

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”  
Факультет електроніки  
Кафедра електронної інженерії

До захисту допущено  
Завідувач кафедри  
В. І. Тимофєєв  
“ ” 2021 р.

**Дипломна робота**  
освітнього рівня «бакалавр»  
за спеціальністю 153 мікро- та наносистемна техніка

на тему: Розпізнавання медико-біологічних сигналів за ізолініями в системах, що навчаються з учителем.

Виконав студент 4 курсу, групи ДМ-71

Безнос Денис Вікторович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник доц. каф. ЕІ, доцент, к.т.н. Шуляк О. П.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент проф. каф. АМЕС, професор, д.т.н., Продеус А. М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Форма № Н-9.01

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки  
Кафедра електронної інженерії  
Освітній рівень «бакалавр»  
за спеціальністю 153 мікро- та наносистемна техніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

В. І. Тимофєєв

“ ” 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Безносу Денису Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розпізнавання медико-біологічних сигналів за ізолініями в системах, що навчаються з учителем»

керівник роботи Шуляк Олександр Петрович, к. т. н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 24.05.2021 року № 1316-с

2. Строк подання студентом роботи 08 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Система розпізнавання сигналів навчається з учителем. Приклад сигналів, що розпізнаються, QRS-комплекси півгодинного запису ЕКГ пацієнта трьох типів (N, A, V) із Internet-бази даних. Кількість відліків сигналу – 128. Порядок системи ізоліній  $\leq 5$ .

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Завдання розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоліній в системах, що навчаються з учителем.

Програмні процедури розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоліній в системах, що навчаються з учителем.

Статистичні дослідження розпізнавання сигналів з використанням їх ізоліній як ознак для розпізнавання на прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта.

Висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): Принцип формування системи ізоліній для опису форми сигналу. Принцип відбору відліків характеристики форми сигналу для поточного інтервалу її значень. Блок-схеми процедур формування систем ізоліній. Графіки сигналів. Результати досліджень. Презентація до захисту.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2021 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук та аналіз літератури за напрямком дипломної роботи	17.03.2021	
2	Розробка та оформлення розділу 1 дипломної роботи	04.04.2021	
3	Розробка та оформлення розділу 2 дипломної роботи	21.04.2020	
4	Розробка та оформлення розділу 3 дипломної роботи	04.05.2020	
5	Розробка вступу, висновків та реферату до дипломної роботи	18.05.2020	
6	Оформлення графічного матеріалу до дипломної роботи	27.05.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки до дипломної роботи та презентації до неї	08.06.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Безнос Д. В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Шуляк О. П.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота освітнього рівня «бакалавр»: на 94 с., 3 розд., 4 табл., 21 рис., 25 джерела.

ДІАГНОСТИЧНІ СИСТЕМИ. МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ СИГНАЛИ. РОЗПІЗНАВАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ. ОПИС ФОРМИ СИГНАЛІВ ІЗОЛІНІЯМИ.

Мета роботи – розробка програмного інструментарію формування додаткової системи ознак опису форми медико-біологічних сигналів різних типів як ознак для їх розпізнавання. Об'єктом досліджень і розробок є ізолінії сигналів як додаткові системи ознак для їх розпізнавання. Предметом розробок є програмні процедури формування та використання систем ізоліній медико-біологічних сигналів для їх розпізнавання в системах, які навчаються з учителем. Зміст розробок розкривається на прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів ЕКГ пацієнта. Актуальність теми роботи пов'язана з тим, що кожна система ознак відзначає свої особливості у формі сигналів. Ізолінії як додаткові ознаки дають більш повний облік форми сигналів і, можливо, підвищують якість їх розпізнавання.

У розділі 1 роботи розглядається зміст завдання, яке в ньому вирішується, пропонуються принципи вирішення основних питань. Розділ 2 розкриває зміст і результати розробки необхідних програмних процедур. Розділ 3 присвячений питанням їх статистичного дослідження.

Робота доповідалась на 25-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у ХХІ столітті» 2021 та ХХ Міжнародній науково-технічній конференції “Приладобудування: стан і перспективи”, 2021. Результати корисні у вдосконаленні процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів.

## ABSTRACT

Diploma work: 94 pages., 3 chapters., 4 tables., 21 figures., 25 references.

DIAGNOSTIC SYSTEMS. BIOMEDICAL SIGNALS. RECOGNITION PROCEDURES. DESCRIPTION FORM OF SIGNALS BY ISOLINES.

The topic of Diploma work is: «Recognition of biomedical signals by isolines in supervised learning systems.». In general, the work is aimed at improving software procedures for recognizing biomedical signals in patient diagnostic systems.

The purpose of the work is to develop software tools for the formation of an additional system of signs describing the form of biomedical signals of different types as signs for their recognition. In addition to the sequence of samples shape characteristic of signals, systems of isolines to these characteristics are formed on equable time grid, which provide an additional numerical description of these characteristics. In this work, we consider the question of using only such additional descriptions of the shape characteristics of signals in recognition supervised learning systems

The object of research and development is signal isolines as additional feature systems for their recognition. The subject of the development is software procedures for the formation and use of systems of isolines of biomedical signals for their recognition in supervised learning systems The substance and results of the developments are revealed on an illustrative example of recognizing the types of QRS-complexes in the recording of the patient's electrocardiogram.

The relevance of the topic of the work is related to the fact that each system of features that describe the signal form notes its own features in the signal form, and the formation of additional features provides a more complete account of the features of the signal form in their recognition and this can become the basis for revealing possible reserves in improving its effectiveness.

In the first section of the work, the content of the task of developing program procedures for recognizing biomedical signals in the supervised learning systems is

determined, an approach to its solution is developed, the procedure for its implementation and the procedure for researching the features of using such procedures are determined.

Solution of these questions is revealed on the illustrative example of determining the types of QRS complexes of the patient's electrocardiogram, which has the necessary marking by the position and types of these complexes in the record and a significant number of them for training the recognition algorithm.

In order to solve the problem of developing procedures for recognizing biomedical signals using their isolines, the principles of solving such particular problems were defined:

- the principle of sequential stepwise formation of systems of isolines of a predetermined order with its increase to the value set by the researcher. The isolines of the previous level are combined with new isolines of the current order for each instance of the signal whose shape is characterized. The isoline levels describe the shape characteristic of each such instance;

- the principle of the coordinated connection of the mentioned systems of isolines for the formation of the resulting systems of levels for the description form of signals, which are used in the work as features for determining the types of these signals;

- the principle of iterating over the intervals on the scale shape characteristics of signals to determine one isoline in each of them;

- the principle of determining the borders of intervals in their sequence in the process of iterating from large values of the shape characteristic to smaller;

- the principle of selection of samples of the shape characteristic of signal, which are taken into account in the calculation of the isoline level in each such interval of the scale of values shape characteristic of signals;

- the principle and formulas of samples shape characteristics of signals in the calculation of its new isolines in each interval of the scale shape characteristics of signals;

To implement each of these principles of solving the corresponding particular problems in the construction of systems of isolines of an instance of a signal, block diagrams of software modules are proposed, the development of which is discussed in section 2 in MATLAB. Such flowcharts are combined into the final flowchart of the

procedure for obtaining the system of isolines of the signal instance. The necessary database has also been prepared for obtaining training and control samples of signals by their types.

Section 2 of the work presents the development of software procedures for recognizing biomedical signals using their isolines in supervised learning systems. The development of such basic procedures is presented:

1. The procedure for converting the signal to a characteristic of its shape, which is carried out at the prior stage of processing the patient's ECG recording. A sequence of samples on a uniform time grid in units of measurement of the signal is converted on the same time grid into a sequence of dimensionless samples of the characteristic of its shape.

2. Final software procedure for forming a system of isolines of a signal instance, which are used as signs of its shape for recognition. The isolines are obtained as part of a system of levels of the required order, which is supplemented by service levels: the values of the upper and lower levels, and also the zero level of the scale shape characteristic of the signal.

This procedure includes:

- procedure for viewing intervals on the scale of signal instance shape characteristics and forming their borders;
- module for selecting and counting samples shape characteristics of signal in the calculation of each regular isoline inside for their current interval;
- a software module for combining new isolines with levels of the previous order.

3. Procedure for generating signal descriptions using isolines as part of a training and control sample. The sequence of isoline levels for the shape characteristic of the signal is converted into a set of numbers (vector) for the shape characteristic of this sequence. Such vectors are used as numerical feature systems for recognizing signals using a scalar product for comparing them in the decision-making process.

4. Procedure for forming etalons (characteristic descriptions of signal types) based on training samples using isolines. The procedure provides an average view of such descriptions for each type of signal.

5. Procedure for recognizing signals based on their isolines as features for recognition. The procedure calculates the inner products of the signal description vectors. The decision is made in favor of the signal type for which the inner product has the greatest value.

The implementation of the program procedures was performed in the MATLAB for prior studies of the effectiveness of using the proposed features of the description of signals for their recognition

The purpose of the final section of the work was to pre-test the readiness of the developed software procedures for their use and to determine the procedure for evaluating the quality of signal recognition by standard indicators in further research.

Such particular problems were solved:

1. Defined: purpose, objectives, data, conditions and procedure for conducting numerical research on conducting statistical studies of signal recognition using their isolines as features for an illustrative example of signals.

2. Solved: content of the task and indicators for evaluating the quality of signal recognition using their isolines as features for recognition for an illustrative example of signals.

As such indicators, standard indicators of the quality of the recognition algorithms are used. Such indicators in the work are the sensitivity, specificity, and overall validity of solutions, which show the recognition procedures in the process of checking them on control samples after they are trained on training samples. There are 62 instances of signals in each of their three types, both in the training and control samples.

3. The software procedure for forming the shape characteristic of the signal instance that is recognized is configured.

4. The software procedure for generating the isoline system for the instance of the characteristic of the recognized signal shape is configured.

5. The procedure for conducting numerical statistical studies of the quality indicators of signal recognition using isolines as their features is defined.

In debugging the procedure for forming the characteristic of the signal form, the correspondence of the characteristic form and the signal, the absence of a constant

component in the array of its values, and the unit length for the vector of samples of the characteristic were checked. The possibility of its use at the stage of prior transformation of the signals of the training and control samples in the process of obtaining additional descriptions of their signals using isolines is confirmed.

Debugging of the software procedure for the formation of the system of isolines for the characteristic of the signal form was carried out by the stages of its formation in the process of processing individual instances of the sample signals. The correctness of dividing the samples shape characteristics of signals into subsets was checked in the process of increasing the order of the isoline systems and changing their composition, the correctness of the placement of the isolines among themselves in their general system was confirmed, and the presence of possible significant differences in the values of the levels that they hold on the scale of shape characteristic of signals for different types of signals was demonstrated. It is shown that the usefulness of such additional features in the recognition of signals by their shape is not excluded.

In determining the procedure for conducting statistical researches of signal recognition quality indicators using isolines as their features, a flowchart of the corresponding procedure is constructed, and the necessary formulas for calculations are given. The sensitivity, specificity, and overall validity of signal recognition are provided as indicators of the quality of signal recognition.

The content of the work was reported on XXV International Youth Forum «Radio electronics and youth in the XXIst century» 2021 and XX International Scientific and Technical Conference " INSTRUMENT ENGINEERING: state and prospects" 2021

The results of the work can be useful in research on improving software procedures for recognizing biomedical signals in patient diagnostic systems.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ЗАВДАННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ В СИСТЕМАХ, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ З УЧИТЕЛЕМ.....	18
1.1 Завдання розпізнавання медико-біологічних сигналів за характерним їх виглядом в системах, що навчаються з учителем .....	18
1.2 База сигналів для навчання алгоритму, що розпізнає сигнали за їх формою в системі, що навчається з учителем.....	23
1.3 Характеристика форми сигналів, що розпізнаються та використовуються у навчанні розпізнавального алгоритму, та її можливий зв'язок з системами ізоляцій. ....	25
1.4 Характерний вигляд типів сигналів, що розпізнаються.....	32
1.5 Критерій порівняння сигналів з розрахунком їх скалярного добутку та прийняття рішень про типи сигналів під час їх розпізнавання .....	33
1.6 Ізоляції для сигналів, що розпізнаються, як ознаки для їх розпізнавання .....	34
1.7 Висновки до розділу.....	47
2 ПРОГРАМНІ ПРОЦЕДУРИ РОЗПІЗНАВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ В СИСТЕМАХ, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ З УЧИТЕЛЕМ .....	51
2.1 Процедура формування системи ізоляцій сигналу як ознак для його розпізнавання .....	51

2.2 Процедура формування описів сигналів з використанням ізоліній у складі навчальної і контрольної вибірки.....	65
2.3 Процедура формування характерних описів типів сигналів (еталонів) з використанням ізоліній за навчальними вибірками та розпізнавання сигналів .....	70
2.4 Висновки до розділу 2 .....	72
3 СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ ЯК ОЗНАК ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПІВ QRS-КОМПЛЕКСІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ ПАЦІЄНТА .....	75
3.1 Мета, завдання, дані, умови та порядок проведення чисельних досліджень .....	75
3.2 Налагодження програмної процедури формування характеристики форми екземпляру сигналу, який розпізнається .....	77
3.3 Налагодження програмної процедури формування системи ізоліній для примірника характеристики форми сигналу, що розпізнається .....	78
3.4 Визначення порядку проведення чисельних статистичних досліджень показників якості розпізнавання сигналів з використанням ізоліній як їх ознак...	84
3.5 Висновки до розділу 3 .....	88
ВИСНОВКИ .....	90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	91

## ВСТУП

В розвитку медичних діагностичних систем одним із важливих напрямів є розробка різноманітних алгоритмів, які забезпечують розпізнавання типів медико-біологічних сигналів. Завдання вирішується в умовах наявності різних класифікацій сигналів і ці класифікації відповідають різним характерним станам організму людини в цілому та його окремих систем, різним захворюванням на різних етапах і стадіях їх розвитку, етапах проведення лікування, у різних медичних втручаннях, під час реабілітації пацієнтів [1 – 6].

У цьому напрямку триває накопичення знань про особливості таких сигналів, в тому числі, про особливості їх форми для різних конкретних завдань діагностики і типів сигналів [1 – 6], отримання яких передбачено спеціальними вимірювальними системами в процесі діагностики [1 – 4].

Систематично продовжується накопичення апріорної інформації про форму характерних сигналів згідно з класифікаціями за регламентів проведення досліджень організму людини, формуються системи різнопланових характеристик для опису форми сигналів, системи чисельних параметрів і їх використовуваних, різноманітних характеристик, параметрів і описів у комплексів як ознак, що використовуються алгоритмами розпізнавання сигналів для прийняття рішень про типи сигналів [1 – 6].

Завдяки більш повного і ретельного опису медико-біологічних сигналів, відшукання корисної інформації про їх форму, побудові нових додаткових систем ознак сигналів вдається відшукувати приховані резерви в підвищенні правильності розпізнавання сигналів і підвищення якості діагностики пацієнтів за стандартними показниками чутливості і специфічності [1 – 5, 7 – 9].

Результати пошуку нових систем ознак форми сигналів впроваджуються в розпізнавальних системах, зокрема таких, що навчаються з [1 – 5, 9 – 15], на етапі навчання перевірених в медичній практиці алгоритмів розпізнавання сигналів і їх

характеристик, в процесі створення нових розпізнавальних процедур [9 – 15] з урахуванням особливостей використання знову отриманих систем ознак.

Успіхи і досягнення в таких напрямках [12 – 15] вказують на те, що для розкриття резервів підвищення показників вірності розпізнавання медико-біологічних сигналів людини зберігає свою актуальність пошук та розробка нових додаткових систем ознак форми сигналів за наявною апріорною інформацією про конкретні типи сигналів для їх розпізнавання. Тому тема роботи актуальна.

В цілому робота спрямована на вдосконалення програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів в системах діагностики пацієнтів.

Мета роботи – розробка програмного інструментарію формування додаткової системи ознак опису форми медико-біологічних сигналів різних типів як ознак для їх розпізнавання. На доповнення до послідовності відліків характеристики форми сигналів на рівномірній сітці часу формуються системи ізоліній до цих характеристик, які дають додатковий числовий опис цих характеристик. У цій роботі розглядається питання про використання для розпізнавання сигналів тільки таких додаткових описів характеристик форми сигналів в розпізнаючих системах, що навчаються з учителем.

Об'єктом досліджень і розробок в дипломній роботі є ізолінії сигналів як додаткові системи ознак для їх розпізнавання. Предметом розробок є програмні процедури формування та використання систем ізоліній медико-біологічних сигналів для їх розпізнавання в системах, які навчаються з учителем. Зміст і результати розробок розкриваються на ілюстративному прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів у записі електрокардіограми пацієнта [16 – 19].

Актуальність теми роботи пов'язана з тим, що кожна система ознак, які описують форму сигналів, відзначає свої особливості у формі сигналів, а формування додаткових ознак забезпечує більш повний облік особливостей форми сигналів в їх розпізнаванні і це може стати основою для розкриття можливих резервів у підвищенні його результативності.

В першому розділі роботи визначено зміст завдання розробки програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоліній в

системах, що навчаються з учителем, обраний підхід до її вирішення, визначено порядок його реалізації та порядок дослідження особливостей використання подібних процедур.

Визначення типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта в ілюстративному прикладі, здійснюється по запису, який має необхідну розмітку по положенню і типам цих комплексів в цьому запису на шкалі часу запису і значну їх кількість для навчання розпізнавального алгоритму.

З метою вирішення завдання розробки процедур розпізнання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоляцій було визначено принципи вирішення таких її часткових завдань:

- принцип послідовного покрокового формування систем ізоляцій наперед заданого порядку з його нарощуванням до значення, яке задає дослідник. Ізоляції попереднього рівня об'єднуються з новими ізоляціями поточного порядку для кожного екземпляра сигналу, форма якого характеризується. Рівні ізоляцій описують характеристику форми кожного такого екземпляра;

- принцип узгодженого з'єднання згаданих систем ізоляцій для формування результуючих систем рівнів для опису форми сигналів, які в роботі використовуються в якості ознак для визначення типів цих сигналів;

- принцип перебору інтервалів на шкалі характеристики форми сигналу для визначення в них по одній ізоляції;

- принцип визначення меж інтервалів в їх послідовності в процесі перебору від великих значень характеристики форми до менших;

- принцип відбору відліків характеристики форми примірника сигналу, які враховуються в розрахунку рівня ізоляції в кожному такому інтервалі шкали значень характеристики форми сигналів;

- принцип і формули відліків характеристики форми сигналів в розрахунку його нових ізоляцій в кожному інтервалі шкали характеристики форми сигналів;

Для реалізації кожного з цих принципів вирішення відповідних часткових завдань у побудові систем ізоляцій примірника сигналу запропоновані блок-схеми програмних модулів, розробка яких розглядається в розділі 2 в середовищі

MATLAB. Такі блок-схеми об'єднані в підсумкову блок-схему процедури отримання системи ізоляцій екземпляру сигналу. Підготовлена також необхідна база даних для формування навчальної та контрольної вибірок сигналів за їх типами.

У розділі 2 роботи представлена розробка програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоляцій в системах, що навчаються з учителем. Представлена розробка таких основних процедур.

1. Процедура перетворення сигналу до характеристики його форми, яка здійснюється на попередньому етапі обробки запису ЕКГ пацієнта. Послідовність відліків на рівномірній сітці часу в одиницях виміру сигналу перетворюється на тій же самій сітці часу в послідовність безрозмірних відліків характеристики його форми.

2. Підсумкова програмна процедура формування системи ізоляцій екземпляру сигналу, які використовуються як ознаки його форми для розпізнавання. Ізоляції входять до складу системи рівнів необхідного порядку, яка доповнена службовими рівнями: значеннями верхнього і нижнього рівнів, а також нульовим рівнем шкали характеристики форми сигналів.

До складу цієї процедури включені:

- процедура перегляду інтервалів на шкалі характеристики форми примірника сигналу і формування їх меж;
- модуль відбору та обліку відліків характеристики форми сигналу в розрахунку кожної чергової ізоляції всередині для їх поточного інтервалу;
- програмний модуль об'єднання нових ізоляцій з рівнями попереднього порядку.

3. Процедура формування описів сигналів з використанням ізоляцій у складі навчальної і контрольної вибірки. Послідовність рівнів ізоляцій для характеристики форми сигналу перетворюється в набір чисел (вектор) для характеристики форми цієї послідовності. Подібні вектори використовуються як системи числових ознак для розпізнавання сигналів з використанням скалярного добутку для їх порівняння в процесі прийняття рішень.

4. Процедура формування еталонів (характерних описів типів сигналів) за навчальними вибірками з використанням ізоліній. Процедура забезпечує отримання середнього виду таких описів для кожного типу сигналів

5. Процедура розпізнавання сигналів з врахуванням їх ізоліній в якості ознак для розпізнавання. Процедура розраховує скалярні добутки векторів опису сигналів. Рішення приймається на користь типу сигналів, для якого скалярний добуток має найбільше значення.

Реалізація програмних процедур виконана в середовищі MATLAB для попередніх досліджень результативності використання запропонованих ознак опису сигналів для їх розпізнавання.

У процесі розгляду питань статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням їх ізоліній як ознак для розпізнавання на прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта були отримані такі основні результати.

Основними є такі результати розділу 3

1. Визначені мета, завдання, дані, умови та порядок проведення чисельних досліджень щодо проведення статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням їх ізоліній як ознак для ілюстративного прикладу сигналів.

2. Розкрито зміст завдання і показників оцінки якості розпізнавання сигналів з використанням їх ізоліній як ознак для розпізнавання для ілюстративного прикладу сигналів.

В якості таких показників використовуються стандартні показники якості роботи розпізнавальних алгоритмів. Такими показниками в роботі є чутливість, специфічність і загальна валідність рішень, які показують розпізнавальні процедури в процесі їх перевірки на контрольних вибірках після їх навчання на навчальних вибірках. Передбачено по 62 примірники сигналів у кожному з їх трьох типів як у навчальній, так і в контрольній вибірках.

