

Міністерство освіти і науки України
Харківський національно автомобільно-дорожній університет

Факультет механічний
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ УСУНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ВИПАДКОВИХ
ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ У ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ТЕЦ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, проф.

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.

Керівник, д-р техн. наук, проф.

Студентка гр. ММ-61-22



О. І. Богатов



І. В. Грайворонська



О. В. Полярус



Г. Д. Кузнецова

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Освітній рівень магістр

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

 О. І. Богатов

«11» жовтня 2023 року

ЗАВДАННЯ **НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ**

Кузнецової Ганни Дмитрівни

1. Тема роботи: «Дослідження моделі усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ».

Керівник роботи: Полярус Олександр Васильович, д-р техн. наук, проф.

Затверджені наказом по університету «_11_» жовтня 2023 року № 130

2. Строк подання студентом роботи «30» листопада 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи: ДСТУ ISO/TS 16949.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Проаналізувати методи вимірювання параметрів нестаціонарних випадкових процесів, що описують концентрацію шкідливих газів на ТЕЦ; 2. Дослідити моделі нестаціонарних випадкових процесів концентрації шкідливих газів; 3. Охарактеризувати стаціонарність ортогональних компонентів перетворення Гільберта-Хуанга; 4. Визначити структуру ПВС для усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів; 5. Охорона праці та безпека при функціонуванні ПВС на ТЕЦ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Ілюстрації методів вимірювання нестаціонарних випадкових процесів концентрації шкідливих газів на ТЕЦ (слайди); 2. Результати оцінювання стаціонарності випадкових процесів, що описують концентрацію шкідливих газів (слайди); 3. Результати оцінювання стаціонарності ортогональних компонент Гільберта-Хуанга для випадкових процесів концентрації шкідливих газів (слайди); 4. Структурна схема інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи для усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів (кресленик, слайди)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–4	Полярус О.В., д-р техн. наук, проф.	20.10.2023	20.10.2023
5	Богатов О.І., канд. техн. наук, проф.	29.11.2023	29.11.2023

7. Дата видачі завдання «20» жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз методів вимірювання параметрів нестационарних випадкових процесів, що описують концентрацію шкідливих газів на ТЕЦ	20–29 жовтня 2023 р.	
2.	Дослідження моделі нестационарних випадкових процесів концентрації шкідливих газів	30 жовтня – 08 листопада 2023 р.	
3.	Характеристика стаціонарності ортогональних компонентів перетворення Гільберта-Хуанга	09–18 листопада 2023 р.	
4.	Визначення структури ПВС для усунення нестационарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів	19–28 листопада 2023 р.	
5.	Вивчення питань з охорони праці та безпеки при функціонуванні ПВС на ТЕЦ	29 листопада – 03 грудня 2023 р.	
6.	Формування висновків по дипломній роботі та оформлення дипломної роботи	29 жовтня – 03 грудня 2023 р.	
7.	Підготовка презентації та доповіді	04 грудня – 20 грудня 2023 р.	

Студент



Г. Д. Кузнецова

Керівник роботи



О. В. Полярус

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 94 с., 44 рис., 12 табл., 29 джерел.

ВИПАДКОВІ ПРОЦЕСИ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, КОНЦЕНТРАЦІЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ, МОДЕЛІ УСУНЕННЯ, МОДИ ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА, НЕСТАЦІОНАРНІ ПРОЦЕСИ, ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ (ТЕЦ).

Об'єкт дослідження – нестационарні випадкові процеси концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

Предмет дослідження – моделі усунення нестационарності випадкових процесів. Обробка нестационарних процесів у вимірювальних системах вимагає спеціальних підходів, які враховують особливості реалізацій цих процесів.

Мета роботи – дослідити моделі усунення нестационарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

Метод дослідження – статистичний аналіз нестационарних випадкових процесів концентрації шкідливих газів.

У дипломній роботі представлено дослідження моделі усунення нестационарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

Теплоелектроцентрально (ТЕЦ) – це теплова електростанція, що виробляє одночасно електроенергію й тепло у вигляді гарячої води та пари. Тепло та пара можуть використатись як для промисловості, так і для побутових потреб (централізованого опалення та гарячого водопостачання). Частина відпрацьованих газів викидається в атмосферу і серед них є шкідливі, концентрацію яких потрібно контролювати [1]. Для підвищення якості контролю необхідно усунувати повністю або частково нестационарність випадкових процесів. Для цього потрібно розробити надійні методи усунення нестационарності і застосовувати їх в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,
СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВІС – вимірювальна інформаційна система

ВКТ – вимірювальний канал тиску

ЕМД – емпірична модова декомпозиція

ЕОМ – електронні обчислювальні машини

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

ІІВС – інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система

ІОС – інформаційно-обчислювальна система

ТЕЦ – теплоелектроцентрально, теплова електростанція

ТОУ – технічне обслуговування за умовами

Кафедра МБЖД ХНАДУ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	5
Вступ.....	7
1. Аналіз методів вимірювання параметрів нестационарних випадкових процесів, що описують концентрацію шкідливих газів на ТЕЦ.....	10
1.1 Статистичний аналіз випадкових процесів.....	10
1.2 Система аналізу багатомірних випадкових процесів, що описують викиди шкідливих газів на ТЕЦ.....	11
1.3 Технічне обслуговування вимірювальних систем на ТЕЦ.....	11
1.4 Моніторинг стану.....	12
1.5 Методи вимірювання моніторингу стану.....	15
1.6 Моделювання системи вимірювання концентрації газу.....	16
1.7 Виявлення шкідливих газів.....	18
1.8 Принцип ультразвукового виявлення.....	18
2. Моделі нестационарних випадкових процесів концентрації шкідливих газів....	20
2.1 Результати експериментальних досліджень випадкових процесів концентрації шкідливих газів на ТЕЦ.....	20
2.2 Обґрунтування моделі нестационарного сигналу у вимірювальних системах технічно складних об'єктів.....	25
3. Характеристика стаціонарності ортогональних компонентів перетворення Гільберта-Хуанга.....	29
3.1 Сутність методу перетворення Гільберта-Хуанга.....	29
3.2 Аналіз емпіричної модової декомпозиції (ЕМД) сигналів.....	32
3.3 Ортогональність базису декомпозиції.....	38
3.4 Результати математичного моделювання розкладання нестационарних сигналів на емпіричні моди.....	39
3.5 Метод усунення нестационарності випадкового процесу тиску в реальному часі у вимірювальних системах технічно складних об'єктів.....	50
4. Структура інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи для усунення нестационарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів..	75
4.1 Первинні вимірювальні пристрої ПВС.....	77
4.2 Система зберігання вимірювальної інформації.....	77
4.3 Система обробки сигналів в ПВС.....	78
4.4 Інтелектуальні алгоритми вимірювання.....	78
4.5 Система прийняття рішення.....	79
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях на ТЕЦ.....	80
5.1 Правові та організаційні основи охорони праці на ТЕЦ.....	80
5.2 Аналіз умов праці та стану безпеки при функціонуванні інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи на ТЕЦ.....	81
5.3 Інженерні рішення щодо поліпшення умов праці та стану безпеки на ТЕЦ...	83
5.4 Організаційні заходи щодо поліпшення умов праці та стану безпеки на ТЕЦ	85
Висновки.....	90
Перелік посилань.....	91

ВСТУП

Більшість явищ, які ми спостерігаємо в навколишньому середовищі, являють собою випадкові процеси, тобто такі процеси, що відбуваються у часі та на розвиток яких впливають внутрішні чи зовнішні випадкові фактори. Випадкові процеси можуть бути одновимірні та багатовимірні. Оскільки різні ділянки цих процесів подібні тільки за усередненими властивостями, то їх необхідно описувати за допомогою ймовірнісних законів. Ось чому можливі значення випадкового процесу у фіксований момент часу описують за допомогою випадкової величини та пов'язаного з нею розподілу ймовірності. Найважливішим припущенням щодо випадкових процесів є наявність стаціонарності, що забезпечує адекватність опису процесу за допомогою перших двох моментів його розподілу ймовірностей та можливість проведення спектрального аналізу. У разі, коли процес є нестаціонарний, його бажано звести до стаціонарного. Поняття випадкового процесу узагальнює поняття випадкової величини на випадок, коли випадкова величина може змінюватися з часом. Нестаціонарний процес характеризується наявністю певної тенденції розвитку в часі. Характеристики такого процесу залежать від початку відліку та від часу. Зазначимо, що далеко не всі нестаціонарні випадкові процеси нестаціонарні протягом усього розвитку. Існують нестаціонарні процеси, які на певних відрізках часу та з певним наближенням можна прийняти за стаціонарні. Нестаціонарний процес звичайно характеризується наявністю великої потужності на низьких частотах [2].

Комп'ютеризація технічних засобів визначила перехід від абстрактних міркувань до практичних дій та їх інтелектуалізації. Відповідно комп'ютеризація вимірювань породила новий напрям в інформаційно-вимірювальній техніці та метрології – інтелектуальні вимірювання і вимірювальні засоби. Виділяють такі передумови інтелектуалізації вимірювань: комп'ютеризація вимірювань, перехід до модульного принципу побудови засобів вимірювань, створення розвиненого математичного забезпечення вимірювань [3].

