробки значно зашумлених сигналів, одержуваних при фізичних експериментах.

У науково-дослідній частині представлено результати роботи запропонованого алгоритму, зокрема роботоздатність та ефективність методу та засобу обробки електрокардіосигналу в умовах невизначеності для діагностики РСС.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

При проведенні контролю параметрів варіабельного кардіосигналу у системах Голтерівського моніторингу необхідно дотримуватись норм і правил охорони праці. Перелік нормативно-правових актів, які регулюють цю питання, досить широкий. Наприклад, ст. 21 Кодексу законів про працю України визначає обов'язки роботодавця щодо забезпечення працівникам комфортних та безпечних умов праці, а ст. 13 Закону України «Про охорону праці» закріплює це право з позиції охорони праці. Більшість нормативних актів — акти підзаконного рівня - правила, інструкції, державні санітарні правила і норми (ДСанПН) тощо, якими врегульовуються окремі моменти щодо власне конструкції комп'ютерної техніки, особливостей облаштування приміщень для роботи з нею та ряду інших вимог.

Як основні можна назвати: — Наказ Держгірпромнагляду України «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» від 26 березня 2010 р. № 65; — Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПН 3.3.2.007-98, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10 грудня 1998 р. № 7; — Примірна інструкція з охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджена наказом Міністерства доходів і зборів України від 5 вересня 2013 р. № 443.

Згідно вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями (Наказ Міністерства соціальної політики України № 207 від 14.02.2018 р.) для забезпечення безпеки та захисту здоров'я працівників усе випромінювання від екранних пристроїв має бути зведене до гранично допустимого рівня (вплив на людину факторів довкілля - шуму, вібрації, забруднювачів, температури тощо, який не спричиняє соматичних або психічних

розладів, а також змін стану здоров'я, працездатності, поведінки, що виходять за межі пристосувальних реакцій) з погляду безпеки та охорони здоров'я працівників.

Під час розробки завдань, які передбачають використання комп'ютерної діагностичної системи необхідно керуватися таким програмним забезпеченням, яке відповідає розв'язуваним завданням і є простим у використанні, а де необхідно - адаптованим до рівня знань і досвіду працівника.

Під час облаштування робочого місця працівника з екранними пристроями необхідно обирати таке устаткування, яке не створює зайвого шуму та не виділяє надлишкового тепла. Рівні шуму на робочих місцях осіб, які працюють з екранними пристроями, мають відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 37.

Мікроклімат кабінету з робочими місцями працівників з екранними пристроями має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42 (далі - ДСН 3.3.6.042-99).

Таким чином, створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення привабливості, позитивно впливаючою на продуктивність праці.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

У підрозділі розглянуто питання пожежної та вибухової безпеки, а також вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Забезпечення пожежної та вибухової безпеки. Пожежна безпека медичної системи, має забезпечуватися відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», а вибухова безпека — у відповідності до ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования».

Пожежна безпека — це такий стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення й розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Вибухова безпека — це такий стан виробничого процесу, під час якого виключається можливість вибуху або ж у випадку його виникнення відвертається дія на людей викликаних ним небезпечних та шкідливих факторів і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Вимоги до системи запобігання пожежі. Запобігання пожежі необхідно досягати двома способами:

- запобіганням утворенню горючого середовища;
- запобіганням утворенню в горючому середовищі (або внесення в нього) джерел займання.

Запобігання утворенню горючого середовища має забезпечуватися:

- максимально можливим застосуванням негорючих і важкозаймистих речовин та матеріалів;
- обмеженням маси та(або) об'єму горючих речовин, матеріалів та найбезпечнішим способом їх розміщення;
- ізоляцією горючого середовища;
- підтримкою концентрації горючих газів, пари, пилу та(або) окисника в суміші поза межами їх займання;
- підтримкою його температури й тиску, за яких виключається поширення полум'я;
- максимальною механізацією й автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних із перекачуванням горючих речовин;
- установленням пожежно небезпечного обладнання по можливості в ізольованих приміщеннях або на відкритих майданчиках;
- застосуванням для горючих речовин герметичного обладнання і тари;

- застосуванням пристроїв захисту виробничого обладнання з горючими речовинами від пошкоджень і аварій, установленням пристроїв, що відключають, відсікають, та ін.;

- застосуванням ізольованих відсіків, камер, кабін тощо.