3. Проведено налагодження програмної процедури формування системи ізоліній для примірника сигналу, що розпізнається.

4. Проведено налагодження програмну процедуру формування системи ізоляції для примірника характеристики форми сигналу, що розпізнається.

5. Визначено порядок проведення чисельних статистичних досліджень показників якості розпізнавання сигналів з використанням їх ізоляції як ознак на контрольних вибірках по типах сигналів для ілюстративного прикладу

Зміст роботи доповідався на 25-му Міжнародному молодіжному форумі "Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті" 2021 та на XX Міжнародній науково-технічній конференції "Приладобудування: стан і перспективи", 18 травня, 2021 р.

Результати роботи можуть бути корисними в дослідженнях щодо вдосконалення програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів в системах діагностики пацієнтів.

# 1 ЗАВДАННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ В СИСТЕМАХ, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ З УЧИТЕЛЕМ

## 1.1 Завдання розпізнавання медико-біологічних сигналів за характерним їх виглядом в системах, що навчаються з учителем

Проаналізуємо в цілому постановку такого завдання розпізнавання сигналів з урахуванням завдання на розробку розпізнавальних процедур для типів сигналів з використанням ізоляцій як ознак їх форми і визначимо основні окремі завдання, які будуть розглядатися в роботі.

Завдання розпізнавання розглядається для медико-біологічних сигналів, які можливо розпізнавати за їх формою [1 – 5], оскільки саме вона для сигналів певних типів несе в собі істотну інформацію про стани організму людини і роботу його окремих систем [1 – 6], які потрібно визначити під час діагностики пацієнтів.

Для вирішення такого завдання в багатьох випадках передбачається використання числових ознак (рис. 1.1), що описують форму медико-біологічних сигналів, які можуть характеризувати ці сигнали в часовій [1 – 6], частотній [1 – 6] областях їх розгляду, відображати форму статистичних характеристик зустрічальності різних значень відліку сигналів [1 – 6], форму статистичних характеристик їх взаємозв'язку між собою [1 – 6].

Для формування таких описів часто використовують різноманітні системи базисних функцій і розкладання сигналів по ним [1 – 4, 20, 21] для розрахунку необхідних для розпізнавання ознак форми сигналів. Результуючі описи форми сигналів, які отримують, у багатьох випадках являють собою послідовності числових ознак (вектори), які використовують для розпізнавання сигналів [1 – 4, 20, 21]. Використовуються також інші підходи до формування і відбору необхідних числових ознак і різноманітні варіанти реалізації їх застосування в розпізнавальних системах медичного призначення [1 – 5, 21].



Рисунок 1.1 – Різновиди характеристик форми медико-біологічних сигналів в діагностиці пацієнтів

Таким чином, розробка кожного конкретного розпізнавального алгоритму часто вимагає конкретизації системи числових ознак, за якими ці сигнали будуть розпізнаватися. У даній роботі ставиться питання про використання систем ізоліній для опису форми сигналів.

Перелік основних окремих задач комплексного завдання розробки розпізнавальних процедур для типів сигналів з використанням ізоліній як ознак їх форми, які розглядатимуться в роботі, будемо узагальнювати рисунком 1.2.

Широко поширені розпізнавальні алгоритми, які для розпізнавання використовують характерний вид сигналів в кожному їх класі використовуваної класифікації [1 – 6], яка часто має деякий медичний сенс, зв'язок зі станами організму пацієнтів, захворюваннями, що діагностуються [1 – 6]. Роль характерних сигналів в їх класах у багатьох випадках грає середній вид сигналів або середні значення послідовностей числових показників (векторів), які використовуються для їх опису з метою розпізнавання їх типів.

**Основні часткові завдання в комплексній  
задачі розробки розпізнаючих процедур для типів сигналів  
з використанням ізоліній як ознак їх форми**

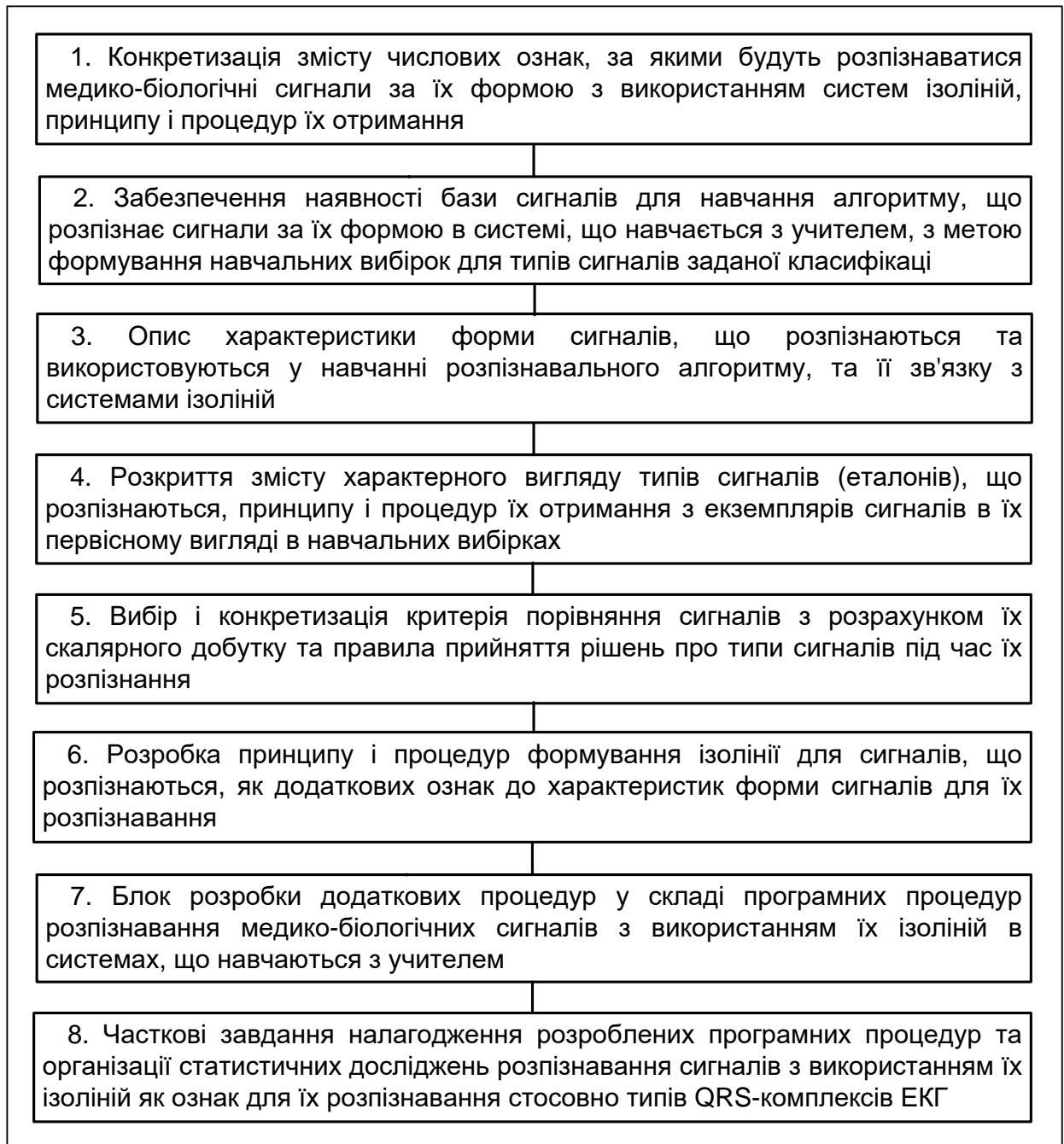


Рисунок 1.2 – Основні часткові завдання в комплексній задачі розробки розпізнаючих процедур для типів сигналів з використанням ізоліній як ознак їх форми

У роботі реалізується спосіб розпізнавання сигналів за їх характерним виглядом (за еталонними описами) в кожному типі сигналів, який визначається розпізнавальним алгоритмом.

Класифікація сигналів, які розпізнаються, в цій роботі покладається відомою і вичерпною. Процедури розпізнавання, які розробляються, розраховані на класифікацію сигналів з трьох класів. Розробки ілюструються на прикладі розпізнавання типів QRS - комплексів в електрокардіограмі пацієнта [16 – 19].

У розпізнавальних системах, які навчаються з учителем [1, 2, 4, 6], його типовим завданням є надання достатньої кількості екземплярів сигналів в кожному їх класі, які маються на увазі в діагностиці. У разі наявності таких навчальних вибірок, таким чином, в системах, які навчаються з учителем, питання про отримання характерних сигналів для їх класів (еталонів) вирішується досить просто і це робиться на етапі навчання розпізнавального алгоритму, на якому формуються такі еталони [1 – 5].

З цією метою використовуються бази даних з наборами сигналів різних класів [1 – 5]. Одним із завдань цієї роботи є забезпечення наявності такої бази даних для вирішення питань навчання розпізнавальних процедур, які розробляються.

В якості первинних описів сигналів, з якими безпосередньо оперує розпізнавальний алгоритм, можуть використовуватися не послідовності цих відліків, а послідовності відліків так званої характеристики їх форми [7 – 10, 12 – 15, 22, 23], застосування якої полегшує умови вирішення задачі розпізнавання. Тому у складі часткових задач у загальній задачі розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоліній у системах, що навчаються з учителем, доцільно передбачити перетворення сигналів у характеристики їх форми.

Прийняття рішень про типи сигналів в процесі їх розпізнавання характеризується значною різноманітністю критеріїв прийняття рішень.

Широко застосовується порівняння нових екземплярів сигналів з еталонними їх описами в різних класах [7 – 10, 12 – 15, 22 – 24]. Сигнали можуть розглядатися в просторах їх представлення з різною метрикою [1 – 5, 21], наприклад, евклідові

простори, де кожен сигнал зображується точкою. Найпростішим правилом прийняття рішень є вибір того класу сигналів, до еталону якого відстань цього екземпляра найменша [1 – 5, 21]. У виявленні і розпізнаванні сигналів широко застосовується також розрахунок їх скалярних добутків [7 – 10, 12 – 15, 22 – 24], які виражають близькість форми сигналів, які порівнюються. Рішення тут приймається на користь типу сигналів, для якого такий скалярний добуток має найбільше значення [7 – 10, 12 – 15, 22 – 24].

За завданням на роботу саме скалярні добутки сигналів повинні використовувати в критерії прийняття рішень про тип сигналів, які розпізнаються. У разі використання ізоліній частковим завданням формування розпізнавальних процедур буде розробка конкретного виду критеріїв порівняння сигналів з розрахунком їх скалярного добутку та прийняття рішень про типи сигналів під час їх розпізнавання.

Окремим частковим завданням буде розробка процедур формування систем ізоліній [6] для сигналів, що розпізнаються, як система кількісних ознак (векторів) для їх розпізнавання.

На цьому завершується складання переліку основних часткових задач комплексного завдання розробки розпізнаючих процедур для типів сигналів з використанням ізоліній як ознак їх форми, які розглядатимуться в роботі, що узагальнено на рисунку 1.2 .

Більш детальна характеристика змісту цих часткових завдань і підходи до їх вирішення розкриваються в пунктах 1.2 – 1.7 дипломної роботи.

Окремим блоком завдань, крім розробки необхідних процедур (розділ 2) часткові завдання, які пов'язані з налагодженням розроблених програмних процедур і організацією статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням їх ізоліній як ознак для розпізнавання на прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта (розділ 3 роботи).

Таким чином, основним результатом цього підрозділу є сформований список основних часткових завдань у комплексній задачі розробки розпізнаючих процедур для типів сигналів з використанням ізоліній як ознак їх форми.

## 1.2 База сигналів для навчання алгоритму, що розпізнає сигнали за їх формою в системі, що навчається з учителем

Для підготовки бази даних кардіосигналів з метою забезпечення досліджень щодо використання систем ізоліній як ознак для розпізнавання медико-біологічних сигналів за їх формою розглядається загальний підхід до розпізнавання сигналів в системах, що навчаються з учителем, з використанням навчальних та контрольних вибірок.

Розглядається завдання, в якому типи сигналів, які потрібно буде розпізнавати, відомі та питання забезпечення навчання розпізнавального алгоритму розрізненню трьох типів QRS- комплексів відомої медичної класифікації таких комплексів (N, A та V типів) відповідно до таких характерних можливих варіантів здійснення насосної функції серцем.

Для прикладу розглядається задача розпізнавання N, A, V типів QRS- комплексів [16] в півгодинному запису ЕКГ конкретного пацієнта (рис.1.3). Дані такого запису взяті з Internet [16]. Розглядається розпізнавальна система, що навчається з учителем [1 – 5]. Зазначений запис має розмітку положень R-піків кожного кардіоцикла. Для кожного QRS-комплексу вказано його тип [8]. Реалізація QRS-комплексу V типу може не мати R-піку в запису, але його гіпотетичне положення в даних все одно відзначене вчителем.

В роботі така розмітка запису ЕКГ вважалася достовірною. Вона використовувалася лише як приклад, на якому можливо формування навчальної та контрольної вибірок, формування потрібних ознак для опису форми сигналів, перевірка можливості їх розпізнавання.

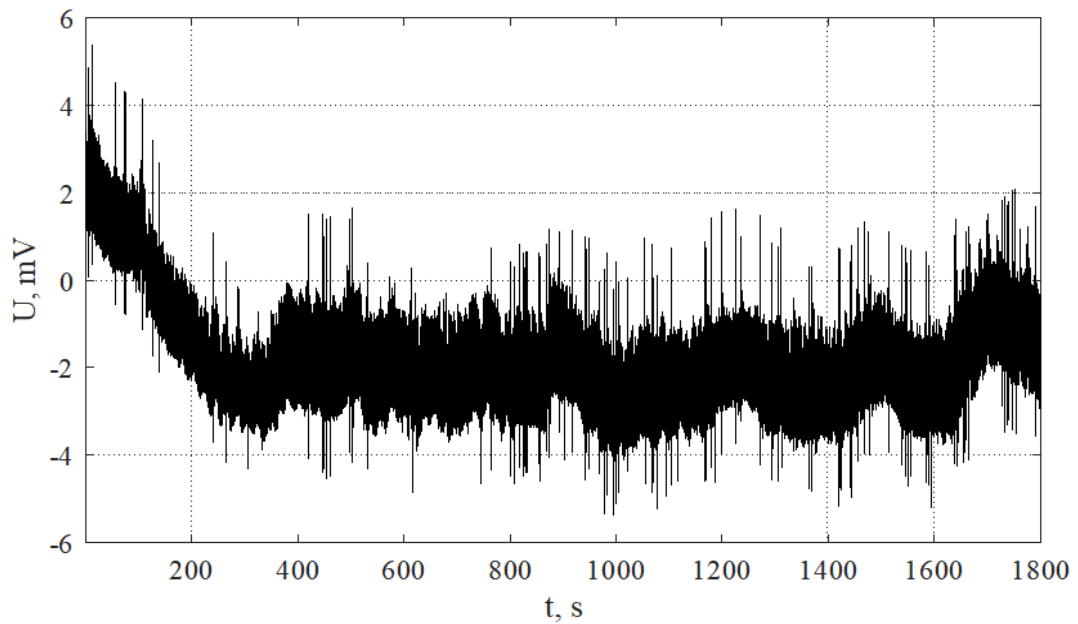


Рисунок 1.3 – Півгодинний запис ЕКГ пацієнта в одному відведенні

Враховувалося також, що форма таких комплексів характеризується певною стабільністю і саме за формою подібних сигналів буде можливо їх розпізнавати, використовуючи як ознаки для розпізнавання системи ізоліній, які «відстежують» своїми рівнями форму сигналів, що розпізнаються, та забезпечують прийняття рішень щодо їх типів.

Для прийняття таких рішень було рекомендовано використовувати скалярні добутки характерного опису комплексів кожного типу (еталонів для цих типів) з екземпляром сигналу (екземпляром комплексу), який розпізнається. Рішення приймається на користь того типу сигналу, еталоном якого дає найбільше значення такого добутку.

Для забезпечення коректності використання скалярного добутку в такому разі доцільно вилучити постійну складову з екземпляру сигналу та пронормувати його за інтенсивністю. Тобто потрібно спочатку перейти від відліків сигналів на початковій шкалі їх представлення до безрозмірної шкали представлення цих сигналів на тій же самій рівномірній сітці часу. Саме такою буде початкова форма сигналів, для яких будуть сформовані ізолінії.

Для навчання розпізнавального алгоритму складено навчальні вибірки по 62 реалізації для кожного типу сигналів. Аналогічно складені контрольні вибірки для

оцінки вірності розпізнавання сигналів процедурою, яка навчена. Використані стандартні показники вірності рішень: чутливість, специфічність, загальна валідність [1 – 5]. Обсяги навчальних і контрольних вибірок однакові для спрощення розрахунків.

Всі вихідні реалізації сигналів розглядаються фрагментарно в єдиному вікні їх аналізу з 128 відліків на рівнодискретній сітці часу з однаковим положенням  $R$ -піків. Ширина вікна незмінна. [7 – 10, 12 – 15, 22, 23].

1.3 Характеристика форми сигналів, що розпізнаються та використовуються у навчанні розпізнавального алгоритму, та її можливий зв'язок з системами ізоляції.

Дослідження [7 – 10, 12 – 15, 22 – 24] підтвердили продуктивність використання характеристик форми сигналів та критерію оцінки їх близькості у вигляді скалярного добутку, який виражає кореляцію форми сигналів [24].

Характеристика форми сигналів, представлених у вигляді послідовності відліків на рівнодискретній сітці часу, в найпростішому випадку являє собою [7 – 10, 12 – 15, 22 – 23] ту ж саму послідовність відліків, позбавлену постійної складової, яка змінює співвідношення відліків сигналів і ускладнює їх розпізнавання, і додатково пронормовану по інтенсивності для виключення впливу енергії сигналів [24] на коректність їх порівняння.

На етапі попередньої обробки даних запису кожен сигнал перетворюється в характеристику його форми. З нього виключається постійна складова і здійснюється нормування за інтенсивністю [8, 9, 12, 23], що сприяє підвищенню вірності розпізнавання сигналів [8, 9, 12, 23].

Попередня обробка сигналів – це процедура, що застосовується при формуванні контрольних та навчальних вибірок, еталонних сигналів, тощо, для

підвищення вірності розпізнавання та прийняття рішень про тип вхідної реалізації. Зміст попередньої обробки зводиться до приведення сигналів до характеристики форми [2, 4, 24].

Тому, щоб привести первинні дані вимірювань у вікні аналізу сигналів до характеристики форми QRS-комплексів виконаємо дві операції [7]:

- оцінка і вилучення постійної складової з сигналу кожного комплексу – середнього значення його відліків вимірних значень сигналу в межах всього вікна спостереження, – з формуванням відповідного масиву проміжних даних;

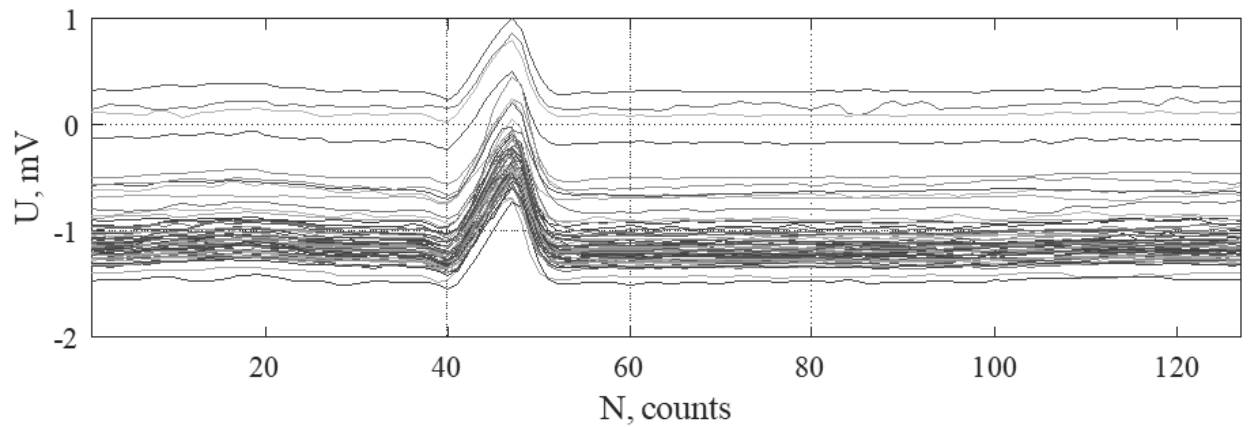
- масштабування відліків комплексів (після вилучення постійної складової сигналу) – приведення сумарної енергії цих відліків до одиничного значення [24].

Як виходить з результатів попередніх розв'язків в наявних публікаціях характерним є приклад на рисунку 1.4.

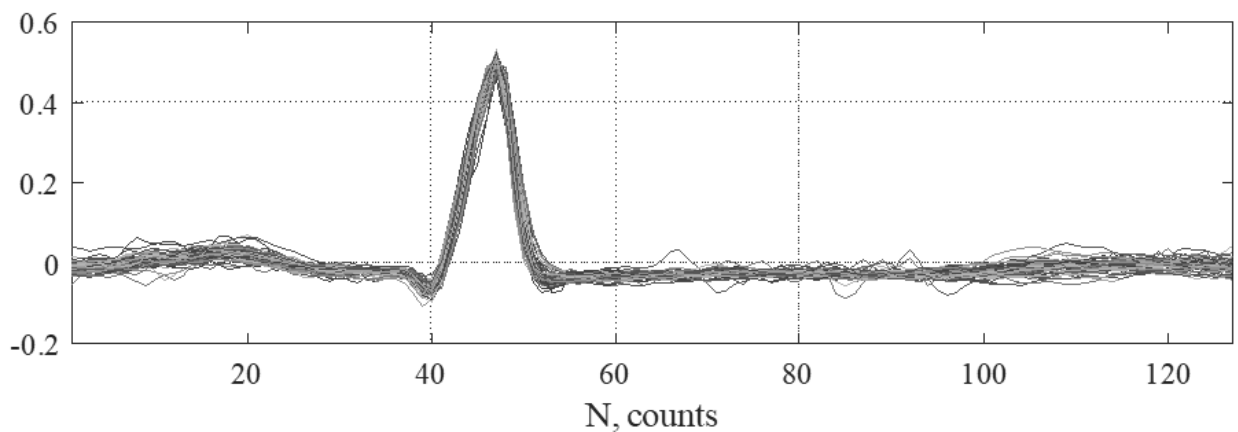
Для підвищення якості діагностики пацієнтів актуально викриття резервів у підвищенні результативності розпізнавання медико-біологічних сигналів. Продовжується пошук нових систем опису сигналів для різних станів організму людини і захворювань, способів їх використання в розпізнавальних алгоритмах [2, 3, 15].