Інтелектуальний вимірювальний засіб, або система – це інформаційно-обчислювальна система (ІОС) з інтелектуальною підтримкою при вирішенні завдань без участі оператора – особи, що приймає рішення. Інтелектуалізований засіб вимірювань, або система – це ІОС з інтелектуальною підтримкою при вирішенні завдань за участю оператора. Засіб, або система з інтелектуальною підтримкою – це система, здатна самостійно приймати рішення [3].

У зв'язку з цим, під «інтелектуалізованою вимірювальною системою» (ІВС) розуміють систему, здатну приймати рішення в умовах: необхідності обробляти і аналізувати великий масив вимірювальної інформації; обмеженої інформації або невизначеності; багатовимірного простору; необхідності розпізнавати ситуацію; різних стадій життєвого циклу об'єктів (процесів) – вимірювання, проектування, виробництва, експлуатації; динамічних, еволюційних, нестационарних фактів, що впливають на рішення завдання; формалізації і представлення знань; адаптації, самонавчання, самоорганізації тощо [3].

Вимірювальна інформаційна система (ВІС) – сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації з метою надання її споживачеві у потрібному вигляді [4].

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) – сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою представлення споживачу (в тому числі введення в АСУ) в необхідному вигляді або автоматичного здійснення логічних функцій контролю, діагностування, ідентифікації [5].

Обробка нестационарних процесів у вимірювальних системах вимагає спеціальних підходів, які враховують особливості реалізацій цих процесів. Це можливо за рахунок використання інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи, що запропоновані у цій роботі для використання на ТЕЦ.

Теплоелектроцентральною (ТЕЦ) – це теплова електростанція, що виробляє одночасно електроенергію й тепло у вигляді гарячої води та пари. Тепло та пара

можуть використатись як для промисловості, так і для побутових потреб (централізованого опалення та гарячого водопостачання). Під час роботи парової турбіни з неї може відбиратись частина пари потрібної температури. Це зменшує ефективність генерації електроенергії. Також, залишкове тепло від роботи електростанції (нагріта пара після виходу з парової турбіни, вихлопні газы, нагріте масло, тощо) використовується для нагрівання води або опалення [1].

Ефективність праці ТЕЦ та охорони навколишнього середовища в значній мірі залежить від правильності планування технологічного процесу контролю за технічними параметрами ТЕЦ. Таке планування може бути ефективним лише при наявності інформації про стан всіх видів та концентрації шкідливих газів. Оскільки шкідливі газы є основним видом загрози навколишнього середовища, то максимальна кількість інформації про його поточний стан є важливою та актуальною. Традиційні методи аналізу шкідливих газів вимагають відбору проб, перевезення їх до стаціонарної хімічної лабораторії, виконання вимірювання необхідних параметрів газу. Все це вимагає часових та матеріальних затрат. Це призводить до того, що інформація, яка отримана в результаті такого аналізу, є запізненою. Тому вчені та інженери ведуть пошуки методів та розробку нових засобів для експрес-аналізу поточного стану шкідливих газів. Саме на вирішення цих завдань направлено дане дослідження [6].

Мета роботи – дослідити моделі усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

Об'єкт дослідження – нестаціонарні випадкові процеси концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

Предмет дослідження – моделі усунення нестаціонарності випадкових процесів.

У дипломній роботі обґрунтовані пропозиції щодо моделі усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі ТЕЦ.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕСТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ОПИСУЮТЬ КОНЦЕНТРАЦІЮ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ НА ТЕЦ

1.1 Статистичний аналіз випадкових процесів

Статистичний аналіз випадкових процесів присвячений методам обробки та використання даних (тобто функцій $X(t)$ часу t , що визначаються за допомогою деякого випробування і при різних випробуваннях можуть приймати різні значення). Дуже важливим, наприклад, для прийняття рішення за результатами вимірювання, є завдання виявлення сигналу на фоні шуму. З математичної точки зору воно зводиться до статистичної перевірки гіпотез: тут за спостереженими значеннями деякої функції потрібно вирішити, чи справедлива гіпотеза про те, що ця функція є реалізацією суми шуму $N(t)$ і сигналу $X(t)$, що спостерігається, або ж справедлива гіпотеза про реалізацію лише шуму $N(t)$. У випадках, коли форма сигналу $X(t)$ не є повністю відомою, завдання виявлення часто доповнюється завданням статистичної оцінки невідомих параметрів сигналу, що характерно для вимірювальних інформаційних систем. Статистичне оцінювання параметрів виникає і тоді, коли за даними спостережень за значеннями процесу $X(t)$ протягом певного проміжку часу потрібно оцінити значення параметрів розподілу ймовірностей випадкових величин $X(t)$ або, наприклад, оцінити значення у фіксований момент часу $t = t_1$ самого процесу $X(t)$ (у припущенні, що t_1 лежить за межами інтервалу спостережень за цим процесом) або значення $y(t_1)$ будь-якого допоміжного процесу $Y(t)$, статистично пов'язаного з $X(t)$. Для багатомірних випадкових процесів статистична обробка результатів вимірювань стає більш складною і методи усунення нестационарності для цього випадку не розглядаються. Метод усунення нестационарності випадкових процесів розглядаються на прикладі експериментальних даних, що отримані на ТЕЦ [2].

1.2 Система аналізу багатомірних випадкових процесів, що описують викиди шкідливих газів на ТЕЦ

Технічне обслуговування ТЕЦ традиційно організовується відповідно до інструкцій при певних обмеженнях і може вимагати високих витрат. Воно застосовується в багатьох критичних компонентах сучасних електростанцій. Розширення моніторингу стану та більш ефективних практик технічного обслуговування на більш широкий спектр обладнання є бажаним, але вимагає сучасних методів моніторингу стану, які можуть виявляти зміни в параметрах процесу, що є ознакою несправності. Ці методи включають різні математичні моделі, які можна класифікувати як фізичні, керовані даними та гібридні моделі. В [2] представлені теоретичні основи різних підходів до моделювання в програмах моніторингу стану. Далі розглянемо один з підходів.

1.3 Технічне обслуговування вимірювальних систем на ТЕЦ

У технічному обслуговуванні за умовами (ТОУ) здійснюється моніторинг справності компонентів і виконуються дії з прогнозованого технічного обслуговування, щоб запобігти несправностям до їх виникнення. Технічне обслуговування за умовами вважається вдосконаленою стратегією обслуговування, що поєднує в собі переваги інших стратегій [2].

Основна перевага ТОУ полягає в тому, що обладнання можна підтримувати в робочому стані з мінімальними витратами на обслуговування. Це означає, що потрібно краще планувати ремонт та скорочувати запаси, уникати незручних поломок і дорогого непрямого збитку, а також зменшувати кількості відмов. Дослідження показали, що впровадження стратегії 17 ТОУ може зменшити кількість поломок компонентів на 70...75 %, витрати на технічне обслуговування на 25...30 % і час простою обладнання на 35...45 % [2].

Типова діяльність попередньо визначених профілактичних завдань представлена на рис. 1.1. ТОУ вимагає ефективного моніторингу стану. Методи

вимірювання, які використовуються для моніторингу стану, можуть включати складні прилади, спрямовані на виявлення поточного стану або навіть прогнозувати майбутній стан контрольованого компонента. Основні проблеми ТОУ пов'язані із завданням моніторингу стану. Необхідне обладнання та система обробки даних можуть бути дорогими, а точне технічне обслуговування іноді важко досягнути через складність системи та механізмів її відмови [2].



Рисунок 1.1 – Схема дій для прогнозування технічного обслуговування на ТЕЦ

1.4 Моніторинг стану

Моніторинг стану – це процес моніторингу параметрів, які надають інформацію про зміни в стані чи продуктивності компонента або системи. Моніторинг стану можна застосовувати онлайн для підтримки безперервної роботи або як офлайн-сервіс для підтримки тривалої роботи. Моніторинг стану включає всі дії від збору даних до оцінки стану працездатності контрольованого компоненту ТЕЦ [6].

Узагальнену структуру моніторингу стану показано на рис. 1.2, де кожен блок являє собою один пристрій. Перший блок містить пристрій збору даних, основною функцією якого є отримання даних із системи. Пристрої збору даних зазвичай включають вимірювальні пристрої, такі як термометри, акселерометри або тензодатчики. Другим компонентом є попередня обробка даних, яка може бути інтегрована в збір даних або розглядатися окремо. Часто певна попередня обробка

інтегрується в збір даних, щоб зменшити вимоги до передачі та зберігання даних, і додаткова попередня обробка виконується за допомогою окремих модулів для ефективного аналізу даних. Попередньо оброблені дані обробляються далі в пристрої вибору ознак, який є процесом ідентифікації та кількісного визначення конкретних аспектів даних, що є належними індикаторами несправностей у структурі ТЕЦ чи процесі. У пристрої прийняття рішень вибрані функції інтерпретуються для отримання діагнозу стану [6].