Запобігання утворенню в горючому середовищі джерел займання має досягатися:

- застосуванням машин, механізмів, обладнання, пристроїв, під час експлуатації яких не утворюються джерела займання;

- застосуванням енергоустаткування, відповідного до пожежно небезпечної та вибухонебезпечної зон, групи і категорії вибухонебезпечної суміші за вимогами «Правил устроювання електроустановок» (ПУЭ-86);

- застосуванням у конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел займання;

- застосуванням технологічного процесу й обладнання, що задовольняє вимогу електростатичної іскробезпеки за ГОСТ 11.018-86;

- улаштуванням захисту від блискавок будівель, споруд і обладнання;

- підтримкою температури нагрівання поверхонь машин, механізмів, обладнання, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти в контакт з горючим середовищем, нижче граничнодопустимої, яка становить 80 % найменшої температури самозаймання пального;

- виключенням можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, яка дорівнює або вища від мінімальної енергії займання;

- застосуванням інструменту, що не іскрить під час роботи з легкозаймистими рідинами і горючими газами;

- ліквідацією умов для теплового, хімічного та (або) мікробіологічного самозаймання речовин, матеріалів, виробів і конструкцій, що перетворюються;

- усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин;

- зменшенням визначального розміру горючого середовища нижче граничнодопустимого за горючістю;

- виконанням установлених правил пожежної безпеки.

Системи запобігання пожеж, а також протипожежного захисту у сукупності повинні виключати вплив на людей небезпечних факторів пожежі. Ймовірність впливу вищезгаданих факторів не повинна перевищувати нормативну, яка дорівнює 10^{-6} на рік, у розрахунку на кожну людину. По вогнестійкості приміщення науково-дослідної лабораторії відносяться до II-го ступеня вогнестійкості (ДСТ 12.1.004-76), тобто механічні конструкції в приміщенні, стіни виконані з вогнетривких матеріалів. Робочі місця, для виконання робіт, у положенні сидячи, організовані відповідно до ДСТ 12.2.032-78. Вимоги з пожежної безпеки будинку, а також його оснащеність первинними засобами пожежегасіння (пожежні гідранти і т.д.) і вогнегасники, повинні відповідати ГОСТ 12.1.004-85 і ГОСТ 12.4.009-83 і ISO3941-77. В таких умовах найдоцільніше використовувати вогнегасники типу ВП-2-01 і ВВ-8 у кожному приміщенні, і ВП-5-02 один на кожні 2 приміщення. Пожежна безпека кожного об'єкту визначається пожежною безпекою його складових частин.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

1. Кожен працівник при виявленні несправності в роботі приладу, що може спричинити небезпеку для працівників, повинен доповісти про це своєму безпосередньому керівнику. У тих випадках, коли несправність може бути усунена працівником, він має це зробити, а потім повідомити керівнику. Усунення несправності виконується при дотриманні визначених вимог безпеки.

2. При ураженні електричним струмом необхідно якомога скоріше звільнити потерпілого від дії струму шляхом вимкнення приладу, відключення обладнання від електромережі, або перерубати шнур живлення інструментом з ізольованими ручками. Якщо вимкнути обладнання достатньо швидко неможливо, тоді необхідно застосувати інші міри по звільненню потерпілого від дії струму, наприклад, скористатися дошкою чи іншим сухим предметом, що не проводить електричний струм. Обов'язково потрібно викликати швидку допомогу чи рятувальну бригаду МЧС. До приїзду лікарів чи бригади МЧС потрібно надати потерпілому першу медичну допомогу.