Як ознаки для розпізнавання тут можуть розглядатися рівні ізоліній на графіку сигналу. Рішення про тип сигналу приймається шляхом порівняння положення системи його ізоліній з їх характерним розміщенням в кожному класі з використанням операції скалярного добутку векторів ознак. Для коректності такого порівняння сигнали перераховуються в послідовності відліків характеристик їх форми з виключенням постійних складових і нормуванням інтенсивності [11, 15].

Змінюється форма сигналу, змінюється і розташування ізоліній [6]. Такі ознаки інтегральні і відносно стабільні для класів сигналів, хоча і по-різному. За ними можна визначати типи нових сигналів, що розпізнаються.



*a*



*б*

Рисунок 1.4 – Ілюстрація результату виконання попередньої обробки на прикладі вибірки QRS-комплексів N-типу з сигналу ЕКГ: *a* – до обробки; *б* – характеристика форми сигналів вибірки.

Під ізолінією на полі графіка сигналу розуміється відрізок горизонтальної прямої, який проведено на такому рівні, що площі відносно нього, що обмежені лінією графіка, однакові. Якщо сигнал перетворено до характеристики його форми, то горизонтальна вісь графіка займає нульовий рівень і вона є його першою ізолінією. Кількість і дислокація точок графіка на смугах вище і нижче такої ізолінії є різною і все це залежить від форми сигналу. Для цих смуг визначається своє положення ізоліній. Нові ізолінії розділяють ці смуги на більш вузькі стрічки і так далі, залежно від форми сигналу. Так будується система ізоліній сигналу для його опису [6].

Таким чином, в якості вихідних описів сигналів в задачі їх розпізнавання, коли вони допускають це робити за їх формою, зручно використовувати як їх опис послідовності відліків характеристики форми на тій же сітці часу, на якій виконані самі відліки сигналів в процесі їх вимірювання. Це полегшить умови їх розпізнавання і підвищить його якість [6].

Аналізуючи властивості характеристики форми сигналів, які впливають з її визначення [6], з урахуванням змісту терміна «ізолінія», можна запропонувати конструкцію взаємозв'язку між ними, яка дозволить отримати додаткову систему ознак для опису форми сигналів в задачі їх розпізнавання.

Це можна простежити в такій логіці міркувань, розкриваючи властивості характеристики форми сигналів відповідно до її визначенням в такому порядку.

1. Характеристики форми сигналів-це послідовності чисел на тій же сітці часу, що і відліки сигналу, які зручно представляти у вигляді векторів  $N$ -мірних евклідових просторах.

З цією метою на координатних осях прямокутної системи координат (рис 1.5) такого простору відкладаються відліки характеристики форми сигналів в тій же самій послідовності, в якій вони слідуєть у часі на інтервалі їх розгляду. Кількість відліків сигналу задає розмірність простору, в якому вони можуть попервах розглядатись.

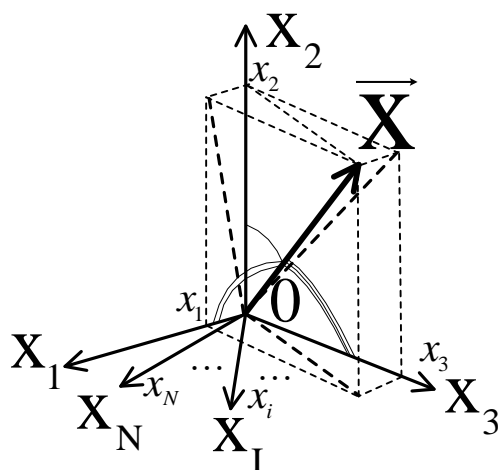


Рисунок 1.5 – Геометрична інтерпретація екземпляра сигналу у вигляді його характеристики форми

Значення таких координат визначає положення точки в просторі відліків характеристики форми сигналів. З початку координат в цю точку проводиться вектор  $\vec{\bar{X}}$ , який являє собою геометричну інтерпретацію екземпляра сигналу у вигляді його характеристики форми.

2. Скалярний добуток вектора характеристики форми сигналу на себе для реальних сигналів будь-якої найрізноманітнішої форми дорівнює 1.

Це підтверджується таким чином. Після визначення і видалення постійної складової з сигналу  $\vec{Y}$  виходять відліки  $\bar{x}_i$ , які нормуються коренем квадратним з суми квадратів своїх значень. Тоді виходять відліки характеристики форми

$$x_i = \bar{x}_i / \sqrt{\sum_i (\bar{x}_i)^2}$$

За визначенням скалярного добутку векторів  $(\vec{\bar{X}}, \vec{\bar{X}})$  знаходимо суму добутків відповідних координат. Отримуємо:

$$(\vec{\bar{X}}, \vec{\bar{X}}) = \sum_i x_i \times x_i = \sum_i \left( \bar{x}_i / \sqrt{\sum_i (\bar{x}_i)^2} \right) \times \left( \bar{x}_i / \sqrt{\sum_i (\bar{x}_i)^2} \right). \quad \text{Тут знаменники}$$

співмножників в кожному доданку однакові. Вони не залежать від  $i$ , виносяться з-під знака зовнішньої суми і після перемноження залишаються без кореня квадратного. Точно така ж сума квадратів виходить в результаті складання перемножених чисельників. Результат дорівнює одиниці, що і було потрібно.

3. Для всіх таких векторів представлення сигналів різноманітної форми їх довжини (модулі) однакові і рівні 1.

Довжина вектора  $|\vec{\bar{X}}|$  визначається виразом  $|\vec{\bar{X}}| = \sqrt{\sum_i (\bar{x}_i)^2}$ . За умовою нормування коефіцієнтом для її виконання якраз і є зворотна величина, тому для довжини такого вектора отримуємо одиницю.

4. Координати вектора характеристики форми сигналу мають сенс косинусів напрямних кутів, які визначають орієнтацію цього вектора в зазначеному просторі.

На рисунку як приклад відзначено три напрямних кута. Це кути між вектором і різними координатними осями. Їх кількість відповідає кількості координатних осей. Напрямні кута, також як і координати фіксують напрямок вектора в просторі.

Тут будь-яка координата вектора-це його проекція на відповідну координатну вісь. Її значення дорівнює довжині катета прямокутного трикутника, який прилягає до направляючого кута. Сам вектор утворює гіпотенузу цього трикутника. За умовою нормування вектора гіпотенуза має одиничну довжину. Тому сама координата дає числове значення косинуса направляючого кута.

5. Відмінність форми двох сигналів у разі їх опису характеристиками форми сигналів виражає просторовий кут між векторами, які їх зображують. Чим більше буде відмінність у відповідних координатах цих векторів, тим більше буде такий кут. І навпаки, в разі повного збігу значень таких координат векторів вони збігаються самі.

6. Скалярний добуток двох векторів, які зображують характеристику форми двох сигналів, є числом, яке виражає близькість їх форми. Це так, оскільки чисельно цей скалярний добуток дорівнює косинусу кута неузгодженості напрямків векторів. Чим ближче значення відповідних координат, тим менше неузгодженість напрямків векторів, тим більше значення косинуса кута зазначеного неузгодженості.

7. Як би не були неузгоджені характеристики форми сигналів, які б значення не мав кут між двома векторами, які їх зображують, відповідно до властивостей зазначеної тригонометричної функції, значення скалярного добутку таких векторів завжди буде знаходитися в межах шкали  $[-1; +1]$ , що зручно в порівнянні форми сигналів і визначенні їх взаємної близькості і, зокрема, в прийнятті рішень про типи сигналів.

8. Характеристика форми сигналів сама по собі, як послідовність спеціальним чином побудованих відліків, може бути описана додатковими системами числових ознак за окремими підмножинами відліків з їх загальної сукупності в їх взаємозв'язку між собою, у їх спільному розгляді за такими підмножинами. Це має

сенс передбачити для більш повного, детального обліку особливостей форми сигналів поряд з характеристикою їх форми як такої.

Систематизувати розбиття характеристики форми сигналів на підмножини відліків для отримання таких додаткових ознак в описі їх форми могло б забезпечити використання ізоляцій у вирішенні такого завдання. Це впливає з властивостей самих ізоляцій.

Дійсно, для ізоляцій характерні такі властивості [6].

1. У підмножині відліків характеристики форми будь-якого сигналу можна побудувати єдину ізоляцію.

2. Рівень, який займає ця ізоляція для конкретної підмножини відліків характеристики форми сигналу, залежить від конкретного складу цієї підмножини і співвідношення значень цих відліків. Тому він може розглядатися як числовий показник для опису форми частини сигналу на сукупності точок цієї підмножини.

3. Рівень ізоляції, який отриманий на підмножині точок, які розглядаються, можна використовувати як рівень для додаткового розбиття цієї підмножини на дві частини відповідно до складу цих точок і значеннями відліків сигналу.

4. Кількість ізоляцій характеристики форми будь-якого конкретного сигналу можна послідовно нарощувати в тих підмножинах, які вони самі утворюють як рівні розбиття, для більш детального виявлення особливостей форми сигналів.

5. Систему ізоляцій можна використовувати для однозначної розбивки відліків характеристики форми будь-якого сигналу конкретного виду на підмножини, які потім можемо описувати їх ізоляціями з розрахунком їх рівнів, і, таким чином, отримати систему додаткових ознак для опису форми сигналу.

При такому підході самі рівні ізоляцій стають показниками в описі форми сигналів для їх розпізнавання [6]. Опис кожного сигналу характеристикою форми поповнюється системою додаткових числових ознак, які поряд з самою такою характеристикою можуть використовуватися для визначення типів сигналів в процесі надходження.

Розглянутий підхід, конструкція і принцип реалізації взаємозв'язку характеристики форми сигналів з системою ізоляцій, які їй однозначно поставлені

у відповідність таким способом, покладені в цій роботі в основу вирішення питання розробки процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з ізолініями в системах, що навчаються з учителем. Більш детально ці питання обговорюються в пункті 1.6 роботи. Перед цим у пункті 1.4 роботи визначається, що розуміється під характерним виглядом типів сигналів, які розпізнаються, у разі використання характеристики форми сигналів для їх опису, тим більше, що такий підхід буде використовуватися надалі для розробки процедур розпізнавання сигналів з ізолініями. Крім того, в пункті 1.5 розкривається зміст критерію порівняння сигналів з розрахунком їх скалярного добутку і прийняття рішень про типи сигналів під час їх розпізнавання за таким критерієм.

#### 1.4 Характерний вигляд типів сигналів, що розпізнаються

В даній роботі проводяться дослідження щодо загальновідомих алгоритмів визначення типу сигналів за їх формою. Для них широко розповсюджене визначення для кожного класу по навчальних вибірках сигналів характерної форми (еталонів). Для класифікації та прийняття рішення про тип сигналу, форму вхідного сигналу порівнюють з еталонами. Рішення приймається на користь того класу, на який найбільше схожий вхідний сигнал за своєю формою [25].

Еталоном для кожного класу можемо вважати середній вигляд сигналів навчальної вибірки окремо взятого класу. Такий підхід також можливий для того випадку, коли, реальні розподіли по вірогідності медико-біологічних сигналів, що зображуються по точках у відповідних просторах і гістограмах мають різноманітну та, як правило, складну форму.

Більш детальний опис характеристик форми сигналів додатковими ознаками, наприклад, системами ізоліній може сприяти підвищенню рівня правильності їх розпізнавання.

Розрахунок середнього виду сигналів, а також характеристик їх форми або інших описів цих сигналів, наприклад, за допомогою систем ізоліній як ознак для розпізнавання, повинен виконуватися покоординатно з використанням примірників сигналів всіх навчальних вибірок.

Для реалізації такого підходу реалізується така послідовність операцій [25].

1. Організація зовнішнього циклу перегляду координат сигналу (або координат його характеристики форми).

Кількість таких циклів відповідає кількості відліків в екземплярі сигналу. За умовами задачі кількість відліків сигналу у вікні їх аналізу дорівнює 128 (рис. 1.6) – [25].

2. Організація внутрішнього циклу перегляду екземплярів сигналів у навчальній вибірці для кожного їх конкретного типу (N, A, V).

3. Підсумовування однойменних координат обраного номера по всій навчальній вибірці.

4. Розрахунок середнього значення підсумованих однойменних координат обраного номера по всій навчальній вибірці.

Блок-схема такого програмного модуля очевидна, як і необхідні для розрахунків формули.

1.5 Критерій порівняння сигналів з розрахунком їх скалярного добутку та прийняття рішень про типи сигналів під час їх розпізнавання

В даній роботі критерієм порівняння сигналів є скалярний добуток, який можемо розрахувати за формулою  $(\vec{X}_1 \times \vec{X}_2) = \sum_i X_{1i} X_{2i}$ , де  $X_{1i}$  - відліки еталонів, а  $X_{2i}$  – відліки сигналу, що розпізнається.

Тобто, в даному випадку за скалярним добутком можемо визначати ступінь близькості вхідного сигналу до еталону того чи іншого типу QRS-комплексу.

Рішення приймається за максимальним його значенням і за цим значенням присвоюється до того типу, на який воно схоже.

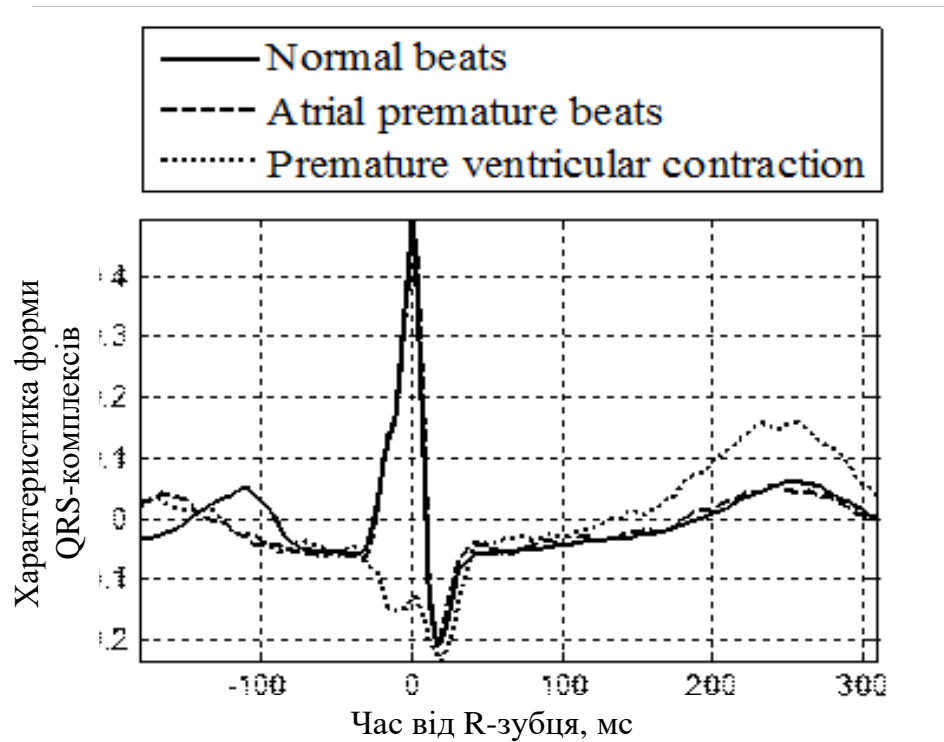


Рисунок 1.6 – Формат послідовностей відліків сигналу і характеристики його форми для різних типів QRS-комплексів

Таким чином загальну процедуру прийняття рішень про типи сигналів під час їх розпізнавання можемо записати таким чином:

1. Розрахунок скалярного добутку вхідного сигналу з еталоном для різних типів ;
2. Пошук максимального значення скалярного добутку;
3. Формування рішення про те, до якого типу віднести вхідний сигнал.

1.6 Ізолінії для сигналів, що розпізнаються, як ознаки для їх розпізнавання

Під ізолінією сигналу на певному інтервалі часу можна розуміти такий рівень сигналу (горизонтальну пряму на графіку), що суми відхилень точок графіку доверху від цього рівня і донизу однакові.

Таким чином, множина всіх точок графіку, що розглядаються, поділяється на дві підмножини. А кількість точок, що потрапляє донизу і доверху, не однакова і їх розподіл залежить від форми сигналу, від співвідношення значень його відліків. Крім того, від форми сигналу залежить не тільки кількість точок в кожній підмножині, але й конкретна їх дислокація на шкалі часу. Тому розглядається питання використання систем ізоліній, рівнів, що вони посідають, в якості ознак сигналів для їх розпізнавання за їх формою.

Яким чином побудувати систему ізоліній для конкретного екземпляру сигналу, для цього достатньо звернути увагу на такі обставини.

По-перше, звертаємо увагу на те, яка шкала відповідає значенням характеристики форми сигналу, що вважається початковою для побудови системи ізоліній. Якби сигнал мав одну ненульову координату, то її значення мало б значення довжині вектору, який зображає такий сигнал. Якщо координата позитивна, то це була +1. У разі від'ємної координати отримуємо -1. Тобто, межі цієї шкали зазначає відрізок  $[-1; +1]$ .

По-друге, за змістом перетворення сигналу до характеристики його форми суми модулів відліків сигналу вище горизонтальної осі і нижче неї однакові. Таким чином, цю вісь можна вважати початковою ізолінією (нульового порядку). Далі потрібно визначити, які відліки сигналу належать до верхньої і нижньої груп (підмножин) точок відносно ізолінії.

Після такого сортування в кожній підмножині будується своя внутрішня ізолінія, як середнє значення відліків сигналу. Кількість подібних множин і ізоліній для них зростає

Перетворення вихідних сигналів, які представлені послідовностями їх відліків в одиницях їх вимірювання, в характеристику форми кожного з їх примірників на етапі попередньої обробки даних призводить до отримання послідовностей безрозмірних відліків цієї характеристики в межах шкали  $[-1; +1]$ .

Це впливає з визначення характеристики форми сигналу, яке було розкрито раніше.

З цього визначення, крім того, впливає, що нульовий рівень послідовності відліків такої характеристики сигналу є його ізолінією. Суми позитивних відліків характеристики форми сигналу, які вище нульового рівня, і негативних відліків, які зображуються точками нижче цього рівня на графіку характеристики форми сигналу, мають однакові значення і врівноважують один одного в межах інтервалу часу, на якому розглядається сигнал.

Після приведення різних сигналів до характеристики форми нульовий рівень відповідно до змісту виконуваних перетворень обов'язково є ізолінією, які б не були сигнали за своєю формою. Тому така ізолінія неінформативна.

Проте в розроблюваному алгоритмі, разом з межами шкали характеристики форми сигналу, вона відіграє важливу роль, оскільки нульовим рівнем вся множина точок розділяється на перші дві підмножини, від складу і розташування яких на графіку, тобто від форми сигналу буде залежати положення перших інформативних ізоліній.

Ця ізолінія, якій умовно присвоїмо нульовий порядок, ділить поле графіка на дві горизонтальних смуги-верхню і нижню. Алгоритм, який розробляється, повинен формувати по одній внутрішній ізолінії в кожній з цих смуг. Нехай спочатку це будуть ізолінії 1-го порядку. Кожна з них розділить свою смугу на дві більш вузькі стрічки. З двох смуг графіка шляхом їх поділу внутрішніми ізолініями формується чотири смуги, всередині яких має бути отримано чотири нових ізолінії 2-го порядку.

І так далі. Кожен такий крок подвоює кількість смуг і кількість нових ізоліній, поки в них є точки.

До складу системи ізоліній  $p$ -го порядку входять всі ізолінії всіх попередніх порядків. Нові ізолінії  $p$ -го порядку доповнюють ізолінії попереднього порядку і розміщуються серед них, утворюючи спільно з ними необхідну систему таких ліній. Особливість такого способу формування набору ізоліній полягає в тому, що

поки всі ізоляції попередніх порядків не будуть побудовані, не будуть сформовані смуги графіка, в яких повинні бути побудовані ізоляції наступного, більш високого порядку.

Таким чином, характеризуючи в цілому принцип формування систем ізоляцій для кожного конкретного примірника сигналу, для отримання набору таких чисельних показників його форми важливо відзначити (рис. 1.7), що який би не був наперед заданим (в розумних межах) порядок необхідної системи ізоляцій, вони будуть будуватися послідовно крок за кроком від найнижчого (1-го) порядку до необхідного порядку включно.