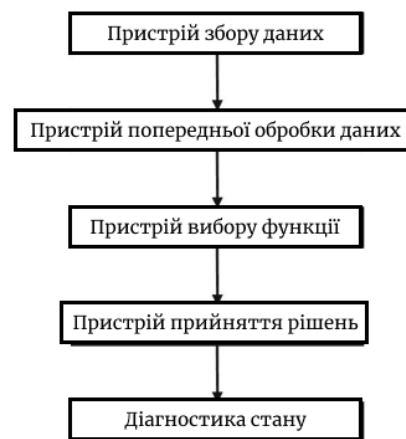


Рисунок 1.2 – Структура моніторингу стану

Можна виділити три важливі етапи моніторингу стану: виявлення несправності, діагностика несправності та прогноз. Виявлення несправностей – це процес розпізнавання ненормальних умов роботи, що вказує на несправності в контрольованій системі. Діагностика, у свою чергу, є процесом аналізу існування та причини проблеми, метою якого є вивчення симптомів і синдрому для визначення характеру несправностей і відмов (ISO 13372, 2012) [6].

Діагностика складається з ізоляції несправності, яка є завданням виявлення несправного компонента, та ідентифікацію несправності, яка є завданням визначення характеру та тяжкості несправності. Виявлення несправностей можна розглядати окремо, як у цій дипломній роботі, або його можна розглядати як частину діагностики. На практиці фаза ідентифікації несправності з'являється

рідко, і тому загальна аббревіатура, яка використовується в багатьох наукових статтях, це FDI (виявлення та усунення несправностей) [6].

Останнім і найбільш привабливим етапом процесу моніторингу стану є прогноз, який є процесом передбачення майбутнього стану на основі наявних ознак і симптомів. Прогноз має на меті передбачити несправності до того, як вони виникнуть, визначаючи режим несправності, коли відбудеться несправність і ймовірність її виникнення. Прогноз передбачає оцінку часу до відмови компонента в термінах залишкового терміну корисного використання (RUL) у межах проектних параметрів. RUL, який іноді називають залишковим терміном служби, можна визначити як час, що залишився до моменту, коли контрольований блок не зможе виконувати свою визначену функцію, враховуючи поточний вік і стан машини, а також попередній профіль роботи. RUL можна виразити як умовну випадкову змінну як:

$$RUL = T - t \vee, fTf > t, Y(t) \quad (1.1)$$

де Tf – позначає випадкову величину для часу до відмови;

t – є поточним віком;

$Y(t)$ – є минулим профілем стану до поточного часу.

Будучи випадковою величиною, інформація, отримана з рівняння 1.1 можна розділити на дві характеристики: оцінка RUL і розподіл ймовірностей RUL. У здоровому стані для обчислення RUL можна використовувати статистичні оцінки, але коли виникають ознаки збою, для оцінки RUL потрібна точна інформація з процесу діагностики [6].

Етапи моніторингу для підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування представлено на рис. 1.3. Однак, слід підкреслити, що діагностика та прогноз несправностей вимагають чіткого розмежування між різними несправностями, що, у свою чергу, вимагає бібліотеки можливих несправностей контрольованого елемента. Створення та підтримка бібліотеки несправностей можливе при моніторингу обмеженої кількості обладнання з відомими механізмами несправностей. Однак розширення бібліотеки несправностей для

охоплення моніторингу в масштабах підприємства все ще є практично неможливим. Під час загального моніторингу заводу основною метою моніторингу стану все ще залишається виявлення розвитку несправності та допомога людині прийняти рішення [6].



Рисунок 1.3 – Етапи моніторингу стану для підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування

1.5 Методи **вимірювання моніторингу** стану

Для моніторингу стану було застосовано кілька методів вимірювання, що спрямовані на надання інформації про фактичний стан контрольованого компоненту або системи. Найпростіша форма умови моніторингу – це звичайні перевірки, що проводяться персоналом підприємства для виявлення місцевих відхилень, таких як шум, запах або вібрація в працюючому компоненті. Хоча не можна нехтувати важливістю перевірок досвідченим персоналом, бажані більш точні автоматизовані та інтелектуальні системи моніторингу стану, особливо для децентралізованого виробництва та віддаленої підтримки. Одними з найпоширеніших методів вимірювання є моніторинг вібрації, аналіз мастильних матеріалів, аналіз частинок зносу, моніторинг параметрів продуктивності та моніторинг погіршення з використанням неруйнівних методів. Далі розглянемо метод виявлення шкідливих газів [6].

1.6 Моделювання системи вимірювання концентрації газу

Непряма калориметрія – це обчислення витрат енергії шляхом вимірювання споживання кисню і виробництва вуглекислого газу [2].

Однак складність і вартість непрямих калориметрів зробили реалізацію цієї ідеї технічно складною [3]. Найбільш складною частиною, можливо, є динамічне вимірювання концентрацій кисню O_2 і вуглекислого газу CO_2 з бажаним рівнем точності. Більшість комерційно доступних непрямих калориметрів використовують камери змішування [6] для збору газів.

У змішувальних камерах використовуються перегородки, щоб перекрити потік газу та, таким чином, запобігти потоку газів і нерівномірній концентрації газу. Це необхідний крок для забезпечення необхідної точності розрахунку витрат енергії. Проте зразки газу, зібрані з камери змішування, є усередненими за часом фракціями газу. Таким чином, знижується чутливість до змін метаболізму [3].

Однак для користувача комерційних непрямих калориметрів прийнятною стратегією є налаштування моделі системи для налаштувань і середовища окремого користувача. Ці системи зазвичай використовуються для оцінки витрат енергії на основі аналізу виштовханого повітря [3].

Для аналізу подиху динамічні характеристики, такі як часові затримки та час постійні, дуже важливі для динамічної оцінки витрат енергії. Немає звіту про систематичне моделювання систем вимірювання концентрації. Виявлено, що як постійна часу, так і час затримки є функціями швидкості дихання і, отже, не є інваріантними в часі. На рис. 1.4 дається короткий опис експериментальної установки, що задіяна в дослідженнях [3].

ОПИС ДОСЛІДУ

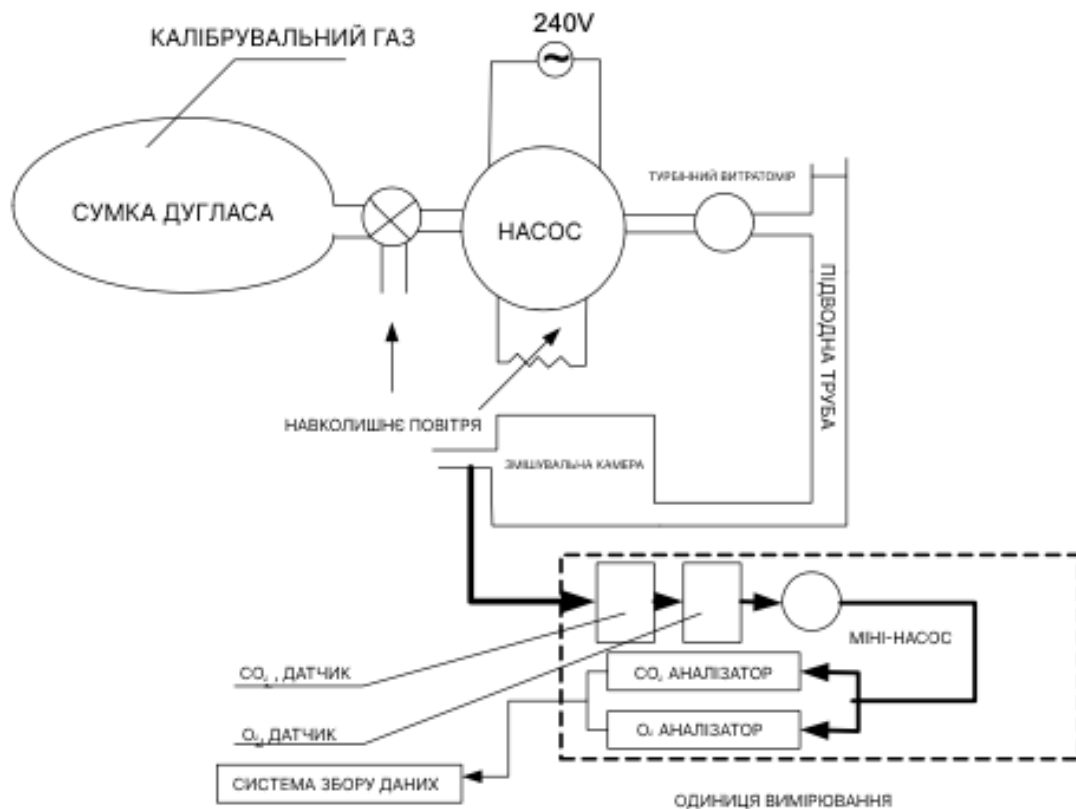


Рисунок 1.4 – Блок-схема експериментальної установки

Приклад експериментальної установки зображено на рис. 1.4. Система вимірювання концентрації складається з трубок подачі, камери змішування, датчиків CO_2 та O_2 та аналізаторів цих газів.