3. При виникненні пожежі у технічному приміщенні необхідно негайно викликати пожежну охорону, відключити від джерела напруги устаткування і

приступити до ліквідації пожежі засобами гасіння пожежі, що знаходяться в приміщенні.

Виконання правил та вимог техніки безпеки, регулярне проведення заходів щодо їх виконання сприяє підвищенню продуктивності праці, якості виконання робіт та збереженню здоров'я працівників.

Дана інструкція написана у відповідності з вимогами ДНАОП 0.00 – 4.15 – 98 „Положення про розробку інструкцій з охорони праці”.

4.3 Висновки до розділу 4

Даний розділ роботи висвітлює результати проведеного аналізу шкідливих факторів та чинників, що впливають, або можуть вплинути, на коректну роботу персоналу медичної установи, де використовується представлений метод дослідження пацієнта з використанням спеціального обладнання. Встановлено чіткий порядок розробки і впровадження технологій та вимог, щодо запобігання шкідливим факторам та чинникам.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на тему «Метод та алгоритм обробки ЕКГ-сигналу в умовах невизначеності» наведено опис ризиків та симптомів раптової серцевої смертності. ВСС - несподівана смерть від причин, пов'язаних з порушенням роботи серцево-судинної системи, що сталася протягом години від появи симптомів у пацієнта з відомою серцевою хворобою. Відомо, що найнебезпечнішими ризиками РСС є інфаркт міокарда (ІМ) та травматичний шок (ТШ). У більшості випадків симптомами є фібриляція шлуночків.

Розглянуто підхід для аналізу ЕКС за умов невизначеності. Розглянуто етапи одного циклу аналізу, детально наведено опис аналізу сигналу та розглянуто способи усунення перешкод із сигналу.

Необхідно докладніше розкрити зміст етапів.

У першому циклі відбувається реєстрація ЕКС та його передача на смартфон. Крім того, виконується визначення місцезнаходження пацієнта за допомогою технології GPS.

У другому циклі здійснюється попередня обробка ЕКС. У пропонованому способі експрес-оцінки стану серця для створення адаптивного базису, що відповідає реальним змін сигналу в часі, використовується перетворення Гільберта-Хуанга.

У третьому циклі виконується експрес-оцінка електричної стабільності серця. Як розв'язання цього завдання запропоновано проводити оцінку стану серця, засновану на ентропійно-параметричному аналізі параметрів ЕКС, що дозволяє встановити зміну основних зубців та сегментів ЕКС.

Далі виконується передача даних на сервер для додаткового і при необхідності більш глибокого аналізу та оповіщення пацієнта про стан серця.

Слід зазначити, що розглянутий підхід дозволяє виявити інфаркт міокарда у фізично активного населення, що перебуває у групі ризику, в умовах невизначеності та задокументувати передбачуваний діагноз захворювання.

У другому розділі описано спосіб очищення сигналів від шумів, що базується на використанні емпіричної модової декомпозиції Хуанга.

Результатом перетворення Гільберта-Хуанга досліджуваних ЕКГ-сигналів є виведення ЕМ представлене в системі координат амплітуда-час по кожному значенню частоти та перетворення спектру Гільберта в системі координат енергія-частота-час.

Співставлення амплітудно-частотних розподілів ЕКГ-сигналу за кожним значенням його частоти уможливить підвищення оперативності та ефективності ставлення діагностичних заключень про наявність патологічних змін в умовах невизначеності.

Розглянуто застосування декомпозиції Хуанга для обробки значно зашумлених сигналів, одержуваних при фізичних експериментах.