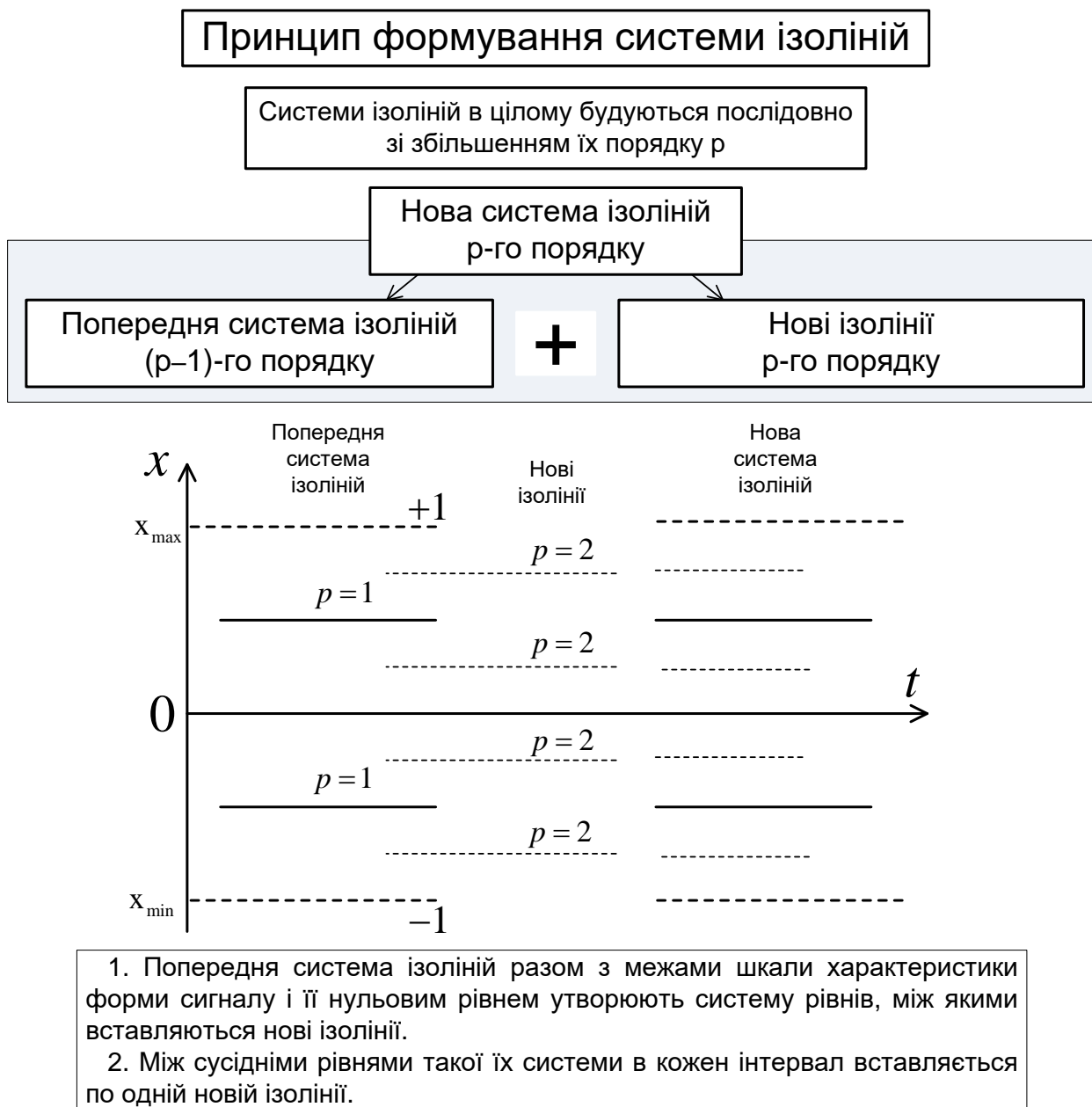


Рисунок 1.7 – Принцип формування системи ізоляцій

Для отримання кожної нової системи ізоляцій поточного порядку потрібно взяти систему рівнів попереднього порядку, для кожної пари сусідніх рівнів визначити, які відліки на графіку потрапляють між ними і сформувати внутрішню ізоляцію на кожному такому інтервалі значень характеристики форми сигналу.

На цьому малюнку як приклад представлена система координат  $xOt$ , в якій розглядаються відліки характеристики форми  $x(t)$  сигналу в межах шкали  $[x_{\min}; x_{\max}]$ . Вісь часу тут проведена на нульовому рівні і є ізоляцією нульового порядку. Як приклад наводиться взаємна розстановка рівнів 1-го порядку і 2-го порядку. Наводиться порядок їх взаємного розташування.

Залежно від форми сигналів в загальному випадку будуть змінюватися відстані між наведеними рівнями в межах незмінної шкали, однак порядок їх проходження, наприклад, під час перегляду їх системи зверху вниз буде зберігатися. Так, третя зверху нова ізоляція 2-го порядку завжди буде нижче осі часу, але вище нижньої ізоляції 1-го порядку, якщо в цей інтервал потрапляють відліки характеристики форми сигналу. Вона будується за відліками всередині саме цього інтервалу і за тими відліками, які закривають весь цей інтервал. Інші відліки не враховуються і це визначається окремим правилом для їх розрахунку в кожній смузі, яка розглядається, і перерахунку у відповідний рівноважний рівень ізоляції. Рівномірність горизонтальних рівнів по вертикалі на малюнку передбачена тільки для зручності читання ілюстрації.

У лівій частині малюнка в верхню і нижню напівплощини вставлено по одній ізоляції 1-го порядку. З двох вихідних горизонтальних смуг графіка, завдяки цьому, отримано чотири більш вузьких по вертикалі горизонтальні смуги. У них вбудовуються, відповідно, чотири нових ізоляції 2-го порядку. Вони показані в центральній частині малюнка.

Рівень, який займає кожна така нова ізоляція, залежить від форми фрагмента графіка сигналу, який потрапляє в свою смугу, в свій інтервал прозорості. Він

займає рівноважне положення на своїй підмножині точок, яке визначається за допомогою додаткової внутрішньої процедури.

Щоб отримати повну нову систему ізоліній, яка показана в правій частині малюнка, колишня система рівнів поповнюється знову отриманими ізолініями. Межі і нульовий рівень шкали також включаються в отриману нову систему рівнів. Однак ці три рівні, як уже зазначалося, не є інформативними. Тому ізоліній, які можна використовувати як ознаки для розпізнавання сигналів, серед загальної кількості показаних рівнів виявляється на три менше, ніж у новій повній системі рівнів, і це буде враховано в описах масивів для запису систем ізоліній, значень рівнів, які вони займають, для кожного сигналу, форма якого буде аналізуватися.

Звертаємо також увагу на те, що нові ізолінії подвоюють кількість смуг і число нових ізоліній такого порядку, що дозволяє для кожного порядку  $p$  ізоліній, які формуються, визначити кількість ізоліній попереднього порядку, кількість нових ізоліній, які вбудовуються в інтервали між ними, і кількість ізоліній нової повної їх системи  $p$ -го порядку.

Разом з системами ізоліній, які формуються, зручно розглядати повні системи рівнів, які беруть участь у формуванні системи інтервалів, всередині яких будуються ізолінії. Крім ізоліній, серед них використовуються рівні  $-1$ ,  $0$  і  $+1$ , які показані на малюнку і є зовнішніми межами шкали значень характеристики форми сигналів і нульовий рівень цієї шкали, який є ізолінією нульового порядку ( $p = 0$ ) в розглянутій системі.

З аналізу ілюстрації до принципу формування системи ізоліній для опису характеристики форми для одного примірника сигналу впливає, що:

- кількість  $n_{нов\ ізо}(p)$  нових ізоліній  $p$ -го порядку може розраховуватися за формулою  $n_{нов\ ізо}(p) = 2^p$ ;

- кількість  $n_{ізо}(p-1)$  ізоліній попереднього порядку враховується в кількості  $n_{рів}(p-1)$  рівнів попереднього порядку спільно з трьома додатковими рівнями використовуваної шкали за формулою  $n_{рів}(p-1) = n_{ізо}(p-1) + 3 = 2^p + 3$ ; це

кількість в процедурі, яка пропонується, береться з готових даних попереднього порядку, оскільки порядок  $p$  системи ізоліній нарощується послідовно, а для найпершого порядку ( $p=1$ ) це кількість  $n_{piv}(p=1)=3$ , що можна простежити за малюнком.

- кількість  $n_{izo}(p)$  ізоліній поточного порядку, таким чином, може оцінюватися за формулою  $n_{izo}(p) = n_{piv}(p-1) + n_{нов\ izo}(p)$ .

- кількість проміжків, в кожному з яких в  $p$ -му порядку буде побудовано по одній ізолінії, на одиницю менше, ніж загальна кількість рівнів для нього:  $n_n(p) = n_{piv}(p) - 1$ .

Розрахунок таких кількісних показників за кількістю рівнів, проміжків і ізоліній для перших трьох порядків ( $p_{max} = 3$ ) представлений в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Кількість рівнів, проміжків і ізоліній в залежності від їх порядку в процесі його нарощування

$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$
$n_{piv}(1) =$ $= n_{piv}(0) + n_{нов\ izo}(1) =$ $= 3 + 2 = 5;$	$n_{piv}(2) =$ $= n_{piv}(1) + n_{нов\ izo}(2) =$ $= 5 + 4 = 9;$	$n_{piv}(3) =$ $= n_{piv}(2) + n_{нов\ izo}(3) =$ $= 9 + 8 = 16;$
$n_n(1) = n_{piv}(1) - 1 =$ $= 5 - 1 = 4;$	$n_n(2) = n_{piv}(2) - 1 =$ $= 9 - 1 = 8;$	$n_n(3) = n_{piv}(3) - 1 =$ $= 17 - 1 = 6;$
$n_{нов\ izo}(1) = 2^1 = 2;$	$n_{нов\ izo}(2) = 2^2 = 4;$	$n_{нов\ izo}(3) = 2^3 = 8;$
$n_{izo}(1) = n_{piv}(1) - 3 = 2;$	$n_{izo}(2) = n_{piv}(2) - 3 = 6;$	$n_{izo}(3) = n_{piv}(3) - 3 = 14;$

Для  $p = 4$  отримаємо  $n_{piv}(4) = n_{piv}(3) + n_{нов\ izo}(4) = 17 + 16 = 33;$   
 $n_n(4) = n_{piv}(4) - 1 = 33 - 1 = 32;$   $n_{нов\ izo}(4) = 2^4 = 16;$   $n_{izo}(4) = n_{piv}(4) - 3 = 30.$

Для  $p = 5$  отримаємо  $n_{piv}(5) = n_{piv}(4) + n_{нов\ izo}(5) = 33 + 32 = 65;$   
 $n_n(5) = n_{piv}(5) - 1 = 65 - 1 = 64;$   $n_{нов\ izo}(5) = 2^5 = 32;$   $n_{izo}(5) = n_{piv}(5) - 3 = 61.$

В цілому, для реалізації розглянутого принципу формування систем ізоліній необхідно визначитися з підходом, який буде реалізований для цілого ряду питань у вирішенні такого завдання. Основними з них є такі питання:

1. Визначення кількості інтервалів, які будуть брати участь в процесі їх перебору для формування внутрішніх ізоліній.
2. Принцип перебору інтервалів шкали характеристики форми сигналу для формування в кожному з них по одній новій ізолінії.
3. Принцип відбору відліків характеристики форми сигналу для поточного інтервалу для їх використання в розрахунку його внутрішньої ізолінії.
4. Принцип визначення рівня внутрішньої ізолінії для поточного інтервалу по відібраним для обліку відліків характеристики форми сигналу.

Для визначення кількості інтервалів, які будуть брати участь в процесі їх перебору для формування внутрішніх ізоліній досить буде скористатися наведеними вище співвідношеннями і числовими прикладами. Формування ізоліній порядку вище п'ятого тут навряд чи буде потрібно.

Для вирішення питання про перебір інтервалів шкали характеристики форми сигналу для формування в кожному з них по одній новій ізолінії пропонується принцип, зміст якого розкривається на рисунку 1.8.

Перебір інтервалів на шкалі характеристики форми сигналу виконується зверху вниз, від більших значень характеристики форми сигналу до менших. Найвищим є інтервал, який починається верхньою межею цієї характеристики.

Всі показані інтервали є суміжними, як показано на рисунку. Для того, щоб відліки характеристики форми сигналу, які потрапляють на суміжні межі сусідніх інтервалів не враховувалися двічі, за домовленістю нижня межа в кожному інтервалі є основною для обліку точок графіка зазначеної характеристики. Це означає, що така точка враховується для розрахунку ізолінії в тому інтервалі з двох суміжних, для якого межа, на яку вона потрапляє, є нижньою. Тому основна межа показана на рисунку суцільною лінією, а друга – пунктирною.

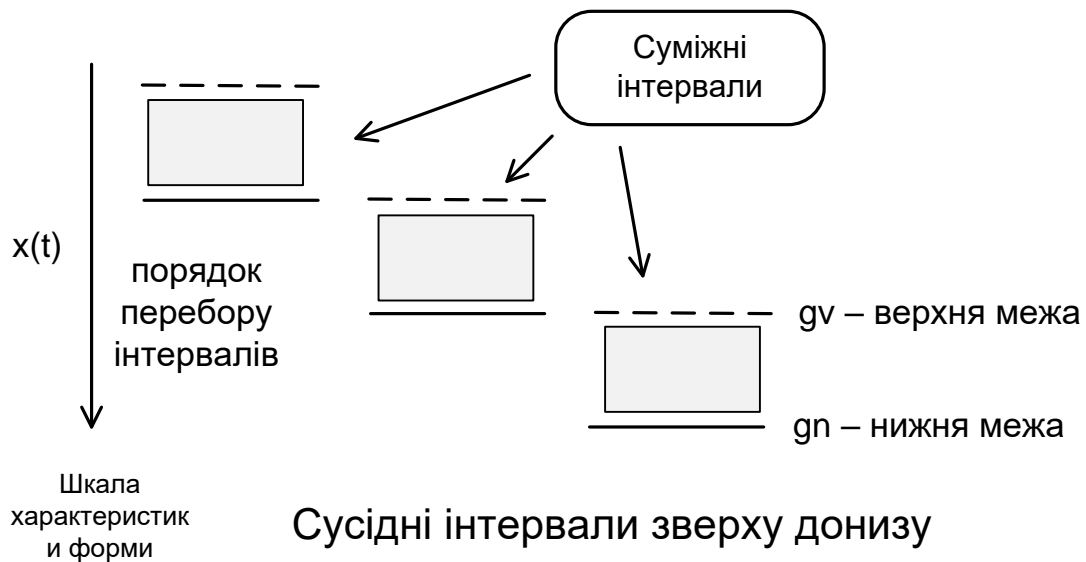


Рисунок 1.8 – Порядок перебору інтервалів у процедурі формування системи нових ізоляцій та зв'язок між межами поточного порядку для суміжних інтервалів значень характеристики форми сигналу

По ходу перегляду всіх інтервалів як у верхньому, так і в нижньому полі графіка встановлюється одна і та ж система позначення меж поточних інтервалів:  $gv$  – верхня межа,  $gn$  – нижня межа.

Перебір інтервалів на цій шкалі зводиться до циклічного присвоєння зазначеним границям значень з таблиці рівнів поточного порядку  $p$ , яка формується попередньою процедурою перед цим.

Якщо змінну циклу перебору інтервалів позначити  $j$ , то верхня межа  $gv$  буде мати значення  $j$ -го елемента масиву  $iso(j)$  зазначених рівнів, а нижня межа  $gn$  буде дорівнювати  $iso(j+1)$ . Таким чином, межа, яка в інтервалі була нижньою, на наступному кроці стає верхньою для чергового інтервалу в процесі їх перебору. Значення  $j_{\max} = 2^p$  в процесі перебору інтервалів для побудови в них внутрішніх ізоляцій.

У разі такого наскрізного перегляду інтервалів уздовж всієї шкали характеристики форми сигналу по одному і тому ж правилу важливо відокремити інтервали верхньої напівплощини від нижньої, оскільки правила відбору точок для обліку в інтервалах верхньої і нижньої напівплощин будуть різними.

Зручно це зробити, виходячи із загальної кількості проміжків в залежності від порядку системи ізоляцій. Половина інтервалів відноситься до верхньої напівплощини, половина – до нижньої. Тоді кількість інтервалів і зверху і знизу стає рівною  $kk = 2^p / 2$  і вона повинна бути обчислена до циклу по  $j$ .

Звідси випливає, що перебір всіх інтервалів шкали, яка розглядається, має сенс організувати з двох частин, в кожній з якої буде діяти своє правило відбору точок. Для верхньої частини шкали  $j = 1, kk$ , для нижньої  $j = kk, j_{\max}$ .

Для вирішення задач, що були зазначені вище в даному підрозділі, можемо скористатися блок-схемою, яка зображена на рисунку 1.9.

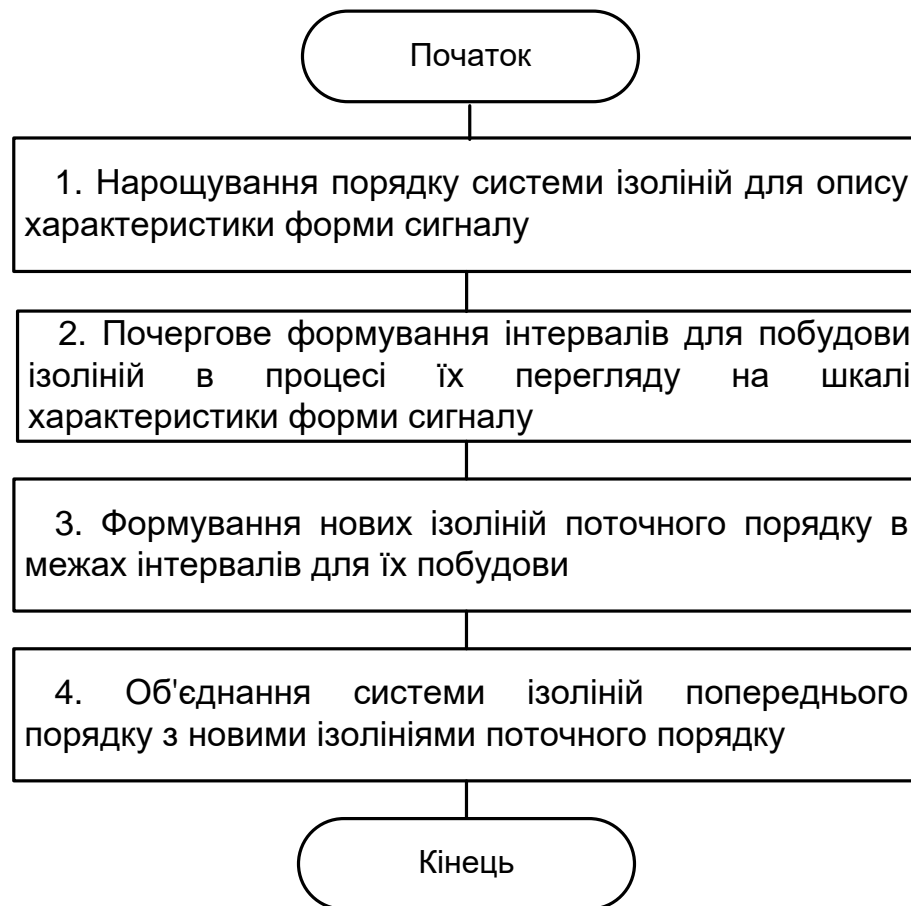


Рисунок 1.9 – Блок-схема процедури формування системи ізоляцій характеристики форми сигналу

Наступним є питання про принцип відбору відліків характеристики форми сигналу для поточного інтервалу для їх обліку в розрахунку внутрішньої ізоляції кожного такого інтервалу. Відліки згаданої характеристики у верхній і нижній

напівплощинах виконуються в протилежних напрямках від нульового рівня. Тому правила урахування точок графіка вгорі і вниз будуть різними. Різні варіанти розташування цих точок (а, б, в, г, д) щодо інтервалу, в якому буде побудована ізоляція, у верхній і в нижній смузі представлені на рисунку 1.10, який характеризує прийняті в роботі рішення.

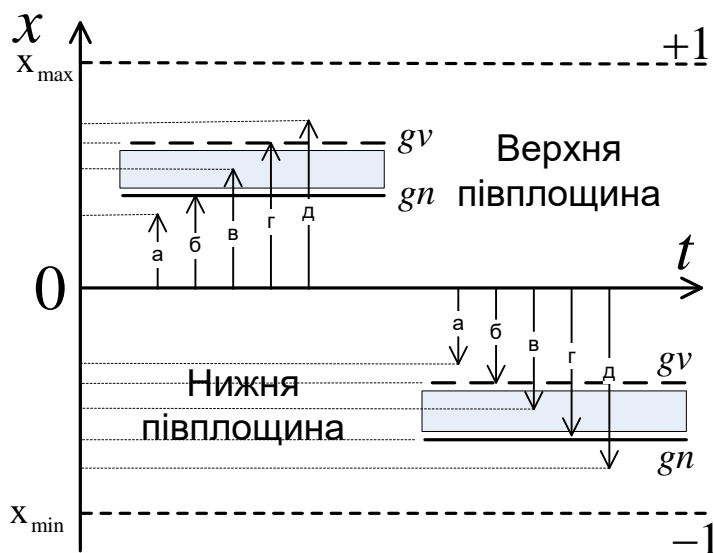


Рисунок 1.10 – Варіанти рішень в процедурі відбору відліків характеристики форми сигналу до поточного інтервалу її значень для їх врахування в розрахунку нової внутрішньої ізоляції

У загальному випадку, якщо відлік своїм значенням не доходить до смуги, в якій повинна бути побудована ізоляція (варіант а вгорі і вниз), то такий відлік не враховується. Якщо він всередині смуги (варіант в вгорі і вниз), то він враховується зі своїм значенням. Якщо відлік йде далі смуги графіка (варіант д), то його наявність враховується, а значення береться те, яке має далека межа інтервалу. Якщо відлік на верхній межі (варіант г вгорі і б вниз), то такий відлік ігнорується. Якщо відлік на нижній межі (варіант б вгорі і г вниз), то такий береться в розрахунок зі значенням своєї межі. Тут  $i$  – номер відліку характеристики форми сигналу в процесі їх перегляду для кожного екземпляра сигналу;  $i=1, N$ , де  $N$  загальна кількість відліків для одного сигналу.

Формально такий принцип розкривається таким чином.

Для верхньої напівплощини:

$$x_i < gn \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i > gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gv);$$

$$x_i < gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i).$$

$$i = 1, N.$$

Для нижньої напівплощини:

$$x_i > gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i < gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i > gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i).$$

$$i = 1, N.$$

Отримані співвідношення можуть бути перетворені в послідовність операцій для почергового перегляду відліків характеристики форми одного примірника сигналу з відбором і урахуванням відповідних точок графіка в процесі формування ізоляції всередині інтервалу з заданими межами  $gv$  і  $gn$ .

До початку відбору точок для кожного інтервалу змінним  $nt$  і  $st$  потрібно присвоїти нульові значення. Змінна  $nt$  використовується для підрахунку відповідних відліків, змінна  $st$  застосовується для їх підсумовування. Оператор  $q = 1$  є порожнім.