Спочатку мішок Дугласа заповнюється калібрувальним газом (16,00 % O_2 і 4,00 % CO_2), який подається в змішувальну камеру через трубку подачі з постійною швидкістю потоку. Витрата на вході вимірюється турбінним витратоміром. Вихідні дані аналізаторів при різних витратах на вході автоматично реєструються комп'ютерною системою збору даних [3].

Експериментальні дані з такої установки використовувалися в дипломній роботі.

1.7 Виявлення шкідливих газів

Прилади виявлення газу широко застосовуються в промисловому та сільськогосподарському виробництві, моніторингу якості навколишнього середовища, національній обороні, аерокосмічній галузі та в інших сферах. Інфрачервоний прилад виявлення газу є одним із сучасних детекторів газу. Технологія інфрачервоного виявлення газу передбачає моніторинг в режимі реального часу. Ці технології виявлення газу мають високу вибірковість, стабільну продуктивність, високу чутливість, великий динамічний діапазон, тривалий термін служби. Для легкозаймистих і вибухонебезпечних газів моніторинг вуглекислого газу має незамінні переваги, привертає все більшу увагу та застосування. Загальна технологія оптичного виявлення газу включає недисперсійне інфрачервоне випромінювання (НІЧВ), спектрофотометричне вимірювання (СФМВ) тощо. Інфрачервоний пристрій виявлення газу забезпечує прийнятну точність вимірювання. Для регулярного або нерегулярного калібрування приладу потрібно компенсувати похибку вимірювання, що спричинена зміною температури [1].

1.8 Принцип ультразвукового виявлення

Концентрацію газу в методі ультразвукового тестування виявляють одноканальним чи багатоканальним пристроєм. Техніка ультразвукового тестування підходить для визначення концентрації газу в бінарних газових сумішах навіть в умовах багаторазового виявлення слідів одного газового складу в змішаних газах. Для аналізу подвійного газу в експериментальних умовах атмосферного тиску можна використовувати модель ідеального газу. Розробка програмного забезпечення системи виявлення концентрації газу, включаючи програму ініціалізації програми підтримки захисту ППЗ, є головною особливістю методу [3].

1.9 Висновки до першого розділу

Експерименти доводять, що система вимірювання концентрації газу, що ґрунтується на програмі попереднього захисту та ультразвуковій технології, усуває недоліки, властиві традиційний інструмент для визначення концентрації газу. Метод виявлення автокореляції та ультразвукова технологія, апаратне забезпечення є простим і надійним, має хорошу універсальність і портативність, легку реалізацію ППЗ. Система добре відповідає вимогам вимірювання концентрації газу, має високу точність вимірювання; метод простий і може бути використаний для виявлення водню та інших газів, але все ще має прив'язки до особливої технічної бази, що є основним недоліком [3].

Технічне обслуговування ТЕЦ традиційно організовується відповідно до стратегій коригувального та профілактичного обслуговування, що може призвести до високих витрат через низьку доступність і неефективне проведення обслуговування. Звідси виникає чітка потреба в альтернативному методі, який буде враховувати похибки вимірювання концентрації газів, що обумовлені нестационарністю процесу. Для цього розглянемо основні моделі нестационарних випадкових процесів [5].

2. МОДЕЛІ НЕСТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

2.1 Результати експериментальних досліджень випадкових процесів концентрації шкідливих газів на ТЕЦ

У дипломній роботі використані результати експериментів з вимірювання концентрації шкідливих газів на одній з ТЕЦ України. Вимірювання проводились дистанційним методом з допомогою ультразвукової апаратури, що встановлювалась на трубі, з якої продукти згоряння виходили в атмосферу. Одночасно вимірювались концентрації п'яти різних газів, але на деяких об'єктах кількість вимірюваних параметрів може бути набагато більшою. Звідси випливає необхідність розроблення такого методу візуалізації, який би був однаковим для будь-якої кількості досліджуваних параметрів. В зазначеному експерименті вимірювались концентрації наступних газів: CO_2 , пилу (dust), NO_x , O_2 , SO_2 , які змінювались в часі і створювали реалізації випадкових процесів. Ці гази в подальшому будуть називатись відповідно першим, другим, третім, четвертим та п'ятим газами і у програмах позначатись як V_{1n} , V_{2n} , V_{3n} , V_{4n} , V_{5n} . У дипломній роботі не аналізуються фізичні, хімічні та екологічні аспекти цих газів, оскільки основними завданнями є розроблення методу усунення нестаціонарності випадкових процесів. Оскільки абсолютні значення концентрацій різних газів в експериментах значно відрізняються, а, крім того, і розмірності не є однаковими, то спільний аналіз зазначених випадкових процесів є недоцільним. В зв'язку з цим, всі концентрації нормувались до максимального значення концентрації конкретного газу, що створювало можливості для подальшої візуалізації всіх процесів. Однак, якщо у випадковому процесі спостерігаються великі стрибки концентрації газу, то нормування приводить до істотного зменшення відносних концентрацій в інші моменти часу. Це спотворює узагальнену картину процесів при візуалізації [3].

У дипломній роботі було введено обмеження на амплітуду стрибків концентрації, яка штучно зменшувалась до величини, що вдвічі перевищує середнє значення концентрації вибраного газу. Якщо реальний стрибок більше ніж в два рази перевищує середнє значення стаціонарного випадкового процесу, то він легко виявляється візуально та алгоритмами оброблення вимірювальної інформації. З іншого боку штучне обмеження амплітуди стрибка концентрації дає можливість випробувати системи візуального контролю в більш складних умовах, ніж в тих, що характерні для експериментів [7].

Для проведення досліджень вибрані експериментально отримані концентрації п'яти шкідливих газів на інтервалі 1500 с, що показані на рисунках 2.1 – 2.5.