У науково-дослідній частині представлено результати роботи запропонованого алгоритму, зокрема роботоздатність та ефективність методу та засобу обробки електрокардіосигналу в умовах невизначеності для діагностики РСС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яворська Є.Б. Математичні моделі та методи опрацювання ритмокардіосигналів для визначення характеристик серцевої ритміки з прогнозованою вірогідністю : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 / Євгенія Богданівна Яворська. — Тернопіль : ТНТУ, 2009. — 154 с.

2. Аль-Хулейди Н.А. Система обработки и нейросетевого анализа биоэлектрических сигналов для решения задач медицинской диагностики: дис. ... канд. техн. наук. – Владимир, 2014. – 150 с.

5. Heart rate variability. Standarts of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix) // *Europ Heart J.* — 1996. — Vol.17. — P. 354-381..

12. K. Khachatryan, L. Manilo and A. Anisimov, “The method of analysis pseudo-phase portrait in the problem of recognition of biomedical signals”, 2017 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), St. Petersburg, 2017, pp. 146-153.

26. Braun C. et.al. Demonstration of nonlinear components in heart rate variability of healthy persons // *Am.J.Physiol.*-1998.- 275. - P.H1577-H1584.

27. Dori G., Fishman S.H., Ben-Haim S.A. The correlation dimension of rat hearts in an experimentally controlled environment // *Chaos* - 2000. - 10(1) - P.257-267.

28. Esler M., Schwarz R., Alvarenga M. Mental stress is a cause of cardiovascular deseases: from skepticism to certainty // *Stress and Healt.*- 2008. - 24 - P. 175-180.

29. Garfinkel A., Spano M.L., Ditto W.L., Weiss J.N. Controlling Cardiac Chaos// *Science* - 1992. - 257(28) - P.1230-1234.

30. Gray R.A., Jalife J., Panfilov A.V. et al. Mechanisms of Cardiac Fibrillation// *Science* - 1995. - 270(17) - P. 1222-1223.

31. Gusetty S, Signorini M.G., Coglianati C., Mezetti S., Porta A., Cerutti S., Malliani A. Non linear dynamics and chaotic indices in heart rate variability of normal subjects and heart-transplanted patients// *Cardiovasc. Res.* -1996. - 31 (3) - P. 441-449.

32. Kaplan D.T. and Cohen R.J. Searching for Chaos in Fibrillation. *Mathematical approaches to cardiac arrhythmias* - New York: Academic Press, 1990 - P.367-374.

33. Mironyuk O. Yu. Loskutov A. Yu. Detection of Cardiac Pathologies Using Dimensional Characteristics of RR Intervals in Electrocardiograms// *Biophysics* – 2006. - 51(1) - P.115

34. Skinner J.E., Pratt C.M., Vybiral T.A. A reduction in the correlation dimension of heart beat intervals precedes imminent ventricular fibrillation in human subjects// *Amer.Heart J.*- 1993. - 125 - P.731-743.

35. Goldberger A.L., Peng C.K., Lipsitz L.A. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease. *Neurobiol Aging* 2002;23:23.26.

39. Яворська Є. Властивості кореляційної функції дихальної варіабельності ритміки серця / Є. Яворська // *Вісник ТДТУ*. — 2005. — №1. — Т.10. — С. 134-144.

45. Kantelhardt J.W. *Fractal and Multifractal Time Series*. – 2008. <http://arxiv.org/abs/0804.0747>

46. Abreu E., Mitra S.K. A Signal-Dependent Rank Ordered Mean (SD-ROM) Filter-A New Approach For Removal Of Im-pulses From Highly Corrupted Images. *ICASSP-95*. 1995. Vol. 4. Pp. 2371-2374.

47. *Ambulatory cardiac monitoring: Avoiding maturity through technological advancement*. – Market engineering research. Frost & Sullivan, Meriland. 2008. 9. P. 325

48. Яворська Є.Б., Каплунова А.С. Алгоритм подавлення завад в електрокардіосигналах // *Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»* (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2022 р.).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ДОДАТОК В
Апробація результатів дослідження