Принцип визначення рівня внутрішньої ізоляції для поточного інтервалу по відібраним для урахування відліків характеристики форми сигналу є простим. Накопичена сума  $st$  ділиться на кількість  $nt$  підрахованих точок, які потрібно врахувати.

Для вирішення цього питання скористаємося блок-схемою, що зображена на рисунку 1.11.

Таким чином, з метою розробки процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів за їх формою, які використовують системи ізоляцій як числові ознаки для її опису, отримані такі основні результати:

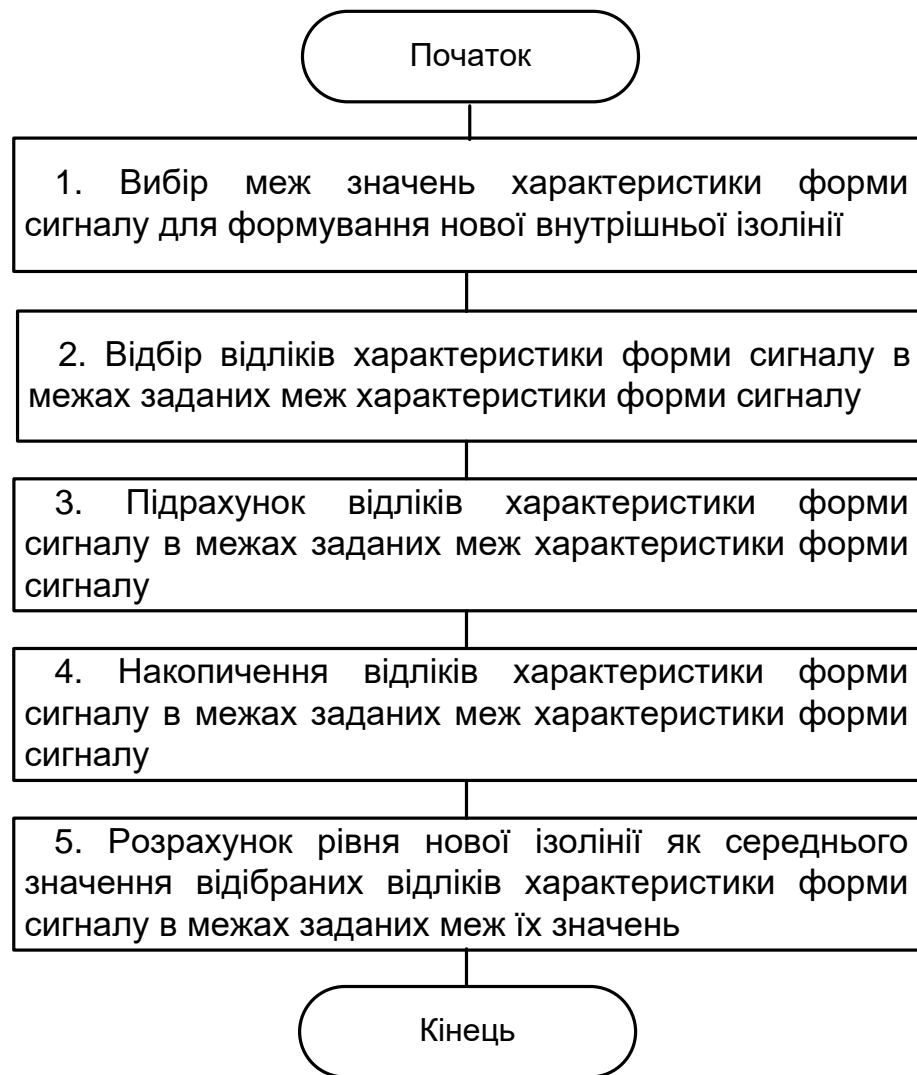


Рисунок 1.11 – Блок-схема процедури формування нової ізоляції в межах заданих меж характеристики форми сигналу

1. Запропоновано принцип отримання системи ізоляцій необхідного порядку послідовним його нарощуванням до необхідного рівня шляхом вбудовування нових систем ізоляцій в системи ізоляцій попереднього порядку для отримання повних систем ізоляцій конкретного екземпляра сигналу, форма якого описується.

2. Розроблено порядок об'єднання нових систем ізоляцій для опису форми сигналу з системами ізоляцій попереднього порядку для отримання повних систем ізоляцій конкретного сигналу як системи ознак для його розпізнавання.

3. Визначено порядок перебору інтервалів шкали характеристики форми сигналу для аналізу їх вмісту у конкретного екземпляра сигналу для розрахунку в кожному з них рівня нової ізоляції більш високого порядку.

4. Вирішено принцип визначення меж інтервалів шкали характеристики форми сигналу з розрахованих рівнів попереднього порядку на цій шкалі в процесі їх перебору.

5. Запропоновано принцип відбору відліків характеристики форми сигналу, які повинні бути враховані в заданому інтервалі цієї шкали в процесі їх перебору для примірника сигналу, форма якого аналізується.

6. Визначено порядок урахування відліків характеристики форми сигналу в розрахунку рівня його нової ізоляції в заданому інтервалі шкали цієї характеристики і формули для такого розрахунку.

7. Запропоновано блок-схеми процедур розв'язання сформульованих вище окремих задач у побудові систем ізоляцій екземпляра сигналу з метою їх використання як ознак для його розпізнавання.

8. Запропонована результуюча блок-схема процедури отримання системи ізоляцій необхідного порядку для екземпляра сигналу, форма якого ними характеризується, для програмної реалізації розглянутого підходу до опису форми сигналів з метою їх розпізнавання.

## 1.7 Висновки до розділу

У процесі визначення змісту задачі розробки програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоляцій в системах, що навчаються з учителем, вироблення підходу до її вирішення, визначення порядку його реалізації, дослідження особливостей використання подібних процедур були виявлені такі обставини:

1. Рівні ізоляцій сигналів займають рівноважне положення серед їх відліків в обраних інтервалах значень. У межах вибраних інтервалів незалежної змінної ці рівні є узагальненими числовими показниками для сигналів. Положення ізоляцій пов'язане з формою сигналів і тому вони можуть використовуватися як різновид

ознак для розпізнавання таких медико-біологічних сигналів, які можна розпізнавати за їх формою.

2. Формування ізоляції в межах деякого інтервалу на шкалі рівнів сигналу призводить до поділу цього інтервалу на дві частини, в кожній з яких може бути побудована нова ізоляція, і такий принцип може бути покладений в основу послідовного покрокового формування всієї системи ізоляцій для опису форми сигналів з метою їх розпізнавання, що і реалізується в роботі.

3. Підготовка до роботи алгоритму розпізнавання сигналів по системах їх ізоляцій і його використання для розпізнавання нових сигналів доцільно побудувати на перших етапах його розробки і дослідження, припускаючи, що розпізнавальна система, для якої цей алгоритм розробляється, проходить навчання з учителем, що є достатня кількість сигналів всіх можливих типів вичерпного списку, з яких можуть бути складені навчальна і контрольна вибірки.

4. На меті цієї роботи досить повторити, з використанням згаданої системи ознак для опису форми сигналів у вигляді систем їх ізоляцій, загальний порядок навчання, а також застосування і дослідження розпізнавального алгоритму в системі, що навчається з учителем, з використанням послідовності відліків характеристики форми сигналів для опису послідовності їх відліків, яка спочатку задана на їх вихідній шкалі. Перехід до характеристик форми сигналів поліпшить умови їх розпізнавання. Системами ізоляцій, таким чином, краще описувати не відліки самого сигналу, а відліки характеристики його форми.

5. Відповідно до завдання на дипломну роботу в основу розпізнавання сигналів буде покладено порівняння описів сигналів, які розпізнаються, з характерним видом цих описів для різних типів сигналів заданої класифікації з використанням операції скалярного добутку для оцінки їх близькості за формою в процедурі прийняття необхідних рішень з розпізнавання. Характерним буде покладатися середній вид пропонованих описів сигналів в кожному їх типі. Ілюстрація вирішення поставленого завдання буде побудована на визначенні типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта, яка має необхідну розмітку по

положенню і типам цих комплексів в запису і значну їх кількість для навчання розпізнавального алгоритму.

У плані вирішення задачі розробки процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоляцій основними є такі результати цього розділу роботи.

1. Розкрито зміст принципу, за яким буде виконуватися формування систем ізоляцій наперед заданого порядку шляхом покрокового нарощування їх складу з'єднанням попередніх систем рівнів з новими ізоляціями в інтервалах між цими рівнями для кожного екземпляра сигналу, форма якого характеризується.

2. Запропоновано порядок узгодженого об'єднання зазначених систем ізоляцій для отримання необхідних результуючих систем опису форми сигналів у вигляді систем ізоляцій як ознак для їх розпізнавання.

3. Визначено порядок перебору інтервалів на шкалі характеристики форми конкретного примірника сигналу для розрахунку в кожному з таких інтервалів рівня його внутрішньої ізоляції більш високого порядку в процесі отримання опису форми цієї характеристики.

4. Запропоновано принцип визначення меж послідовності інтервалів поточного порядку на шкалі характеристики форми сигналу за розрахованими рівнями попереднього порядку на цій шкалі в процесі нарощування порядку систем ізоляцій, які формуються.

5. Визначено принцип відбору відліків характеристики форми екземпляра сигналу, які необхідно врахувати в розрахунку рівня ізоляції в інтервалі із заданими межами на цій шкалі.

6. Запропоновано правило і формули обліку відліків характеристики форми сигналу в розрахунку його нових ізоляцій в кожному з інтервалів шкали такої характеристики, які проглядаються алгоритмом.

7. Для опису процедур вирішення сформульованих вище приватних задач в побудові систем ізоляцій екземпляра сигналу запропоновані блок-схеми програмних модулів, які необхідно скласти для вирішення поставленого завдання в цілому.

8. Складена підсумкова блок-схема процедури отримання системи ізоліній екземпляра сигналу для опису характеристики його форми з метою реалізації спланованого підходу до розпізнавання сигналів за їх формою.

9. Підготовлена необхідна база даних для формування навчальних вибірок за типами сигналів, які розпізнаються, з метою їх використання для вирішення завдання, поставленого на дипломну роботу.

## 2 ПРОГРАМНІ ПРОЦЕДУРИ РОЗПІЗНАВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ В СИСТЕМАХ, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ З УЧИТЕЛЕМ

### 2.1 Процедура формування системи ізоляцій сигналу як ознак для його розпізнавання

Для забезпечення розробки програмної процедури отримання системи ізоляцій необхідного порядку як системи ознак для опису характеристики форми сигналу досліджуємо закономірності зміни кількості елементів в масивах одержуваних рівнів, інтервалів і ізоляцій в процесі їх формування з нарощуванням їх порядку. Визначимо необхідну кількість елементів в цих масивах в цілому і скільки їх буде використовуватися в кожному їх порядку в покроковій процедурі, яка буде розроблятися.

Результати таких проведених досліджень представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Кількість елементів в масивах рівнів, інтервалів і ізоляцій в процесі їх формування в залежності від їх порядку

Порядок масивів	Масив ізоляцій попереднього порядку $iso1(j)$	Кількість інтервалів для нових ізоляцій	Масив нових ізоляцій $iso2(j)$	Повна система нових ізоляцій $iso(j)$
p=1	3 (1, 0, -1).	2	$2=2^1$	5
p=2	5	4	$4=2^2$	9
p=3	9	8	$8=2^3$	17
p=4	17	16	$16=2^4$	33
p=5	33	32	$32=2^5$	65
p=6	65	64	$64=2^6$	129
p=7	129	128	$128=2^7$	257
p=8	257	256	$256=2^8$	513

З цієї таблиці випливає, що якщо обмежитися значенням  $p=6$  системи ізоляцій, які формуються ( $p_{\max} = 6$ ), то в масивах,  $iso1(j)$ ,  $iso2(j)$ ,  $iso(j)$ , відповідно до запропонованої логіки отримання необхідної системи ізоляцій досить передбачити по 130 елементів.

Ця таблиця буде використана також для визначення кількості циклів, які будуть організовуватися в програмному модулі формування системи ізоляцій кожного екземпляра сигналу, форма якого буде аналізуватися.

З метою розробки зазначеної процедури вкажемо зміну порядку ізоляцій в процесі їх нарощування:  $p = 1, p_{\max}$ . Нехай  $j = 1, j_{\max}$  – номери інтервалів для значень характеристики форми сигналу в процесі їх повного перегляду зверху вниз на шкалі її можливих значень.

Верхнє значення  $j_{\max}$  змінної цього циклу залежить від поточного значення порядку  $p$  формованої системи ізоляцій в процесі його нарощування до досягнення значення  $p_{\max}$  і має призначатися перед кожною організацією циклу по  $j$  відразу ж після переходу до нового значення  $p$ :  $j_{\max} = niso(p)$ .

З цією метою попередньо, перед організацією циклу по  $p$ , виконується наповнення цього масиву необхідними числовими значеннями. Максимальна можлива кількість різних значень  $p$  із запасом взято рівним 8, що відповідає можливості доведення загальної кількості рівнів під час досліджень до 256, хоча для характеристики форми сигналів розглянутих типів кількість відліків дорівнює 128. Якщо буде потрібно перейти до сигналів з великою кількістю вихідних ознак, наприклад, в разі об'єднання двох їх різних систем, то можна буде скористатися таблицею 2.2 і, можливо, не потрібно буде вносити зміни в програмний модуль.

Таблиця 2.2 – Кількість інтервалів для нових ізоляцій у разі отримання повної системи ізоляцій порядку  $p$ .

$p$	1	2	3	4	5	6	7	8
$niso(p)$	2	4	8	16	32	64	128	256

Як показали попередні дослідження, якщо обмежитися значенням  $p_{\max} = 6$ , то найбільша кількість елементів масиву  $iso(j)$ , який буде отриманий об'єднанням масивів  $iso1(j)$  і  $iso2(j)$ , буде рівним 129. Для нього і для масивів зарезервуємо, як було зазначено, 130 елементів. Кількість елементів, які будуть брати участь в роботі, буде змінюватися з кожною зміною порядку  $p$  системи ізоляцій, яка формується.

Масив  $niso(p)$  розраховується один раз до циклу нарощування порядку системи ізоляцій з його доведенням до необхідного значення  $p_{\max}$ , щоб виключити багаторазові перерахунки значень  $2^p$ . Крім того, значення  $p_{\max}$  задається програмному блоку ззовні за бажанням дослідника, а кількість елементів такого масиву бажано визначити заздалегідь.

Масив  $niso(p)$  формується такими операторами:

$$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$$

$$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256.$$

Таким чином, загалом отримуємо:

Ввод  $p_{\max}$ ;

$$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$$

$$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256;$$

$$p = 1, p_{\max}$$

$$(j_{\max} = niso(p));$$

$$j = 1, j_{\max}$$

(вміст внутрішнього циклу);).

Тут внутрішні цикли по  $j$  перебору інтервалів для кожного заданого  $p$  завершуються одержанням масиву  $iso2(j)$  нових ізоляцій цього порядку.

По завершенні цих циклів по  $j$  масив нових ізоляцій  $p$ -го порядку потрібно об'єднати з повним масивом рівнів  $iso1(j)$  попереднього  $(p-1)$ -го порядку в один підсумковий масив  $iso(j)$  рівнів  $p$  порядку, що завершить цикл по  $p$ . Однак до

цього моменту попередній повний масив рівнів повинен бути сформований. Зокрема, це має бути зроблено до початку циклу по  $p$ , в якому буде  $p = 1$ . Для цієї мети використовуємо оператори  $isol(1) = 1; isol(2) = 0; isol(3) = -1$ . Тоді отримуємо такий блок:

Ввод  $p_{\max}$ ;

$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$

$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256;$

$isol(1) = 1; isol(2) = 0; isol(3) = -1;$

$p = 1, p_{\max}$

$(j_{\max} = niso(p));$

$j = 1, j_{\max}$

(вміст внутрішнього циклу);).

Поки нарощується порядок ізоляцій, для кожного значення  $p$  після отримання свого результуючого масиву  $iso(j)$  повинен бути підготовлений наступний крок підвищення порядку ізоляцій. Для його забезпечення повинен бути побудований масив  $isol(j)$ . Для більш високого порядку ізоляцій це буде тільки що отриманий повний масив  $iso(j)$ . Зробимо його перезапис в необхідний масив  $isol(j)$ . Зробимо це так:  $j_1 = 1; j_{1\max}(isol(j_1) = iso(j_1));$ , де  $j_{1\max} = 2 \times niso(p) + 1$ .

Тоді отримаємо наступне:

Ввод  $p_{\max}$ ;

$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$

$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256;$

$isol(1) = 1; isol(2) = 0; isol(3) = -1;$

$p = 1, p_{\max}$

$(j_{\max} = niso(p));$

$j_{1\max} = 2 \times niso(p) + 1;$

$$j = 1, j_{\max}$$

(вміст внутрішнього циклу);

$$j_1 = 1; j_{1\max} (isol(j_1) = iso(j_1));).$$

Якщо в процесі збільшення  $p$  виявиться, що  $p = p_{\max}$ , то необхідна система ізоляцій заданого порядку для характеристики форми екземпляра сигналу буде побудована і її можна буде використовувати як опис цієї характеристики у вирішенні питань розпізнавання сигналів.

Корисно відразу врахувати таку особливість формування масиву  $iso2(j)$  нових ізоляцій. В інтервалах верхньої і нижньої напівплощини графіка характеристики форми сигналу урахування відліків здійснюється за різними правилами. Тому перебір інтервалів (по змінній  $j$ ) в процесі їх перегляду зверху вниз доцільно розділити на дві частини. Перша частина значень  $j$  буде пов'язана з позитивними (за домовленістю, з невід'ємними) відліками значень характеристики форми, а друга частина значень  $j$  буде використана для нижніх інтервалів, де ці відліки негативні.

Таким чином, для побудови всіх нових ізоляцій порядку  $p$  всі значення  $j = 1, j_{\max}$  розбиваємо порівну на дві частини. Для цього розрахуємо значення допоміжної змінної  $kk = j_{\max} / 2$  і замість одної групи циклів по  $j$  організуємо дві частини таких циклів, які будуть йти одна за одною. Спочатку це будуть цикли  $j = 1, kk$  для верхньої половини графіка, потім  $j = kk + 1, j_{\max}$  для нижньої половини інтервалів. Для кожного з інтервалу кожної такої підгрупи циклів буде використовуватися своє правило відбору відліків характеристики форми примірника сигналу для побудови внутрішньої ізоляції.

Сформувані значення змінної  $kk$  потрібно до організації циклу по  $j$ , відразу після отримання значення  $j_{\max}$ . В цілому отримуємо блок операторів такого виду:

Ввод  $p_{\max}$  ;

$$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$$

$$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256;$$

$$isol(1) = 1; isol(2) = 0; isol(3) = -1;$$

$$p = 1, p_{\max}$$

$$(j_{\max} = niso(p));$$

$$kk = j_{\max} / 2;$$

$$j_{1\max} = 2 \times niso(p) + 1;$$

$$j = 1, kk$$

(вміст внутрішнього циклу);

$$j = kk + 1, j_{\max}$$

(вміст внутрішнього циклу);

$$j_1 = 1; j_{1\max} (isol(j_1) = iso(j_1));).$$

Тут до складу кожного внутрішнього циклу по  $j$  потрібно включити формування одного елемента масиву  $iso2(j)$ -одну з нових ізоліній  $p$ -го порядку. Після того, як перебір значень  $j$  закінчиться, потрібно сформувати підсумковий масив  $iso(j)$  рівнів цього порядку.

Для формування кожного елемента масиву  $iso2(j)$ , кожної нової ізолінії для кожного значення  $j$  потрібно спочатку задати межі інтервалу, в якому вона буде побудована. Верхня межа  $gv$  інтервалу, який розглядається, і нижня його межа  $gn$  беруться з повної системи рівнів  $isol(j)$  попереднього порядку:  $gv = isol(j); gn = isol(j+1)$ . Це виконується для кожного значення верхньої та нижньої групи інтервалів.

Після визначення таких меж для кожного інтервалу виконується відбір відліків, які в ньому потрібно врахувати у формуванні внутрішньої ізолінії. Облік виконується підрахунком кількості відповідних відліків. Накопичення (підсумовування) їх значень потрібно для обчислення середнього рівня, на якому

розташована внутрішня ізолінія. Різними є правила відбору та урахування відліків у верхній і нижній групі інтервалів.

У верхній напівплощині графіка ( $j = 1, kk$ ) для кожного відліку в процесі їх наскрізного перегляду буде використана одна група операторів:

$$x_i < gn \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i > gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gv);$$

$$x_i < gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i).$$

В нижній ( $j = kk + 1, j_{\max}$ ) – інша:

$$x_i > gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i < gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i > gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i).$$

Тут використані такі позначення  $x_i$  – черговий досліджуваний відлік характеристики форми сигналу  $i$  – його номер від 1 до  $N$  у всій їх послідовності для екземпляра сигналу, який розглядається. За умовами завдання  $N = 128$  і це повинно бути враховано в процедурі. Змінна тут  $nt$  використовується для підрахунку відліків, які враховуються в  $j$ -му інтервалі. Для підсумовування відібраних відліків використовується змінна  $st$ .

Початкові нульові значення цих змінних задаються до організації циклу по  $i$  наскрізного перегляду відліків  $x_i$ , який виконується однаково для кожного досліджуваного інтервалу. Передбачається також введення масиву значень відліків  $x_i$  характеристики форми досліджуваного примірника сигналу.

Після перегляду всіх точок характеристики форми в циклі по  $i$  оператором  $iso2(j) = st / nt$  для  $j$ -го інтервалу визначається його внутрішня ізолінія для цього  $j$ . Далі після завершення циклу по  $j$  в той же цикл по  $p$  потрібно ввести оператори з'єднання масивів  $iso1(j)$  і  $iso2(j)$  розглянутим способом в єдиний

підсумковий масив  $iso(j)$ , який перезаписати в  $isol(j)$  для побудови ізоліній наступного порядку.