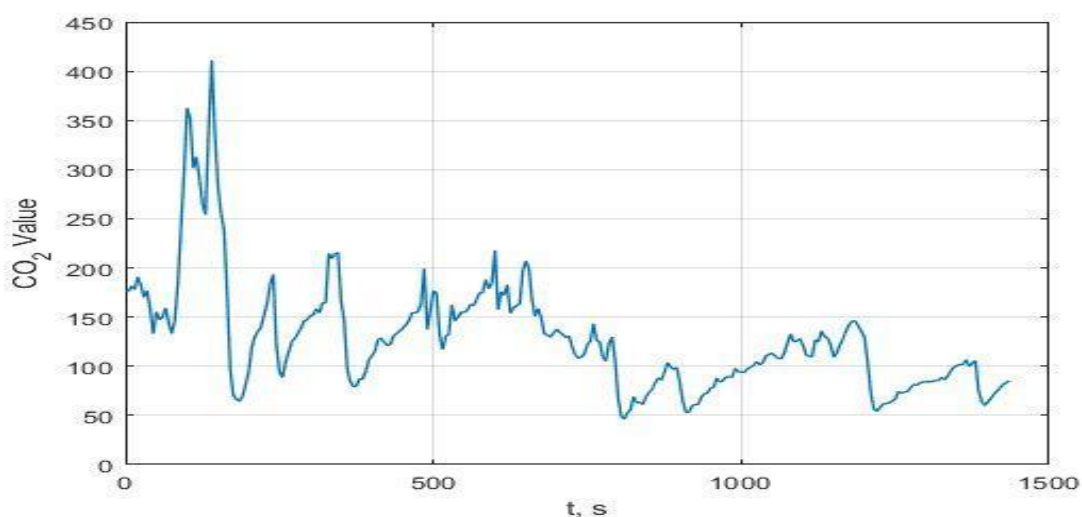


Рисунок 2.1 – Залежність концентрації CO_2 від часу

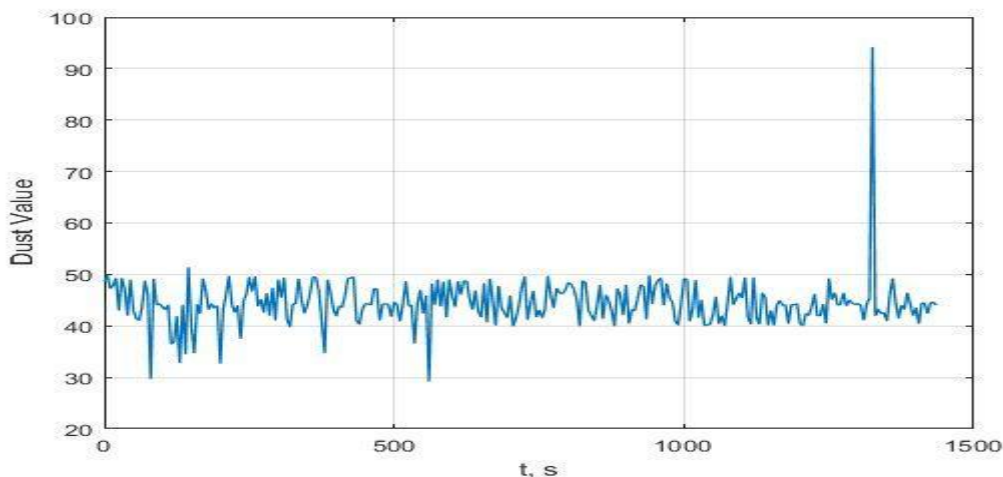


Рисунок 2.2 – Залежність концентрації пилу від часу

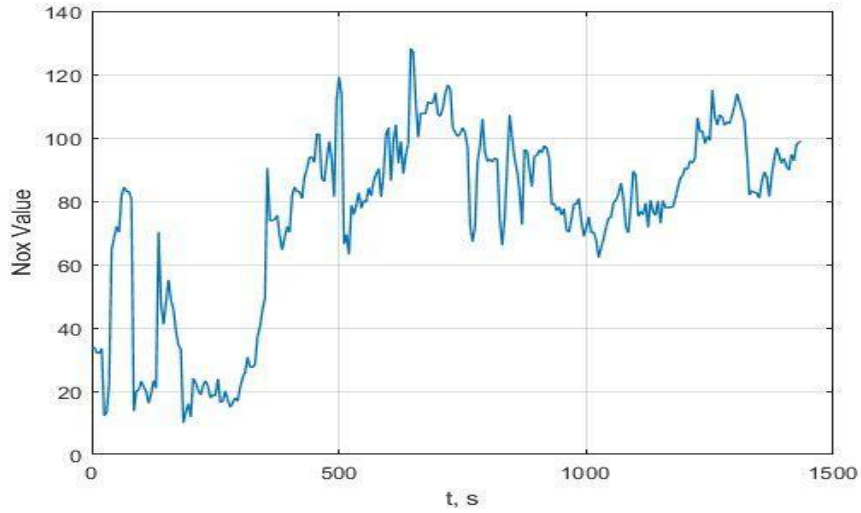


Рисунок 2.3 – Залежність концентрації NO_x від часу

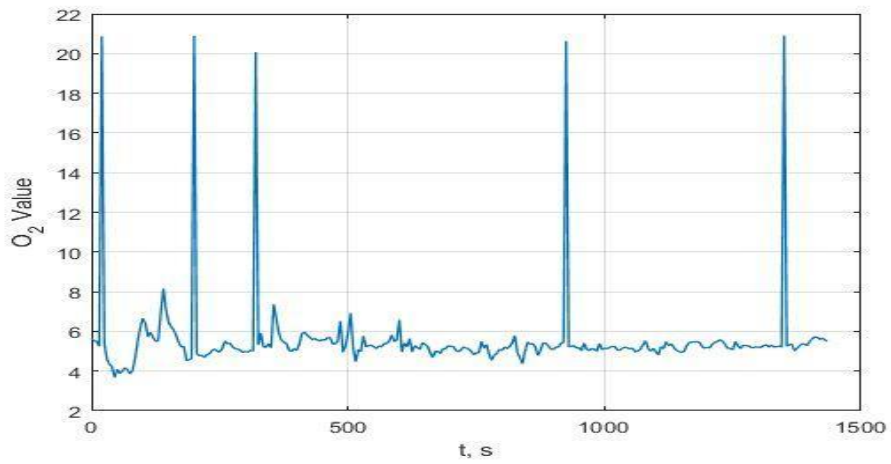


Рисунок 2.4 – Залежність концентрації O_2 від часу

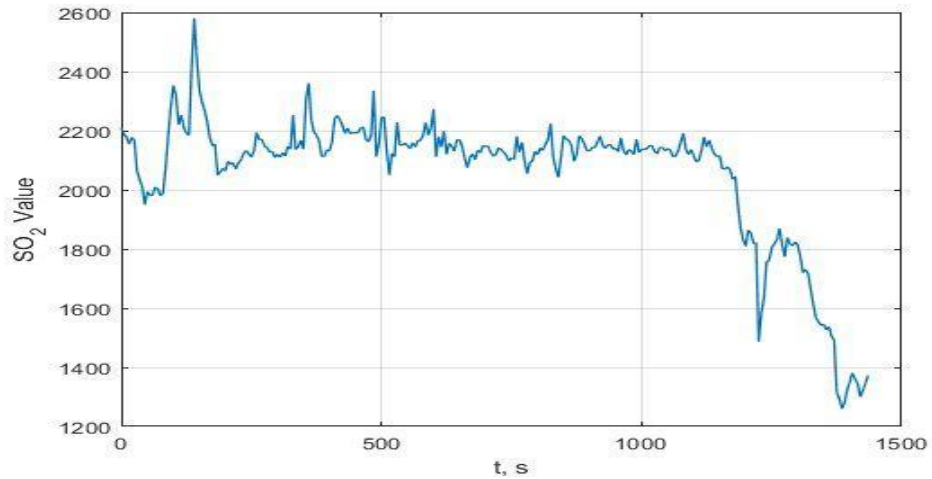
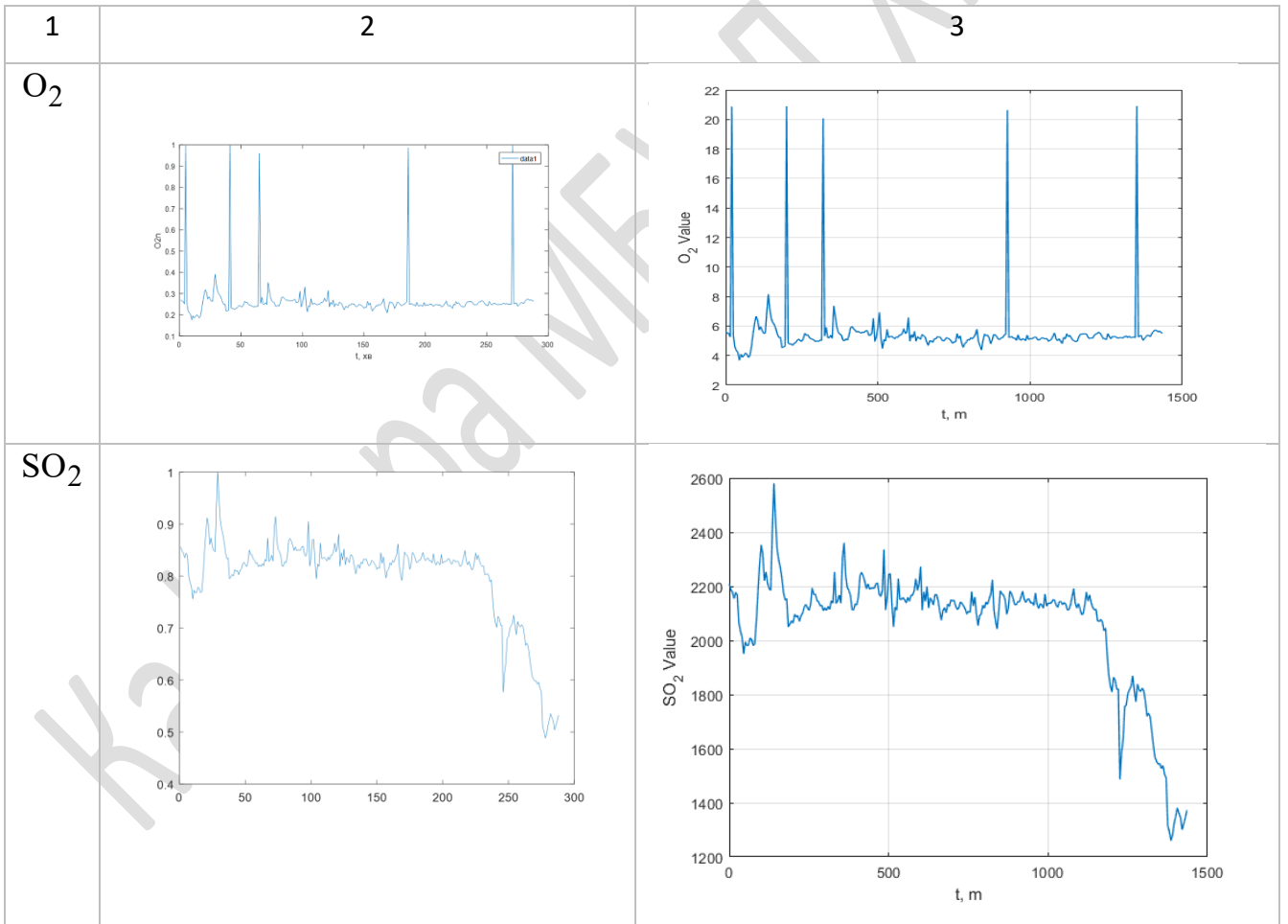
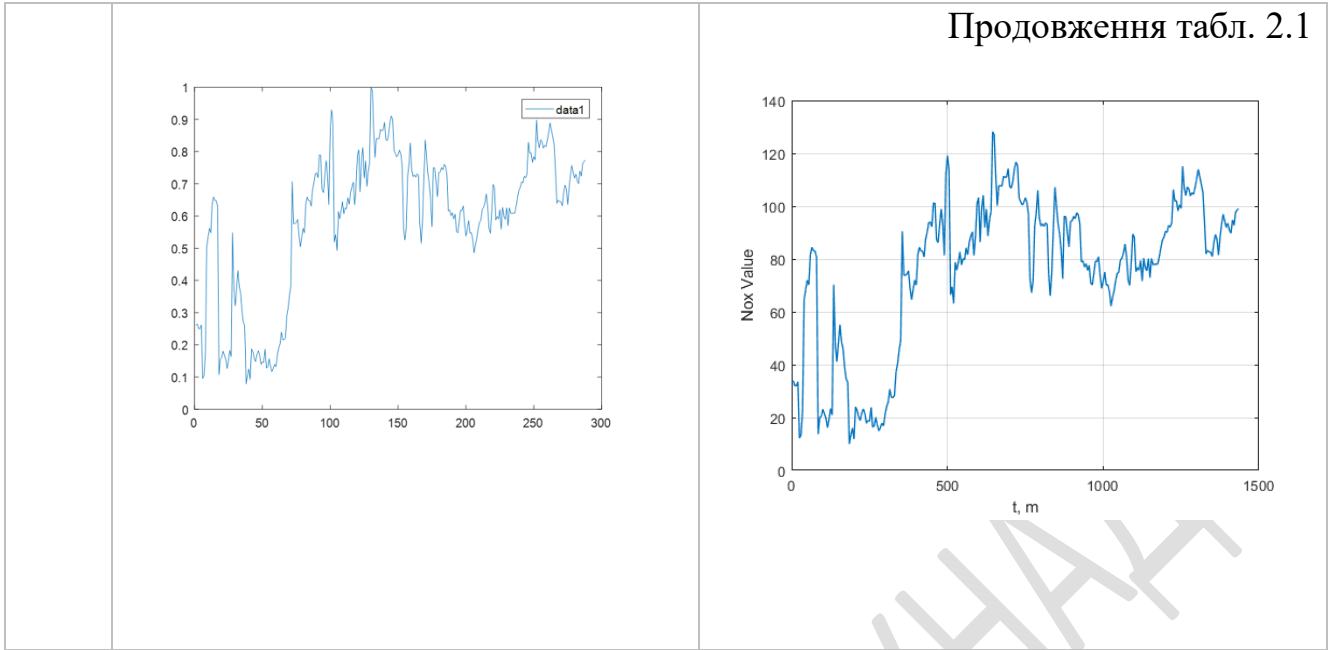


Рисунок 2.5 – Залежність концентрації SO_2 від часу

Як впливає з цих рисунків, абсолютні значення цих концентрацій істотно відрізняються і для якісного порівняння всіх концентрацій шкідливих газів потрібно провести нормування. Нормовані графіки приведені в таблиці 2.1, причому абсолютні значення часу також пронормовані: часу 1500 с відповідає 300 значень часу. Для візуалізації багатомірного (п'ятимірного) процесу нормування по двом координатам ніяк не вплине на вид портрету процесу [3].

Таблиця 2.1 – Графіки часових залежностей нормованої концентрації газів

Залежності нормованої концентрації газів		
1	2	3
CO ₂		
Dust		
NO _x		



Ці дані, що отримані у роботі [3], відповідають даним нашого дослідження. Використаємо ці експериментальні дані для аналізу нестационарності..

2.2 Обґрунтування моделі нестационарного сигналу у вимірювальних системах технічно складних об'єктів

Модель теоретичного сигналу представляємо у виді суми синусоїда+тренд+шум і розкладаємо на спектри сигналів. На рис. 2.6 зображений теоретичний сигнал випадкового процесу тиску, що може існувати на технічно складних об'єктах [8].

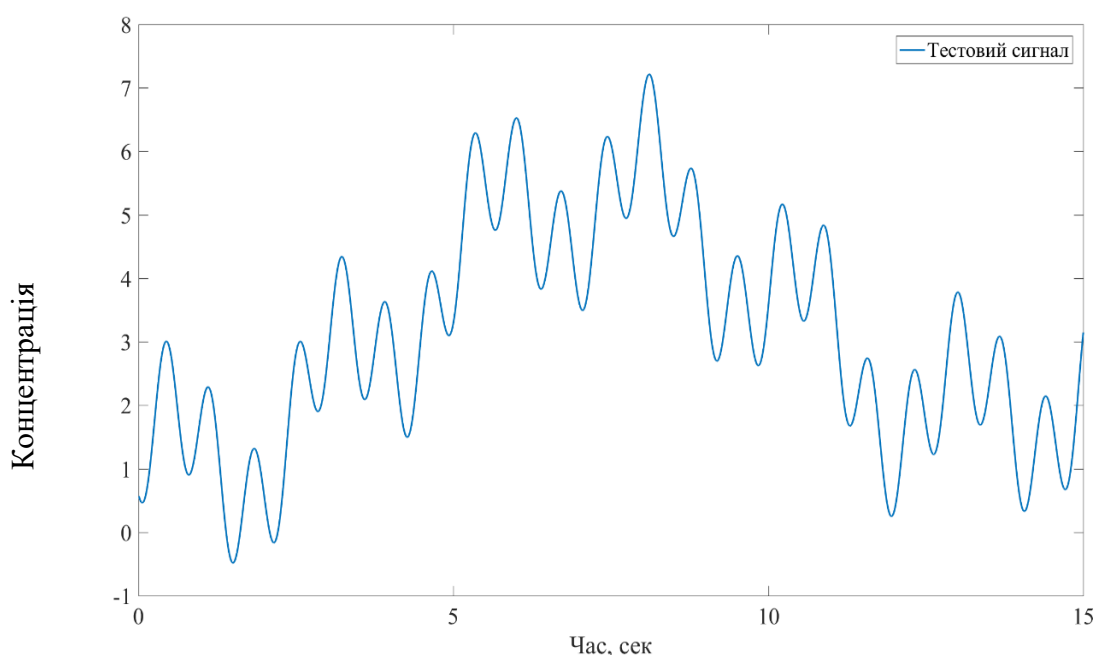


Рисунок 2.6 – Приклад теоретичного сигналу

Аналіз сигналу являє собою складну теоретичну проблему. Це пов'язано з фізіологічним походженням сигналу, яке обумовлює його недетермінованість, нестационарність і схильність до численних видів перешкод. Циклічний характер сигналу та його спектральні складові, що, в основному, з'являються в добре відомих смугах частот, які можна розрізнити, зробили придатним кандидатом для багатомасштабного розкладання за допомогою вейвлет-перетворення [8].

Спектр теоретичного сигналу (рис. 2.7) викликає незначні зміни частотного образу сигналу у всьому інтервалі частот. Запропонований підхід у цілому дає

змогу розв'язати задачу частотно-часового аналізу нестационарних сигналів, які представляються часовими рядами. Простота розрахунків, які не потребують використання інтегрування функцій, суттєво спрощує підхід визначення частотних спектрів [7].

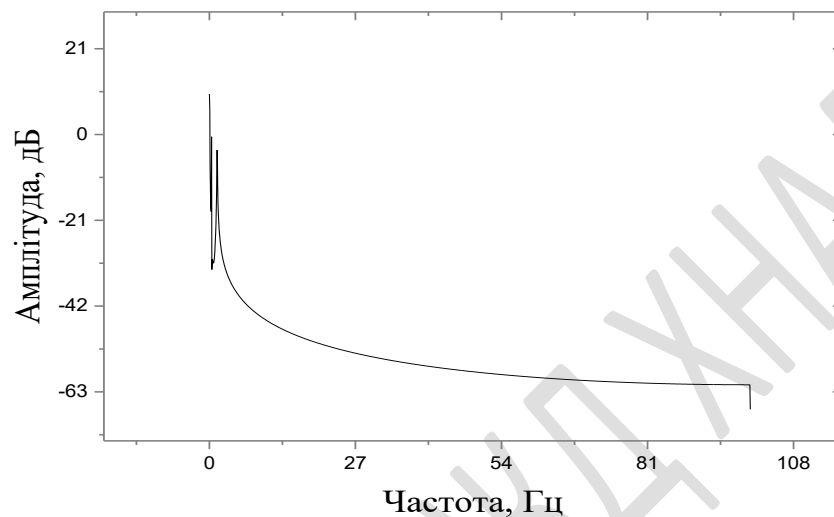


Рисунок 2.7 – Спектр теоретичного сигналу

Дуже багато завдань дослідження структури сигналів пов'язані зі спектральними характеристиками і методами їх ефективного обчислення. На відміну від ймовірнісних методів, які описують властивості випадкових процесів у часовій області, спектральний аналіз (СА) дозволяє охарактеризувати частотний склад сигналу [8].