З урахуванням цього отримуємо такий блок операцій.

Ввод  $p_{\max}$ ;

$N = 128$ ;

Ввод  $x_i, i = 1, N$ ;

$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16$ ;

$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256$ ;

$isol(1) = 1; isol(2) = 0; isol(3) = -1$ ;

$p = 1, p_{\max}$

$(j_{\max} = niso(p))$ ;

$j_{1\max} = 2 \times niso(p) + 1$ ;

$kk = j_{\max} / 2$ ;

$j = 1, kk$

$(gv = isol(j); gn = isol(j+1))$ ;

$nt = 0; st = 0$ ;

$i = 1, N$

$(x_i < gn \Rightarrow q = 1$ ;

$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn)$ ;

$x_i = gv \Rightarrow q = 1$ ;

$x_i > gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gv)$ ;

$x_i < gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i);)$ ;

$iso2(j) = st / nt$ ;

$j = kk + 1, j_{\max}$

$(gv = isol(j); gn = isol(j+1))$ ;

$nt = 0; st = 0$ ;

$i = 1, N$

$$(x_i > gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i < gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i > gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i););$$

$$iso2(j) = st / nt;);$$

(з'єднання масивів  $iso1(j)$  і  $iso2(j)$ );

$$j_1 = 1; j_{1max} (iso1(j_1) = iso(j_1)););$$

Вивід масива  $iso1(j_1)$  з ізолініями порядку  $p_{max}$ ;

У складі цього масиву в тій його частині, яка використовується для розміщення всієї системи рівнів порядку  $p_{max}$ , включно, крім ,власне, ізоліній містяться межі і нульовий рівень використовуваної шкали для характеристики форми сигналу. Таким чином, ізоліній тут буде на три менше, ніж загальна кількість  $j_{1max}$  елементів цього масиву.

Таким чином, розроблена частина програмної процедури формує для заданого значення  $p$  (в межах кожного циклу по  $p$ ) систему нових ізоліній цього порядку, яку потрібно з'єднати з повною системою  $iso1(j)$  рівнів попереднього порядку ( $p - 1$ ) для отримання нової повної системи рівнів  $p$ -го порядку. Таке з'єднання повинно бути виконано перед перезаписом масиву  $iso1(j)$  в масив  $iso1(j)$  для підготовки наступного кроку нарощування значення  $p$ .

Для з'єднання цих масивів для поточного значення  $p$  можна організувати цикл по  $j$  для перезапису вмісту двох масивів в один масив. Кількість таких елементів сумарного масиву визначалося в розглянутому блоці операторів як  $j_{1max} = 2 \times niso(p) + 1$  після того, як призначалося нове значення  $p$ . Для самого перезапису були запропоновані в попередньому розділі роботи такі оператори:

$$j3 = 2 \times j - 1;$$

$$iso(j3) = iso1(j);$$

$$j4 = 2 \times j;$$

$$iso(j4) = iso2(j);$$

Тоді необхідний перезапис може бути зроблений таким блоком операторів:

$$j = 1; j_{1\max}$$

$$(j3 = 2 \times j - 1; iso(j3) = iso1(j));$$

$$j4 = 2 \times j; iso(j4) = iso2(j););$$

Цим блоком замінюється нерозкрита послідовність дій (з'єднання масивів  $iso1(j)$  і  $iso2(j)$ ), в результаті чого отримуємо запис операторів необхідної програмної процедури в такому вигляді:

$$\text{Ввод } p_{\max};$$

$$N = 128;$$

$$\text{Ввод } x_i, i = 1, N;$$

$$niso(1) = 2; niso(2) = 4; niso(3) = 8; niso(4) = 16;$$

$$niso(5) = 32; niso(6) = 64; niso(7) = 128; niso(8) = 256;$$

$$iso1(1) = 1; iso1(2) = 0; iso1(3) = -1;$$

$$p = 1, p_{\max}$$

$$(j_{\max} = niso(p);$$

$$j_{1\max} = 2 \times niso(p) + 1;$$

$$kk = j_{\max} / 2;$$

$$j = 1, kk$$

$$(gv = iso1(j); gn = iso1(j+1);$$

$$nt = 0; st = 0;$$

$$i = 1, N$$

$$(x_i < gn \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i > gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gv);$$

$$x_i < gv \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i););$$

$$iso2(j) = st / nt;$$

$$j = kk + 1, j_{\max}$$

$$(gv = iso1(j); gn = iso1(j+1));$$

$$nt = 0; st = 0;$$

$$i = 1, N$$

$$(x_i > gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i = gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i = gv \Rightarrow q = 1;$$

$$x_i < gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + gn);$$

$$x_i > gn \Rightarrow (nt = nt + 1; st = st + x_i););$$

$$iso2(j) = st / nt;);$$

$$j = 1; j_{1\max}$$

$$(j3 = 2 \times j - 1; iso(j3) = iso1(j);$$

$$j4 = 2 \times j; iso(j4) = iso2(j););$$

$$j_1 = 1; j_{1\max} (iso1(j_1) = iso(j_1);););$$

Вивід масива  $iso1(j_1)$  з ізолініями порядку  $p_{\max}$ ;

Таким чином, розроблена процедура, яка забезпечує формування системи ізоліній сигналу як ознак для його розпізнавання. На вхід процедури надходить послідовність  $x(i)$  відліків характеристики форми екземпляра сигналу, форма якого досліджується, де  $i = 1; N; N$  – кількість відліків цієї характеристики. Результатом обробки таких даних є масив  $iso1(j)$ , який являє собою повну систему рівнів необхідного порядку  $p_{\max}$ , до складу якої входять значення рівнів всіх ізоліній, які описують вхідну характеристику сигналу. Кількість рівнів ізоліній показує змінна  $j_{1\max}$ . Крім системи ізоліній до її складу входять службові рівні  $+1, 0, -1$  – верхня і нижня межі шкали характеристики форми сигналу і її початок відліку. Необхідний порядок  $p_{\max}$  задається дослідником.

Програмна процедура реалізована в середовищі MATLAB. Лістинг процедури представлений нижче.

```

clc
clear all
close all

load('ECG_types/N_type.mat','qrs_n','-mat')
signal_no_form = qrs_n(16,:);
N = length(signal_no_form);

sig_minus_const = signal_no_form - sum(signal_no_form)/N;
signal_form = sig_minus_const/sqrt(sum(sig_minus_const.*sig_minus_const));
x = signal_form;

p_max = 3%input('p_max = ','s');
N = 128;
niso = [2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256];
iso1 = [1, 0, -1];
for p = 1:p_max
    j_max = niso(p);
    j_max1 = 2*niso(p)+1;
    kk = j_max/2;
    for j = 1:kk
        gv = iso1(j);
        gn = iso1(j+1);
        nt = 0;
        st = 0;
        for i = 1:N
            if x(i) < gn
                q = 1;
            end
            if x(i) == gn

```

```
        nt = nt + 1;
        st = st + gn;
    end
    if x(i) == gv
        q = 1;
    end
    if x(i) > gv
        nt = nt + 1;
        st = st + gv;
    end
    if x(i) < gv
        nt = nt + 1;
        st = st + x(i);
    end
end
iso2(j) = st/nt;
end

for j = (kk+1):j_max
    gv = iso1(j);
    gv = iso1(j+1);
    nt = 0;
    st = 0;
    for i = 1:N
        if x(i) > gv
            q = 1;
        end
        if x(i) == gn
            nt = nt + 1;
            st = st + gn;
        end
    end
end
```

```

end
if x(i) == gv
    q = 1;
end
if x(i) < gn
    nt = nt + 1;
    st = st + gn;
end
if x(i) > gn
    nt = nt + 1;
    st = st + x(i);
end
end
iso2(j) = st/nt;
end

for j = 1:j_max
    j3 = 2*j-1
    iso(j3) = iso1(j);
    j4 = 2*j
    iso(j4) = iso2(j);
end

for j1 = 1:j_max1
    iso1(j1) = iso(j1);
end
end

```

Таким чином, на основі принципів побудови програмних процедур побудови системи ізоліній для опису форми сигналу, які були запропоновані в розділі 1 роботи в цьому підрозділі отримані такі основні результати:

1. Для забезпечення розробки програмної процедури отримання системи ізоляцій необхідного порядку як системи ознак для опису характеристики форми одного екземпляра сигналу досліджено кількість одержуваних рівнів, інтервалів і ізоляцій в покроковій процедурі їх формування з послідовним нарощуванням їх порядку до необхідного значення, яке задає дослідник.

2. Сформовано програмну процедуру формування та перегляду інтервалів на шкалі характеристики форми екземпляра сигналу.

3. Розроблено програмний модуль відбору відліків характеристики форми сигналу для їх відбору та урахування з метою формування в поточному інтервалі внутрішньої ізоляції.

4. Складена програмна процедура формування нових внутрішніх ізоляцій поточного порядку в послідовності інтервалів на шкалі значень характеристики форми сигналу.

5. Розроблено програмний модуль з'єднання нової системи ізоляцій поточного порядку з системою рівнів попереднього порядку для формування необхідної повної системи рівнів поточного порядку в процесі його нарощування до необхідного значення.

6. Перераховані програмні процедури, з урахуванням їх ієрархії в загальній схемі обробки даних, об'єднані в одну підпрограму отримання системи ізоляцій необхідного порядку як системи ознак для опису характеристики форми одного примірника сигналу.

7. Представлений лістинг зазначеної програмної процедури, розробленої в середовищі MATLAB.

2.2 Процедура формування описів сигналів з використанням ізоляцій у складі навчальної і контрольної вибірки

Ця процедура розроблялася з урахуванням того, що для порівняння сигналів в процесі їх розпізнавання буде розраховуватися їх скалярний добуток як показник їх подібності для прийняття рішення про тип сигналів за їх формою. Для забезпечення коректності використання такого критерію близькості форми сигналів з метою прийняття необхідного рішення потрібен перехід від послідовності рівнів, які займають ізолінії сигналу, до характеристики форми цієї послідовності.

Розглянута раніше процедура формування системи ізоліній сигналу як ознак для його розпізнавання забезпечує отримання для кожного сигналу масиву  $isol(j_1)$  числових показників. Вирішувати це питання будемо відповідно до загального визначення характеристики форми.

Разом з тим, масив  $isol(j_1)$ , крім набору рівнів ізоліній для опису характеристики форми екземпляра сигналу, які потрібні у вирішенні питань його розпізнавання за такими кількісними показниками його форми, містить три додаткових службових рівня (+1, 0, -1), які потрібно виключити, щоб далі використовувати тільки рівні ізоліній як ознаки для розпізнавання сигналів за їх формою.

Позначимо  $isorez1(j)$  результуючий масив ізоліній порядку  $p_{\max}$ , який потрібно витягти з масиву  $isol(j_1)$  після його формування розглянутим програмним блоком.

Кількість елементів у вихідному масиві  $isol(j_1)$  становить  $j_{1\max}$ , серед яких крайні і серединні елементи є зайвими. Номери крайніх елементів масиву  $isol(j_1)$ : 1 і  $j_{1\max}$ , серединного –  $kkk = niso(p_{\max}) + 1 = 2^{p_{\max}} + 1$ ;

Формований масив  $isorez(j)$  буде містити  $j_{1\max} - 3$  елементів. Його формування виконаємо за принципом перезапису елементів з одного масиву в інший, уникаючи запису непотрібних елементів першого масиву. Для вилучення ізоліній з отриманої системи рівнів організуємо такі цикли перезапису по  $j$ :

$$kkk = niso(p_{\max}) - 1 = 2^{p_{\max}} - 1;$$

$$j = 1; kkk$$

$$(isorez(j) = isol(j + 1);$$

$$j = (kkk + 1); (kkk + kkk);$$

$$isorez(j) = isol(j + 2);).$$

Для використання отриманого масиву як системи ознак для розпізнавання сигналів за їх формою з використанням скалярного добутку для їх порівняння з метою прийняття рішень про тип сигналів потрібно перетворити послідовність рівнів ізоліній в послідовність відліків її характеристики форми.

Ця характеристика буде мати стільки ж відліків, що і кількість ізоліній в їх системі, а воно дорівнює  $nisorez = 2^{p_{\max} + 1} - 3$ .

Для обґрунтування процедури, яка забезпечує перерахунок рівнів послідовності ізоліній в послідовність відліків характеристики її форми визначаємо, що вона буде виконуватися за загальним правилом з видаленням постійної складової цих рівні і нормуванням отриманого результату звичайним порядком.

Блок-схема такої процедури має досить простий вигляд (рис. 2.1).

Звідси випливає використання таких операторів з цією метою. Масив  $isorez(j)$  ізоліній містить  $nisorez = 2^{p_{\max} + 1} - 3$  елементів. Ці елементи підсумовуються, виходить їх сума і далі – середній рівень (постійна складова)

$sum = (1 / nisorez) \sum_{j=1}^{nisorez} isorez(j)$ . Після цього постійна складова видаляється з кожного відліку, обчислюється нормуючий коефіцієнт і на нього діляться всі рівні ізоліній без постійної складової.

В цілому, виходить така система операторів:

Ввод  $p_{\max}$  ;

$nisorez = 2^{p_{\max} + 1} - 3$  ;

Ввод масива  $isorez(j)$ ,  $j = 1; nisorez$ ;

$sum = (1 / nisorez) \sum_{j=1}^{nisorez} isorez(j)$ ;

$$j = 1; n_{isorez}$$

$$(\text{formiso}(j) = \text{isorez}(j) - \text{sum});$$

$$\text{norm} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_{isorez}} (\text{isorez}(j))^2};$$

$$j = 1; n_{isorez}$$

$$(\text{formiso}(j) = \text{formiso}(j) / \text{norm}).$$

Ввод масива  $\text{formiso}(j)$ ,  $j = 1; n_{isorez}$ .

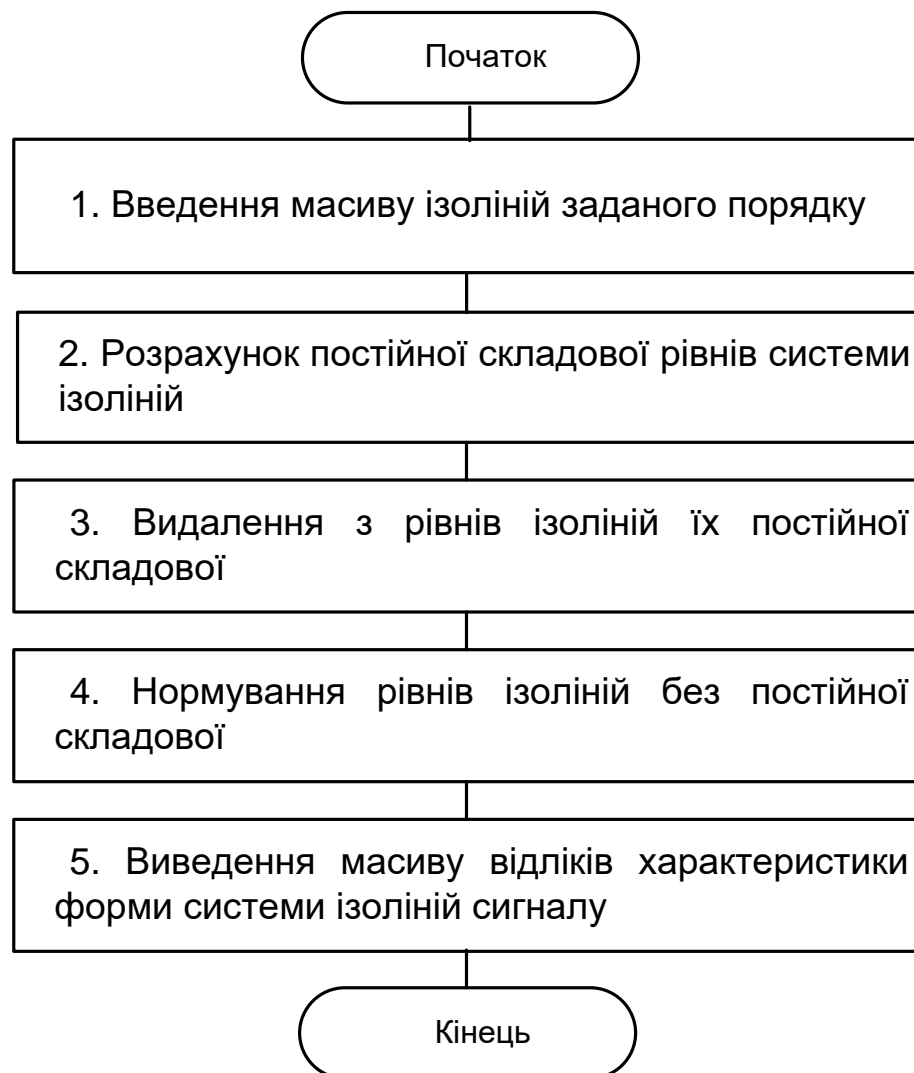


Рисунок 2.1 – Блок-схема процедури перерахунку рівнів послідовності ізоліній в послідовність відліків характеристики її форми

Елементи масиву  $\text{formiso}(j)$ ,  $j=1;\text{nisorez}$  для конкретного екземпляра сигналу використовуються надалі як числові ознаки опису його форми у вирішенні питань його розпізнавання.

Цей програмний модуль реалізований в середовищі MATLAB. Лістинг модуля представлений нижче.

```

clc
clear all
close all

p_max = 2;
nisorez = (2 ^ (p_max + 1)) - 3;
isorez = [1 2 3 4 5]; %масив довжиною nisorez, для p_max = 2 nisorez = 5

summ = 0;
sum_squared = 0;
for j = 1 : nisorez %або j = 1 : length(isorez)
    summ = summ + isorez(j);
    sum_squared = sum_squared + (isorez(j) * isorez(j));
end
sum = (1 / nisorez) * summ;
norm = sqrt(sum_squared);

for j = 1 : nisorez
    formiso1(j) = isorez(j) - sum;
end

for j = 1 : nisorez
    formiso(j) = formiso1(j) / norm;
end

```

Таким чином, в цьому підрозділі проекту отримані такі основні результати.

1. Розроблено модуль операцій для отримання описів сигналів зі складу навчальної чи контрольної вибірки з використанням ізоліній або сигналів, що будуть розпізнаватися.
2. Цей модуль реалізовано в середовищі MATLAB.
3. Наведено лістинг розробленого програмного модуля.

2.3 Процедура формування характерних описів типів сигналів (еталонів) з використанням ізоліній за навчальними вибірками та розпізнавання сигналів

Призначення цієї процедури полягає в тому, що для навчальної вибірки сигналів кожного типу вона забезпечує отримання характерного виду (еталонів) їх опису в тій формі, яка розглядається в роботі. Такі еталони будуть використовуватися для порівняння з ними аналогічних описів вхідних сигналів, коли буде прийматися рішення про його тип.

Для різних типів сигналів подібні процедури однотипні. Блок-схема такої процедури представлена на рисунку 2.2.

Еталон кожного типу сигналів тут формується як середній вид подібних описів в навчальній вибірці свого типу. Для цього, з використанням двох попередніх процедур в процесі перегляду кожної навчальної вибірки екземпляри сигналів приводяться до характеристики форми послідовності рівнів їх ізоліній. Потім в наборах таких чисел кожного типу окремо, в отриманих таким чином координатах векторів знаходяться середні значення кожної координати.

Другий і четвертий програмні блоки тут реалізуються процедурами, які були запропоновані в попередніх пунктах 2.2 і 2.3 цієї роботи. Перший і третій організовуються з використанням операторів циклів. П'ятий блок формує середнє значення 62 векторів навчальної вибірки, які отримані попередніми блоками 3, 4.

Кількість координат в необхідному описі кожного сигналу позначено в попередній процедурі як  $n_{isorez}$  і воно в ній обчислено. Самі координати цих описів для кожного сигналу записувалися в масив  $formiso(j)$ ,  $j = 1; n_{isorez}$ .

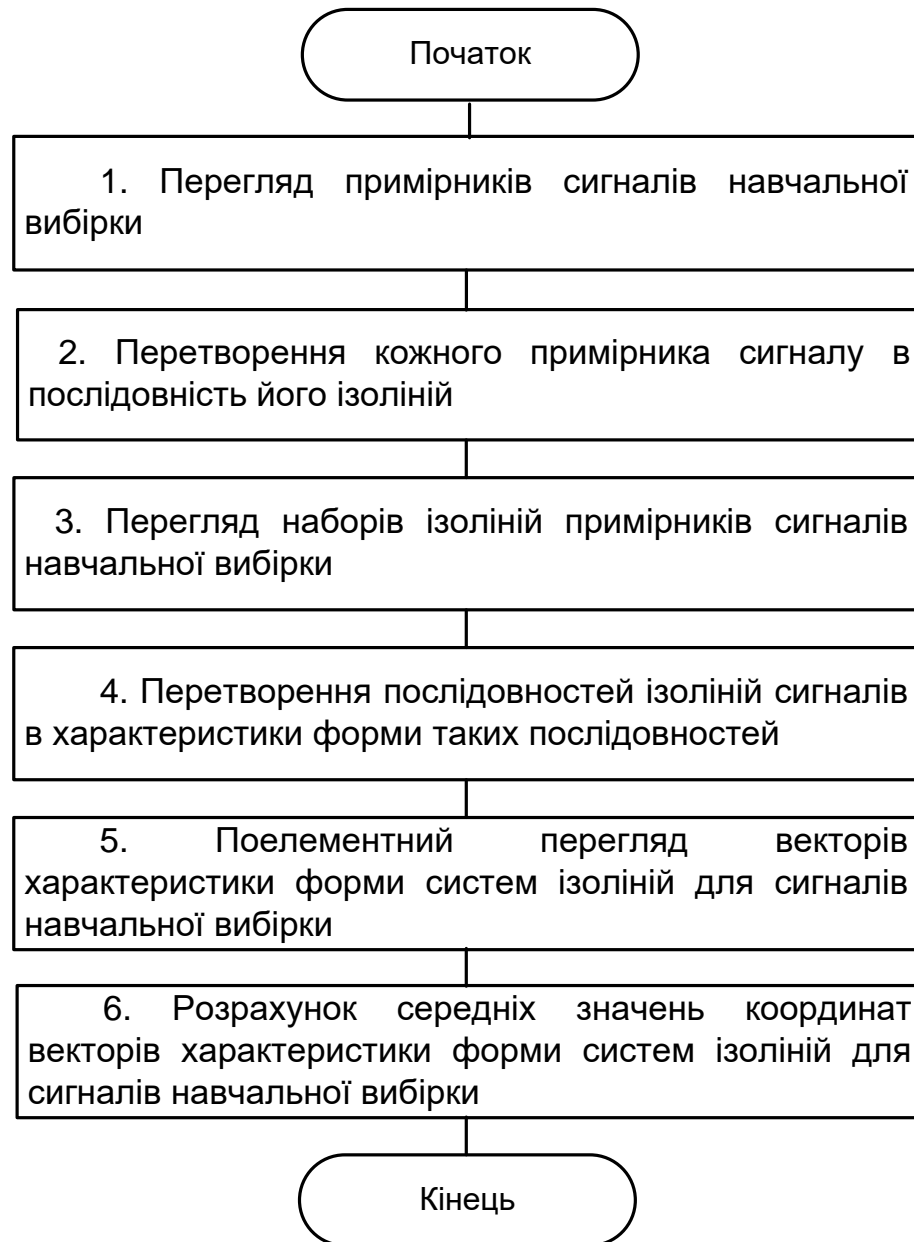


Рисунок 2.2 – Блок-схема програмної процедури формування характерних описів (еталонів) для типа сигналів за навчальною вибіркою з використанням ізолей

Для вирішення поставленого завдання для конкретно виду сигналів організуємо перегляд трьох заданих за умовою завдання їх типів (комплексів  $N, A, V$ -типів). У кожному типі для кожного екземпляра сигналу формуємо його опис  $formiso(j)$ . Покоординатно підсумовуємо такі описи у відповідних масивах,

$sumformison(j)$ ,  $sumformisoa(j)$  і  $sumformisov(j)$ . Потім знаходимо їх середній вигляд з урахуванням того, що кількість екземплярів сигналів кожної вибірки дорівнює 62.

Таким є порядок формування характерних описів типів сигналів (еталонів) з використанням ізоляцій за навчальними вибірками.

Результатом цього пункту дипломної роботи є зазначена програмна процедура.

Після отримання таких еталонів навчання розпізнавального алгоритму закінчується. У наступному пункті розглядається процедура, в якій отримані еталони використовуються в режимі розпізнавання типів нових сигналів.

Для розпізнавання сигналів за ознаками опису характеристики їх форми з використанням ізоляцій здійснюється порівняння таких описів з еталонами типів сигналів в тій же самій формі. Для такого порівняння використовується операція скалярного добутку. Рішення приймається за максимумом таких скалярних добутків, що реалізується у середовищі MATLAB.

## 2.4 Висновки до розділу 2

У процесі розробки програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів з використанням їх ізоляцій в системах, що навчаються з учителем, розроблені такі програмні процедури.

1. Процедура попереднього перетворення сигналів до характеристики їх форми, яка забезпечує перетворення примірника сигналу з його запису у вигляді послідовності відліків на рівномірній сітці часу в одиницях його вимірювання в послідовність безрозмірних відліків характеристики його форми на тій самій сітці часу. Це перетворення екземпляра сигналу виконується для того, щоб на наступному етапі його обробки отримати опис форми цієї характеристики у вигляді системи ізоляцій необхідного порядку як ознак для розпізнавання сигналу.

2. Комплексна програмна процедура формування системи ізоляцій сигналу як ознак для його розпізнавання. Процедура забезпечує отримання системи рівнів необхідного порядку, в складі яких міститься три додаткових службових рівня до системи ізоляцій в описі форми сигналу, які необхідно витягти з цієї системи рівнів і використовувати їх в якості ознак для визначення типу сигналу.

3. Ряд програмних модулів, які були зібрані в зазначену комплексну програмну процедуру:

- процедура формування та перегляду інтервалів на шкалі характеристики форми екземпляра сигналу;
- модуль відбору відліків характеристики форми сигналу для їх відбору та урахування з метою формування в поточному інтервалі внутрішньої ізоляції;
- процедура формування нових внутрішніх ізоляцій поточного порядку в послідовності інтервалів на шкалі значень характеристики форми сигналу;
- програмний модуль з'єднання нової системи ізоляцій поточного порядку з системою рівнів попереднього порядку для формування необхідної повної системи рівнів поточного порядку в процесі його нарощування до необхідного значення.

4. Процедура формування описів сигналів з використанням ізоляцій у складі навчальної та контрольної вибірки. Послідовність рівнів, які займають отримані ізоляції для опису характеристики форми кожного примірника сигналів, перетворюється в характеристику форми цієї послідовності для кожного з них, що створює більш сприятливі умови для розпізнавання сигналів і забезпечує можливість використання операції скалярного добутку характеристик сигналів для їх порівняння з метою прийняття рішень про їх тип.

5. Процедура формування характерних описів типів сигналів (еталонів) з використанням ізоляцій за навчальними вибірками. Процедура забезпечує розрахунок усередненого виду зазначеного опису сигналів кожного типу з використанням ізоляцій як ознак для їх розпізнавання. Згадані середні значення визначаються окремо в кожному типі сигналів і для кожного номера ізоляції.

6. Процедура розпізнавання сигналів з використанням їх ізоляцій в якості ознак для розпізнавання. Реалізовано спосіб порівняння нових сигналів з їх

еталонним видом для кожного типу з використанням операції скалярного добутку таких описів. Рішення приймається на користь типу сигналів, для якого цей скалярний добуток має найбільше значення.

7. Реалізація програмних процедур для проведення попередніх досліджень виконано в середовищі MATLAB.

У наступному розділі дипломної роботи ставляться і розглядаються питання статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням ізоляцій як ознак для їх розпізнавання. Як приклад розглядається обробка даних запису ЕКГ пацієнта по визначенню типів QRS-комплексів в цьому записі.

### 3 СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ІЗОЛІНІЙ ЯК ОЗНАК ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПІВ QRS-КОМПЛЕКСІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ ПАЦІЄНТА

#### 3.1 Мета, завдання, дані, умови та порядок проведення чисельних досліджень

Метою цього розділу дипломної роботи є попередня перевірка готовності розроблених програмних процедур розпізнавання сигналів за системами ізоляцій як додатковими ознаками їх опису на чисельних прикладах обробки сигналів та визначення порядку оцінки якості розпізнавання сигналів у такому випадку за стандартними показниками.

З урахуванням того, що ізоляціями описується не сам вихідний сигнал, а його характеристика форми, яка розраховується за спеціально розробленою процедурою, складаємо такий перелік часткових завдань для цього розділу роботи.

1. Налаштування програмної процедури формування системи ізоляцій для примірника сигналу
2. Налаштування програмної процедури формування системи ізоляцій для примірника характеристики форми сигналу
3. Формування процедури розрахунку показників розпізнавання сигналів за їх описами з ізоляціями на контрольних вибірках

В умовах щодо розв'язання цих часткових задач визначимо, що їх виконання розкривається на ілюстративному прикладі визначення типів QRS-комплексів у запису електрокардіограми на контрольних вибірках за типами таких сигналів.

У розглянутій класифікації міститься три типи таких сигналів-QRS-комплекси N типу, A типу і V типу. Контрольні вибірки за типами сигналів, як і навчальні вибірки, складені із зазначених комплексів в півгодинному записі ЕКГ пацієнта в базі даних в Internet, яка має спеціальну розмітку за типами сигналів і їх положенню в запису на шкалі часу.

Всі екземпляри таких сигналів синхронізовані в єдиному вікні їх аналізу по положенню R-піку в цьому вікні на позиції 48-го відліку в ньому. Всього кожен екземпляр таких сигналів має 128 відліків на равнодискретній сітці часу.

Кількість екземплярів сигналів у всіх навчальних і контрольних вибірках однаково для забезпечення найбільш простого варіанту розрахунку показників якості розпізнавання сигналів за допомогою розроблених програмних процедур і дорівнює 62.

Загальний порядок вирішення зазначених часткових завдань характеризується такими положеннями:

1. Питання налагодження зазначених програмних процедур вирішуються в процесі обробки з їх допомогою конкретних екземплярів сигналів з їх вибірок, які беруться для проведення розрахунків. Налагодження процедур проводиться з оцінкою результатів розрахунків, які вони виконують, по етапах їх виконання з візуалізацією та аналізом таких результатів на графіках. У зручних випадках отримані дані подаються у відповідних таблицях.

2. Формування процедури розрахунку показників розпізнавання сигналів за їх описами з ізолініями на контрольних вибірках проводиться з розрахунку на умови ілюстративного прикладу та на отримання формул для оцінки статистичним шляхом стандартних показників чутливості, специфічності та загальної валідності визначення типів сигналів у контрольних вибірках. Такі оцінки отримуються в процесі розпізнавання цих сигналів розробленими процедурами з використанням побудованих для них систем ізоліній шляхом підрахунку кількості правильних і помилкових рішень різного виду і використання формул розрахунку відсотка правильних рішень за підсумками досліджень.

Вирішення поставлених у розділі окремих завдань розглядається відповідно далі в пунктах 3.2-3.5 роботи.

### 3.2 Налаштування програмної процедури формування характеристики форми екземпляру сигналу, який розпізнається

Принцип налаштування цієї програмної процедури полягав у виконанні такої послідовності дій.

Для прикладу було взято QRS-комплекс типу N. Цей сигнал оброблявся досліджуваною програмною процедурою. Отриманий масив відліків очікуваної характеристики форми такого сигналу зображувався на графіку, як і масив відліків самого сигналу в одиницях його вимірювання (рис. 3.1).

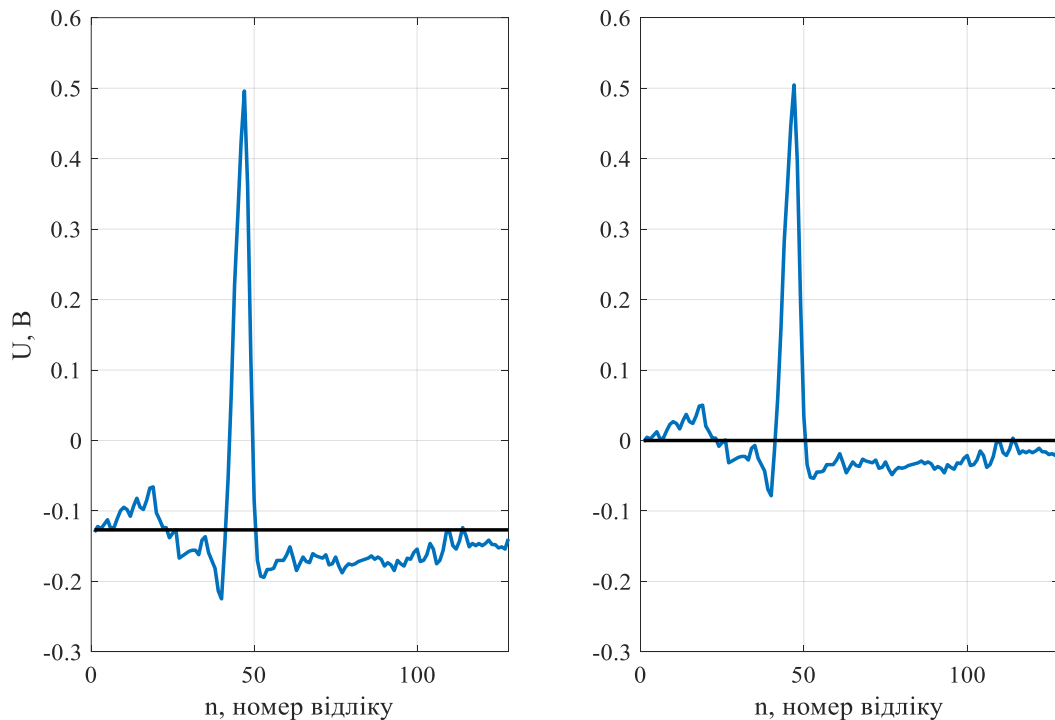


Рисунок 3.1 – Форми сигналів в процесі налаштування програмної процедури формування характеристики форми екземпляру сигналу

На графіку зліва показаний сигнал з навчальної вибірки. Правий графік був відведений для характеристики його форми.

На графіку очікуваної характеристики форми початкового сигналу враховувалося, що ця характеристика безрозмірна. Горизонтальні шкали графіків з

номерами відліків були взяті однаковими для забезпечення зручності порівняння форми графіків.

З побудованих графіків випливає, що вони мають шкали, які відповідають дійсності, включаючи необхідну кількість відліків і межі їх значень на шкалах. Сигнал, зображений на графіку праворуч зберігає форму сигналу на графіку зліва, що і було потрібно.

На додаток до цього проводилося ще дві перевірки.

По-перше, проводився розрахунок середнього значення елементів масиву, який був виведений на другий графік. Виявилось, що середнє значення наведеної на ньому характеристики дорівнює нулю, що і повинен був забезпечити програмний модуль перетворення початкового сигналу.

По-друге, перевірялася довжина вектора відліків отриманої характеристики. Вона виявилось рівною одиниці.

Тому був зроблений висновок, що така програмна процедура дійсно перетворює вихідний сигнал в характеристику його форми і її можна використовувати на етапі попереднього перетворення сигналів навчальної та контрольних вибірок в процесі отримання додаткових описів їх сигналів з використанням ізоліній.

Далі проводилося налагодження програмної процедури формування системи ізоліній для примірника характеристики форми сигналу, який розпізнається

### 3.3 Налагодження програмної процедури формування системи ізоліній для примірника характеристики форми сигналу, що розпізнається

Крім вирішення питань синтаксису цієї процедури з перевіркою логіки реалізації наведених операцій із самого початку такої роботи далі була перевірена робота програмної процедури по таких її етапах.

1. На прикладі ізолінії нульового порядку (рівень нуля на шкалі характеристики форми сигналу) для його екземпляру N типу було підтверджено, що процедура здійснює поділ початкової множини відліків на дві підмножини (рис. 3.2).

### Ізолінія поділяє графік сигналу на дві підмножини точок

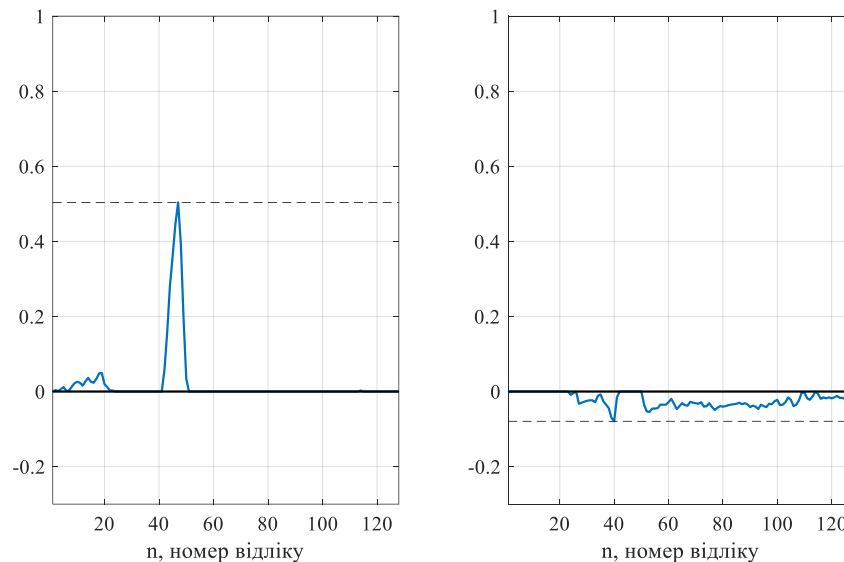


Рисунок 3.2 – Поділ множини відліків характеристики форми сигналу на дві підмножини ізолінією нульового порядку (рівнем нуля на шкалі характеристики форми сигналу)

Зіставлення графіків зліва і справа між собою і їх порівняння з початковим графіком характеристики форми сигналу вказує на те, що цей поділ зроблено правильно.

2. На прикладі формування опису для екземпляру сигналу N типу в процесі побудови ізоліній 1-го порядку (рис. 3.3) було підтверджено, що за результатами візуального аналізу з порівнянням розташування побудованих ізоліній і з порівняння площин сигналів в межах стрічок, які вони утворили ці ізолінії на графіку, все це було зроблено правильно, що й було потрібно.

Взаємне розташування ізоліній тут правильне. Вони розміщені вірно по відношенню до кордонів шкали значень характеристики форми сигналу і до нульового рівня цієї шкали, а також між собою. Площі, утворені фрагментами

сигналів в смугах графіка і показаними на ньому рівнями однакові, що підтверджується, крім того, додатковим розрахунком.

## Ізолінії першого порядку на прикладі сигналу N-типу

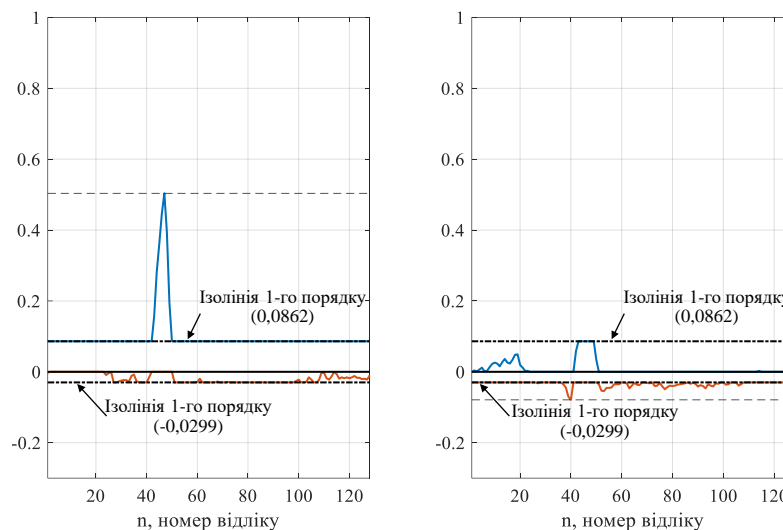


Рисунок 3.3 – Поділ множини відліків характеристики форми сигналу N типу на 4 підмножини ізолініями 1-го порядку

Різною є кількість відліків в межах цих смуг, як і очікувалося. Малі за значенням відліки збирають необхідну площу своєю великою кількістю. Ця кількість, це число координат стає менше, якщо самі значення відліків зростають.

З отриманих частин (в часі) тут можливо зібрати повний графік сигналу. Це, як раз і передбачалося під час розробки алгоритму побудови ізоліній за запропонованим способом.

3. Аналогічні пробні перетворення були проведені для комплексів іншого, V типу. Відповідні графіки представлені на рисунку 3.4.

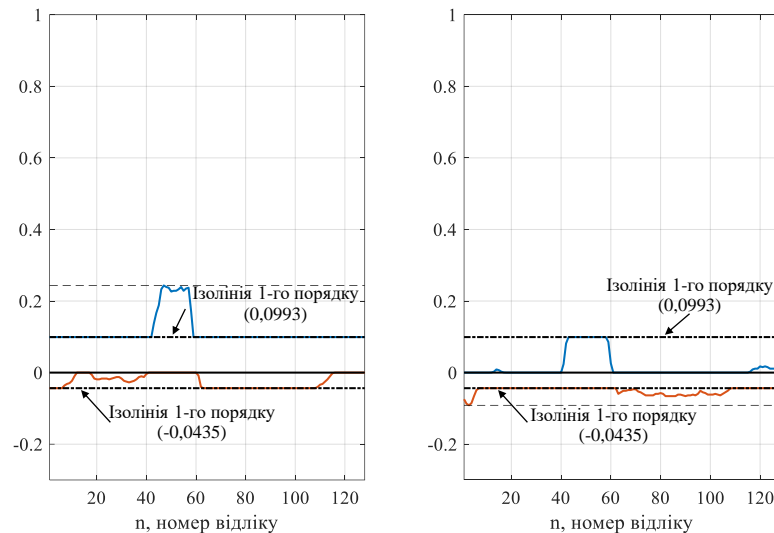
Відліки рівнів ізоліній у сформованих процедурою масивах наведені на цих графіках додатково.

Порівняння отриманих і попередніх результатів вказує на залежність рівнів, які займають відповідні, однойменні ізолінії, від форми сигналів в їх вихідному вигляді.

Все це вказує на те, що розраховані розробленою процедурою рівні ізоляцій можуть розглядатися для таких сигналів як числові показники для опису характеристик форми сигналів, як ознаки форми для їх розпізнавання.

## Ізоляції першого порядку

на прикладі сигналу V-типу



Рівні ізоляцій залежать від форми сигналу

Рисунок 3.4 – Поділ множини відліків характеристики форми сигналу V типу на 4 підмножини ізоляціями 1-го порядку

4. Було також перевірено забезпечення алгоритмом послідовного нарощування порядку систем ізоляцій для отримання більш детального опису форми сигналів зі збільшеною кількістю ізоляцій (рис. 3.5). Для комплексів N типу тут наведені ізоляції 1-го та 2-го порядку. Правильне нарощування порядку ізоляцій алгоритм забезпечує.

Тут підтверджено також узгоджене розміщення алгоритмом ізоляцій різного порядку у підсумкових масивах ознак для опису форми сигналів.

5. На наступному рисунку 3.6 показано, що упорядкована послідовність отриманих рівнів ізоляцій утворює рельєф, який сам по собі може бути описаний своєю характеристикою форми, наприклад, у разі, коли порівняння сигналів за формою буде здійснюватися з використанням операції скалярного добутку. На такий випадок на рисунку розкрито склад компонентів вектору додаткових ознак форми сигналу, задля отримання яких алгоритм розроблявся.