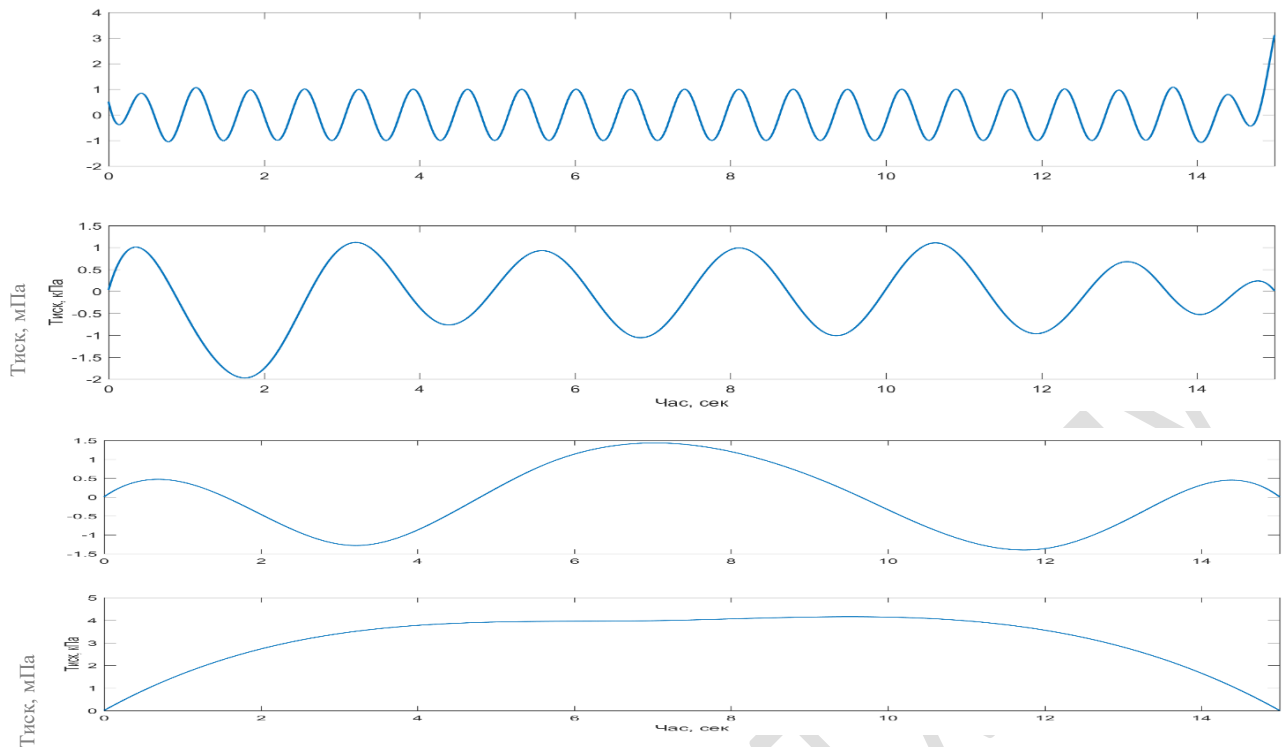
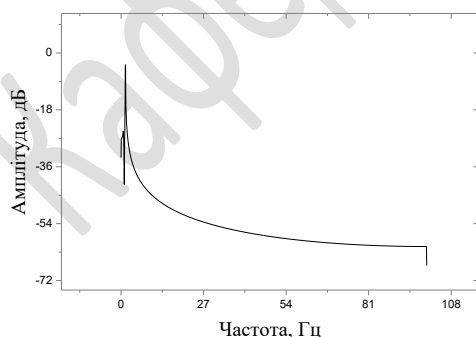


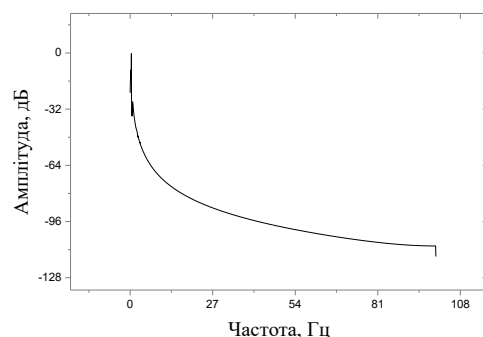
Рисунок 2.8 – Розкладання сигналу на моди Гільберта-Хуанга [10]

На рис. 2.8 зображені моди, які були отримані за методом перетворення Гільберта-Хуанга. Після розрахунку мод визначаємо спектр кожної моди (рис. 2.9).

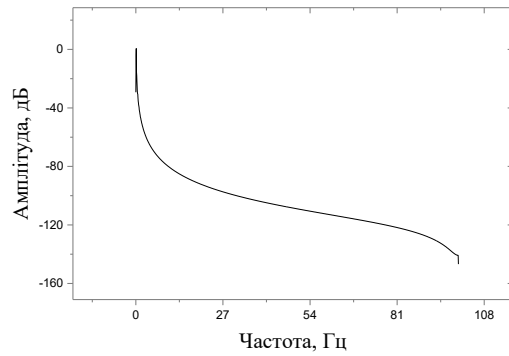
У результаті досліджень виявлено, що при обчисленні спектра потужності сигналів при здійсненні низькочастотної модуляції серед розглянутих методів найдоцільнішим до застосування є запропонований аналітичний метод визначення спектральних характеристик сигналів [10].



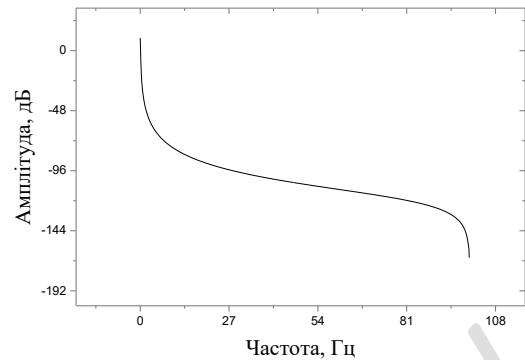
Спектр моди № 1



Спектр моди № 2



Спектр моди № 3



Спектр моди № 4

Рисунок 2.9 – Спектри мод теоретичного сигналу

2.3 Висновки до другого розділу

У результаті досліджень встановлено:

1. Вимірювальні системи на ТЕЦ в багатьох випадках здійснюють обробку нестационарних сигналів.
2. Спектри нестационарних випадкових процесів тиску змінюються з часом і потребують особливих підходів до їх обробки.
3. Нестационарні сигнали можуть мати складний спектр, а спектр складових цих сигналів є більш простим, що викликає необхідність переходу до оброблення не реалізації самого нестационарного сигналу, а тільки реалізацій його компонент.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЦІОНАРНОСТІ ОРТОГОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА

Як було раніше зазначено, обробка нестационарних процесів у вимірювальних системах вимагає спеціальних підходів, які враховують особливості реалізацій цих процесів. У дипломній роботі вибрано підхід, який ґрунтується на використанні апостеріорного базису розкладання прийнятої реалізації процесу. Слід очікувати, що базисні функції є ортогональними та, можливо, стаціонарними, а це потрібно перевірити в процесі подальшого дослідження. В якості апостеріорного базису в дипломній роботі прийняті моди перетворення Гільберта-Хуанга [10].

3.1 Сутність методу перетворення Гільберта-Хуанга

Перетворення Гільберта-Хуанга дійсної функції $x(t) - \infty < t < \infty$ є дійсна функція, визначена як [10]:

$$\begin{aligned} \hat{x}(t) &= TH[x(t)] = x(t) * \left(\frac{1}{\pi t}\right); \\ \hat{x}(t) &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Функція $1/(t - \tau)$ називається ядром перетворення Гільберта. Перетворення має особливу точку при $t - \tau = 0$, в якій при обчисленні використовується головне значення інтеграла по Коші. Функції $X(t)$ і $Y(t)$ називають сполученими по Гільберту [10].

Фізично, перетворення Гільберта може бути інтерпретовано як природний фазообертач на $\pi/2$, який при проходженні сигналу $x(t)$ через систему змінює фазу всіх частотних складових сигналу на $\pi/2$, і тим самим робить отриманий сигнал ортогональним сигналу $x(t)$. Як наслідок, отримуємо комплексний аналітичний сигнал $z(t)$ [10]:

$$z(t) = x(t) + j\hat{x}(t) \quad (3.2)$$

Припустимо, що маємо зареєстрований радіосигнал $x(t)$ з частотою ω_0 , який містить певну інформацію, укладену в обвідній сигналу $u(t)$ і його фази $\varphi(t)$:

$$x(t) = u(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) \quad (3.3)$$

В іншій формі [10]:

$$x(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + b(t) \cdot \sin(\omega_0 t) \quad (3.4)$$

$$a(t) = u(t) \cos \omega t,$$

$$b(t) = u(t) \sin \omega t,$$

$$u(t) = \sqrt{a^2(t) + b^2(t)},$$

$$\operatorname{tg} \varphi(t) = \frac{b(t)}{a(t)}. \quad (3.5)$$

Миттєва амплітуда, фаза і частота сигналу з використанням перетворення Гільберта сигналу $X(t)$ сформовані аналітично з урахуванням зсуву фази на $\pi / 2$:

$$\tilde{x}(t) = a(t) \cdot \sin(\omega_0 t) - b(t) \cdot \cos(\omega_0 t),$$

$$z(t) = x(t) + j \cdot \tilde{x}(t). \quad (3.6)$$

Квадрат модуля сигналу $z(t)$:

$$|z(t)|^2 = x^2(t) + \tilde{x}^2(t) = a^2(t)[\cos^2(\omega_0 t) + \sin^2(\omega_0 t)] + b^2(t)[\sin^2(\omega_0 t) + \cos^2(\omega_0 t)] = u^2(t). \quad (3.7)$$