### Ізолінії першого та другого порядку на прикладі сигналу N-типу

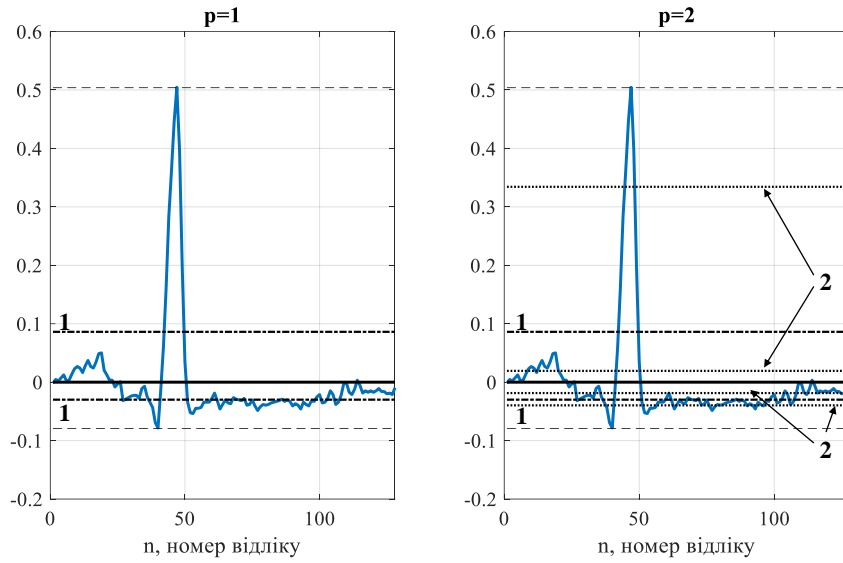
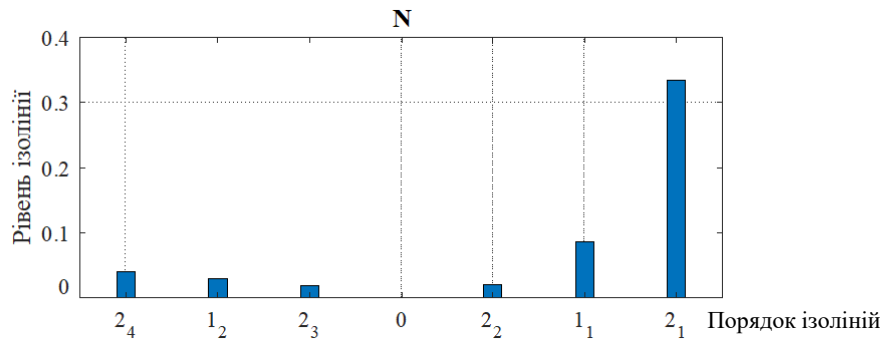


Рисунок 3.5 – Нарощування порядку систем ізоліній для деталізації опису форма сигналів на прикладі сукупності ізоліній 1-го та 2-го порядку для комплексів N типу

### Рівні ізоліній як система ознак для розпізнавання QRS-комплексів



Рівні ізоліній	-0.0397	-0.0299	-0.0186	0	0.0193	0.0862	0.3343
----------------	---------	---------	---------	---	--------	--------	--------

Вектор ознак для розпізнавання сигналів

Номер	1	2	3	4	5	6	7
Рівні ізоліній	-0.0397	-0.0299	-0.0186	0	0.0193	0.0862	0.3343

Рисунок 3.6 – Результуюча система рівнів ізоліній 2-го порядку як вектор додаткових ознак форми сигналу для його розпізнавання

6. До плану досліджень була також включена перевірка наявності помітних відмінностей в описах сигналів різних типів як передумови для використання запропонованих описів сигналів для їх розпізнавання. Результати такої перевірки були зібрані до таблиці, яка з відповідними коментарями була розміщена на рисунку 3.7.

Розглядалися по одному екземпляру сигналів трьох типів сигналів (QRS-комплексів N, A та V типів). Для кожного сигналу проводився розрахунок рівнів ізоліній другого порядку. Одноименні ізолінії в таблицях посідають однакові позиції згідно з організацією розрахунків в алгоритмі.

Далі проводилося порівняння вмісту усіх відповідних позицій таблиці.

Аналіз показав, що в жодній колонці таблиці немає збігу рівнів, які займають ізолінії різних типів сигналів. Найбільшу близькість виявляють координати векторів N і A типів, що відповідає реальним особливостям форми сигналів цих типів у відповідності з фізіологічних особливостей в роботі серцевого м'яза в таких випадках.

### Рівні ізоліній як система ознак для розпізнавання QRS-комплексів

Номер	1	2	3	4	5	6	7
<b>N-тип</b>							
Рівень ізоліній	-0.0397	-0.0299	-0.0186	0	0.0193	0.0862	0.3343
<b>A-тип</b>							
Рівень ізоліній	-0.0348	-0.0254	-0.0138	0	0.0202	0.1161	0.3353
<b>V-тип</b>							
Рівень ізоліній	-0.0754	-0.0420	-0.0193	0	0.0106	0.0802	0.202

Рівні ізоліній для комплексів різних типів – різні, тому вони можуть використовуватися як ознаки для розпізнавання цих сигналів.

Рисунок 3.7 – Система рівнів ізоліній характеристики форми сигналів як можлива система ознак для їх розпізнавання

Досить сильна відмінність від таких сигналів виникає у сигналів V типу, оскільки R-пік в них відсутня. Це підтверджує можливість помітної відмінності

сигналів за такими додатковими ознаками їх форми і зумовляють їх можливу корисність у вдосконаленні алгоритмів розпізнавання медико-біологічних сигналів. В цілому, можна вважати, що принципи отримання програмних процедур для запропонованого способу отримання додаткових систем опису форми сигналів з використанням ізоліній в найпершому наближенні реалізовані, що і було основним завданням дипломної роботи.

3.4 Визначення порядку проведення чисельних статистичних досліджень показників якості розпізнавання сигналів з використанням ізоліній як їх ознак

Цей порядок розкривається на ілюстративному прикладі відповідно до завдання на виконання дипломної роботи. Ключовим для визначення такого порядку є кількість класів сигналів, які розпізнаються, і типи сигналів цих класів.

У вихідних даних, крім того, вказується кількість примірників сигналів в контрольних вибірках за типами сигналів. Для спрощення порядку розрахунку показників якості розпізнавання сигналів за допомогою розроблених процедур кількість сигналів в таких вибірках покладається однаковим. Формули оцінки цих показників мають найпростіший вигляд.

Для вирішення поставленого питання введемо такі позначення для кількості сигналів в контрольних вибірках:

$n_N$  – кількість примірників сигналів  $N$  типу в контрольній вибірці таких сигналів;

$n_A$  – кількість примірників сигналів  $A$  типу в контрольній вибірці таких сигналів;

$n_V$  – кількість примірників сигналів  $V$  типу в контрольній вибірці таких сигналів.

За умовами поставленого завдання маємо:  $n_N = n_A = n_V = 62$ .

Кожен екземпляр сигналу представлений його описом у вигляді характеристики форми послідовності рівнів ізоліній, які побудовані для цього сигналу розробленим алгоритмом. Для стислості замість цього громіздкого найменування такого опису сигналу будемо вказувати просто «сигнал».

В цілому порядок, який розглядається, передбачає перегляд сигналів вибірок кожного типу, їх розпізнавання за допомогою розроблених програмних процедур з прийняттям рішень про тип кожного сигналу. У процесі прийняття таких рішень підраховується кількість правильних і помилкових рішень різного виду і за результатами цього підрахунку вираховуються необхідні якісні показники – чутливість, специфічність і загальна валідність.

Розпізнавання сигналів здійснюється окремо в кожному класі. Відповідний програмний модуль може бути охарактеризований такою блок-схемою (рис. 3.8).

В цілому, згідно з визначеннями, розрахунок чутливості і специфічності розпізнавання сигналів виконується за типами сигналів окремо. Розрахунок загальної валідності робиться на всіх трьох контрольних вибірках спільно.

Для отримання потрібних формул введемо необхідні позначення. Нехай:

$ch_N$  – чутливість розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів N типу;

$ch_A$  – чутливість розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів A типу;

$ch_V$  – чутливість розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів V типу;

$sp_N$  – специфічність розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів N типу;

$sp_A$  – специфічність розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів A типу;

$sp_V$  – специфічність розпізнавання сигналів контрольної вибірки сигналів V типу;

$val$  – загальна валідність розпізнавання сигналів на всіх трьох контрольних вибірках спільно.

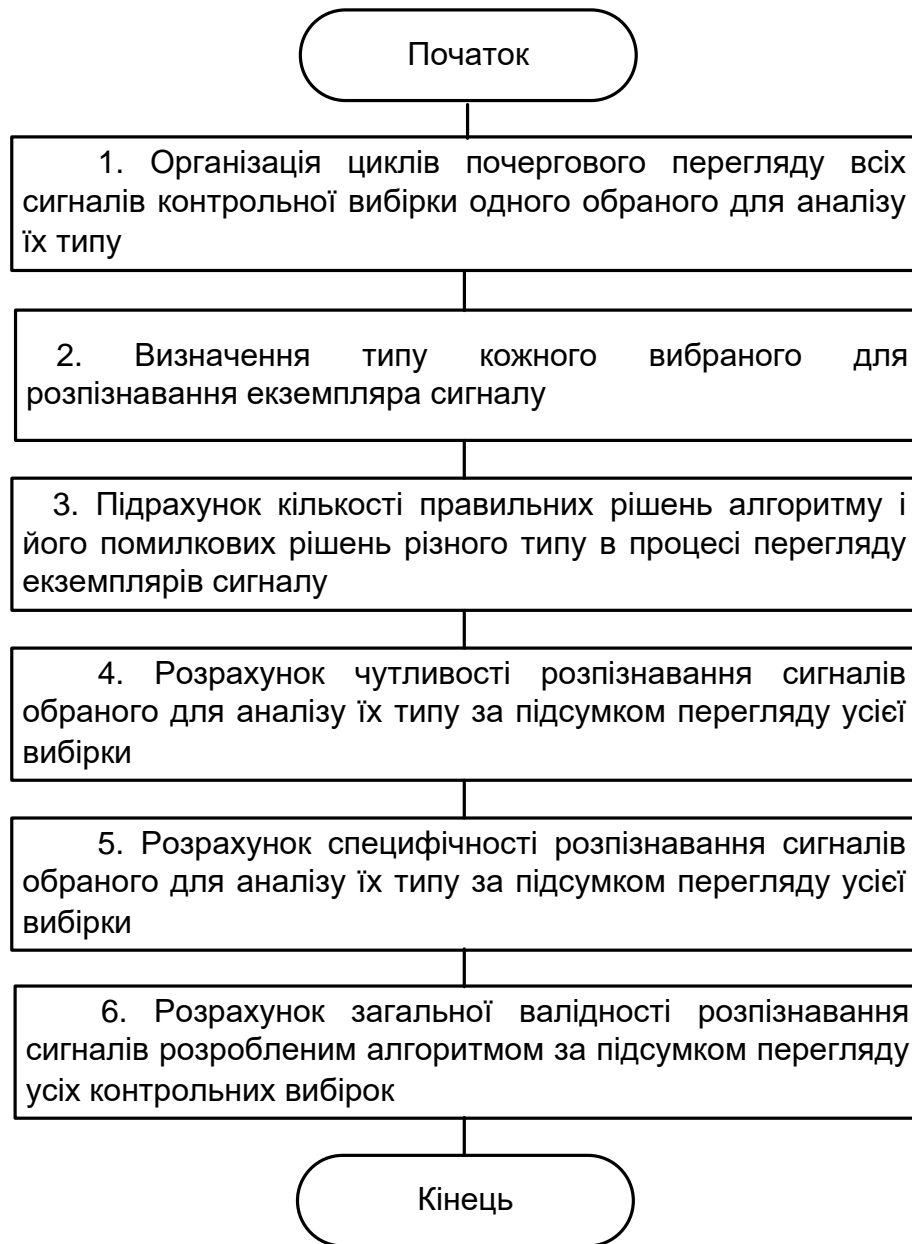


Рисунок 3.8 – Блок-схема програмного модуля оцінки показників якості розпізнавання сигналів на контрольній вибірці цих сигналів конкретного типу

Для кількості різних варіантів рішень розпізнавального алгоритму введемо позначення з подвійними індексами:  $n_{x_1x_2}$ , де перший індекс  $X_1$  вказує на тип сигналу, який розпізнавався, а другий індекс  $X_2$  – на варіант прийнятого рішення. За цією формою введемо такий перелік позначень:

$n_{NN}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип  $N$  для сигналів типу  $N$ ;

- $n_{NA}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип А для сигналів типу N ;  
 $n_{NV}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип V для сигналів типу N ;  
 $n_{AN}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип N для сигналів типу А ;  
 $n_{AA}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип V для сигналів типу А ;  
 $n_{AV}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип А для сигналів типу А ;  
 $n_{VN}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип N для сигналів типу V ;  
 $n_{VA}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип А для сигналів типу V ;  
 $n_{VV}$  – кількість рішень, що сигнали мають тип V для сигналів типу V .

Ці позначення використовуємо в таблиці 3.1 рішень такого формату на кожній з трьох контрольних вибірок.

Таблиця 3.1 – Таблиця рішень про типи сигналів контрольних вибірок

Варіанти рішень	Типи QRS-комплексів			Специфічність, %
	N	A	V	
N	$n_{NN}$	$n_{AN}$	$n_{VN}$	$sp_N$
A	$n_{NA}$	$n_{AA}$	$n_{VA}$	$sp_A$
V	$n_{NV}$	$n_{AV}$	$n_{VV}$	$sp_V$
Чутливість, %	$ch_N$	$ch_A$	$ch_V$	val

Збільшення типів сигналів, що розпізнаються, не викликає ускладнень в її використанні. Її структура зберігається. Таблиця формується у вигляді двовимірного масиву  $m \times m$  розміру, де  $m$  – кількість типів сигналів, які розпізнаються в їх класифікації за умовами завдання.

Для розрахунків таких показників чутливості, специфічності та загальної валідності будуть використовуватися такі формули.

$$ch_N = (n_{NN} + n_{NA} + n_{NV})/n_N ;$$

$$ch_A = (n_{AN} + n_{AA} + n_{AV})/n_A ;$$

$$ch_V = (n_{VN} + n_{VA} + n_{VV})/n_V ;$$

$$\begin{aligned}
 sp_N &= n_{NN} / (n_{NN} + n_{AN} + n_{VN}); \\
 sp_A &= n_{AA} / (n_{NA} + n_{AA} + n_{VA}); \\
 sp_V &= n_{VV} / (n_{NV} + n_{AV} + n_{VV}); \\
 val &= (n_{NN} + n_{AA} + n_{VV}) / (n_N + n_A + n_V).
 \end{aligned}$$

Наведені формули остаточно визначають порядок розрахунків таких показників чутливості, специфічності та загальної валідності за навчальними вибірками сигналів по їх типах з використанням опису сигналів у вигляді характеристики форми послідовності рівнів ізоляцій, які для нього побудовані за допомогою розроблених процедур розпізнавання.

Дослідження цих процедур відповідно до наведеного порядку забезпечить оцінку результативності використання в розпізнавальних алгоритмах запропонованого опису форми сигналів як виключно розробленими додатковими системами ознак для характеристик форми сигналів, так і у разі спільного використання таких ознак разом з самими характеристиками форми.

### 3.5 Висновки до розділу 3

В процесі розгляду питань статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням їх ізоляцій як ознак для розпізнавання на прикладі розпізнавання типів QRS-комплексів електрокардіограми пацієнта були отримані такі основні результати:

1. Визначені мета, завдання, дані, умови та порядок проведення чисельних досліджень щодо проведення статистичних досліджень розпізнавання сигналів з використанням їх ізоляцій як ознак для ілюстративного прикладу сигналів.

2. Налагоджено програмну процедуру формування системи ізоляцій для примірника сигналу, що розпізнається.

3. Налагоджено програмну процедуру формування системи ізоляцій для примірника характеристики форми сигналу, що розпізнається.

4. Визначено порядок проведення чисельних статистичних досліджень показників якості розпізнавання сигналів з використанням їх ізоляцій як ознак на контрольних вибірках по типах сигналів для ілюстративного прикладу

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи на тему «Розпізнавання медико-біологічних сигналів за ізолініями в системах, що навчаються з учителем» було отримано такі основні результати.

1. Запропоновано принципи формування систем ізоліній характеристики форми сигналів як додаткових ознак для їх розпізнавання.

2. Визначено структуру основних програмних процедур для реалізації такого способу формування ознак сигналів з використанням в якості критерію прийняття рішень скалярних добутків векторів зазначених ознак.

3. Здійснено програмну реалізацію розроблених процедур формування ознак для розпізнавання сигналів з використанням ізоліній в середовищі MATLAB.

4. Проведено попереднє відпрацювання розроблених процедур попередньої обробки сигналів та формування систем ізоліній.

5. Підтверджена можливість наявності суттєвих відмінностей між розробленими додатковими ознаками сигналів різних типів на ілюстративному прикладі, що можливо вважати передумовою для більш детального дослідження запропонованих ознак медико-біологічних сигналів в цілях вирішення питань їх розпізнавання в системах діагностики пацієнтів.

Зміст роботи доповідався на 25-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у ХХІ столітті» 2021 та ХХ Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 2021.

Результати роботи можуть бути корисними у дослідженнях щодо вдосконалення програмних процедур розпізнавання медико-біологічних сигналів в системах діагностики пацієнтів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Генкин, А. А. Новая информационная технология анализа медицинских данных (программный комплекс ОМИС) / А. А. Генкин – СПб.: Политехника, 1999. – 191 с.
2. Дюк, В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях [Текст] / В. Дюк, В. Эммануэль. – СПб.: Питер, 2003. – 312 – 333 с
3. Антомонов, М. Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных / М. Ю. Антамонов. – М.: Наука, 2005. – 558 с
4. Васильев, В. И. Распознающие системы. Справочник / В. И. Васильев. – К.: Наукова Думка, 1983. – 421 с
5. Мінцер О. П. Інформаційні технології в охороні здоров'я і практичній медицині : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: У 10 кн. Кн. 5. Оброблення клінічних і експериментальних даних у медицині / О. П. Мінцер, Ю. В. Вороненко, В. В. Власов. - К. : Вища школа, 2003. - 350 с.
6. Лагутін В. В., Сиротенко В. І., Шачиков А. Д., Шуляк О. П. , "Вибір меж для шкал медико-біологічних сигналів в алгоритмах їх розпізнавання " «Мікросистеми, Електроніка та Акустика» , Київ, Україна, 2020, 11 - 19 с, DOI: 10.20535/2523-4455.me.197291
7. Шуляк А.П., Шачиков А.Д., Отработка принципов анализа структуры циклических медико-биологических сигналов для их обнаружения, распознавания и классификации // «Вісник НТУУ КП» серія приладобудування», К.: 2015, с. 261-271
8. Шуляк А. П. Особливості використання характеристики форми медико-біологічних сигналів при їх розпізнаванні / А. Д. Шачиков, А. П. Шуляк /// Вісник НТУУ «КП». Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 131 – 139. [https://doi.org/10.20535/1970.51\(1\).2016.78217](https://doi.org/10.20535/1970.51(1).2016.78217).
9. Шуляк А. П. Критерії та процедури оцінки інформативності та відбору ознак медикобіологічних сигналів для їх розпізнавання / А. Д. Шачиков, А. П.

Шуляк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – № 66. – С. 79 – 86.

10. Лагутін В. В., Сиротенко В. І., Шачиков А. Д., Шуляк О. П., "Кластеризація медико-біологічних сигналів в розпізнавальних системах, що навчаються з учителем" «Мікросистеми, Електроніка та Акустика», Київ, Україна, 2019, 38 - 52 с, DOI: 10.20535/2523-4455.2019.24.6

11. A. Shulyak, T. Saurova, A. Shachykov, V. Sirotenko and V. Lahutin, "Modifications of recognition procedures of biomedical signals using shape characteristics for their description and in decision criteria," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 520-525, DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088862

12. A. D. Shachykov, A. P. Shulyak. «About the Impact of Informative Features Selection in the Mutually Orthogonal Decompositions of Biomedical Signals for their Recognition». 2016 IEEE 36th International Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, April 19-21, 2016, p. 228-231. doi: 10.1109/ELNANO.2016.7493054

13. А. Д. Шачиков, В. А. Шелофаст, А. П. Шуляк, “Модификации процедур отбора признаков циклических медико-биологических сигналов для их распознавания”, Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Серія: Приладобудування 57 (1), К.: 2019 р. с. 103–109. DOI: 10.20535/1979.2017.53.1.016.

14. Шуляк О. П., Лагутін В. В. Векторні показники подібності форми медико-біологічних сигналів в процедурах їх розпізнавання. XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 94-95.

15. Шуляк О. П., Лагутін В. В. Інтегральна характеристика форми медико-біологічних сигналів в процедурах їх розпізнавання. XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020

р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 91-92.

16. PhysioNet. St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database. URL: <http://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>

17. Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13).

18. PhysioNet. St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database. <http://physionet.org/physiobank/database/incartdb>.

19. <http://www.physionet.org/physiobank/annotations.shtml>.

20. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

21. Sergienko A. B. Cifrovaya obrabotka signalov. – SPb, Piter, 2002. — 608 s.:

22. Shulyak, A.P.; Shachykov, A.D., "Analysis of the biomedical signals' structure in the problem of recognition," *Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2014 IEEE 34th International Conference on , vol., no., pp.281,285, 15-18 April 2014.

23. Шуляк А.П., Шачиков А.Д., Обработка принципов анализа структуры циклических медико-биологических сигналов для их обнаружения, распознавания и классификации // «Вісник НТУУ КПІ» серія приладобудування», К.: 2015, с. 261-271.

24. Коростелев А.А., Ключев Н.Ф., Мельник Ю.А. и др. Теоретические основы радиолокации: Учебное пособие для вузов. Под ред. В. Е. Дулевича. - 2-е изд., перераб. и доп. - М., Сов. радио, 1978. - 608 с.

25. Телемедичні системи: Комунікаційне та інформаційне забезпечення телемедичних процедур. Лабораторний практикум (ділові ігри) та розрахункова робота до нього [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» за освітньо-науковою програмою магістерської

підготовки «Електронні мікро- і наносистеми та технології»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. П. Шуляк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 73 с.