Звідси, обвідна $u(t)$ і миттєва фаза $\varphi(t)$ сигналу $x(t)$:

$$u(t) = \sqrt{x^2(t) + \tilde{x}^2(t)},$$

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \varphi(t) = \operatorname{arctg} \left[\frac{\tilde{x}(t)}{x(t)} \right],$$

$$\varphi(t) = \varphi(t) - \omega_0 t. \quad (3.8)$$

Миттєва частота сигналу визначається по швидкості зміни миттєвої фази:

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{[\dot{x}(t)x(t) - x(t)\dot{x}(t)]}{\tilde{x}^2(t) + x^2(t)}. \quad (3.9)$$

Визначення (2.7) і (2.9) стверджують, що в кожному поточний момент часу в сигналі існує єдине значення амплітуди і частоти. Однак, фізична інтерпретація поняття «миттєвості» неоднозначна і вимагає певних обмежень [10].

Дійсно, в стаціонарних моногармонічних сигналах і в сигналах з безперервною зміною частоти поняття «миттєвості» має цілком певний фізичний

сене, оскільки точно фіксує положення кожної поточної точки в частотно-часовому просторі. Однак, вже для суми двох гармонічних сигналів в кожній поточній точці сигналу постійно присутні дві частоти з певною амплітудою коливань [10].

Миттєва амплітуда перетворення Гільберта в цьому випадку відображає не суме значень гармонік в кожен поточний момент часу, а обвідну інтерференцію цих гармонік, при цьому максимальні миттєві значення обвідної, що дорівнюють сумі амплітуд гармонік, фіксуються в точках максимумів по модулю суми перших похідних гармонік, а мінімальні значення, рівні різниці амплітуд гармонік, в точках мінімуму суми модулів перших похідних гармонік. Це забезпечує симетричність верхньої і нижньої обвідної щодо тимчасової осі. Все вищевикладене дійсне і для будь-яких багатотональних сигналів [10].

Миттєві значення частоти при рівній амплітуді гармонік забезпечують рівність середнього значення частот гармонік. При нерівній амплітуді гармонік функція миттєвої частоти зсувається в бік частоти гармоніки з більшою амплітудою і набуває пульсуючого характеру, при цьому піки екстремумів частотних пульсацій відповідають мінімумам обвідної пульсацій і також спрямовані в бік частоти гармоніки з більшою амплітудою [10].

Симетрія обвідної сигналу має істотне значення і її порушення, наприклад, в разі наявності в сигналі постійної складової або тренду, істотно змінює результати перетворення [10].

При відсутності тренду ($0 < t < 200\text{с}$) значення миттєвої амплітуди і частоти відповідають амплітуді і частоті гармоніки. При появі в сигналі тренду при його значеннях $b(t) < a$ в значеннях миттєвої амплітуди з'являються пульсації, синхронні з гармонікою сигналу, повний розмах яких (від максимуму до мінімуму) наростає пропорційно $b(t)/(2a)$, і стає практично постійним порядку $2a$ при $b(t) > a$.

Відношення $\alpha = b(t)/a$ в інтервалі $0 \leq \alpha \leq 1$ в першому наближенні можна вважати коефіцієнтом локальної асиметрії форми сигналу щодо часової осі. Асиметрія форми сигналу суттєво впливає на обчислення миттєвих частот, в

інтервалі $200 < t < 867$. В інтервалах мінімумів миттєвих амплітуд з'являються частотні піки максимумів, амплітуда яких пропорційна α . При $\alpha > 1$ коливання стають стоячими і частотні піки змінюють знак, йдучи в область негативних частот, а, отже, миттєві частоти в цьому випадку взагалі не мають сенсу [10].

Таким чином, можна констатувати, що для простих гармонічних сигналів фізично значуща миттєва частота може бути визначена тільки для функцій локально симетричних щодо нульового середнього рівня. Аналогічний висновок може бути поширеним і на багатокomпонентні сигнали, за умови, що кожен з таких сигналів є симетричним щодо нульового рівня [10].

В принципі, будь-який довільний сигнал можна розглядати у вигляді суми коливальних процесів, які відповідають умові симетричності і накладених на тренд довільної форми. В цьому випадку правомочна і обернена задача розкладання довільного сигналу на ці складові компоненти і залишковий тренд. Метод вирішення цього завдання був запропонований Норбертом Хуангом і отримав назву емпіричної модової декомпозиції сигналів [10].

3.2 Аналіз емпіричної модової декомпозиції (ЕМД) сигналів

Емпірична модова декомпозиція (ЕМД) – це метод розкладання сигналів на функції, які отримали назву внутрішніх або «емпіричних мод». Метод являє собою адаптивну ітераційну обчислювальну процедуру розкладання вихідних даних (безперервних або дискретних сигналів) на емпіричні моди або внутрішні коливання [12].

У кожного сигналу є локальні екстремуми: чергуються локальні максимуми і локальні мінімуми з довільним розташуванням за координатами (незалежних змінних) сигналів. За цими екстремумами з використанням методів апроксимації можна побудувати дві обвідні сигналів: нижню, що побудована по точках локальних мінімумів, і верхню, яка побудована по точках локальних максимумів, а

також функцію «середнього значення обвідної», якій відповідає серединна лінія, розташована в точності між нижньою і верхньою обвідними [12].

Модова декомпозиція сигналів ґрунтується на тому припущенні, що будь-які дані складаються з різних внутрішніх коливань. У будь-який момент часу дані можуть мати безліч співіснуючих внутрішніх коливань. Кожне коливання, лінійне або нелінійне, являє собою модову функцію, яка має екстремуми і нульові перетини. Крім того, коливання є «симетричними» щодо локального середнього значення. Кінцеві дані утворюються сумою модових функцій, накладених на регіональний тренд сигналу [12].

Емпірична мода – це така функція, яка має такі властивості:

1. Кількість екстремумів функції (максимумів і мінімумів) і кількість перетинів нуля не повинні відрізнятися більш ніж на одиницю.

2. У будь-якій точці функції середнє значення обвідних, визначених локальними максимумами і локальними мінімумами, має бути нульовим [12].

Зазначені моди можуть мати змінну амплітуду і частоту, як функції незалежної змінної (часу, координати тощо). Перша властивість гарантує, що локальні максимуми функції завжди позитивні, локальні мінімуми відповідно негативні, а між ними завжди є перетини нульової лінії. Друга властивість гарантує, що миттєві частоти функції не будуть мати небажаних флуктуацій внаслідок асиметричної форми хвилі [12].

Будь-яка функція і будь-який довільний сигнал спочатку містять довільну послідовність локальних екстремумів (мінімум 2) і, як наслідок, сигнали можна розділити на сімейство мод і залишковий тренд. Якщо дані позбавлені екстремумів, але містять точки згину («приховані» екстремуми накладення модових функцій і крутих трендів), то для визначення екстремумів може використовуватися диференціювання сигналу [12].

Припустимо, що є довільний сигнал $y(t)$. Суть методу EMD полягає в послідовному обчисленні функцій емпіричних мод $c_j(t)$ і залишків $r_j(t) = r_j -$

$1(t) - c_j(t)$, де $j = 1, 2, 3, \dots, n$ при $r_0 = y(t)$. Результатом розкладання буде подання сигналу у вигляді суми модових функцій і кінцевого залишку:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (3.10)$$

де n – кількість емпіричних мод, яке встановлюється в ході обчислень.

Для наочності методу реалізації ЕМД розглянемо на прикладі розкладання цифрового масиву модельного сигналу $y(k)$. Сигнал змодельований сумою трьох нестационарних по амплітуді гармонік різної частоти на інтервалі відліків по k від 0 до 200, і продовжений на початковій і кінцевій ділянках на інтервали $t_p = 4$ при початкових і кінцевих умовах перетворення і усунення похибок перетворення на кінцевих інтервалах масиву даних, що обробляється [12].

Операція 1.

Знаходимо в сигналі $y(k)$ положення всіх локальних екстремумів, максимумів і мінімумів процесу (номера точок $k_{i.ext}$ екстремумів), і значення $y(k_{i.ext})$ в цих точках. Між цими екстремумами зосереджена вся інформація про сигнал. Групуємо разом для максимумів і для мінімумів масиви координат $k_{i.ext}$ і відповідних їм амплітудних значень $y(k_{i.ext})$. Число рядків в масивах максимумів і мінімумів не повинно відрізнятися більш ніж на 1.

Операція 2.

Кубічним сплайном (або будь-яким іншим методом) обчислюємо верхню $u_t(k)$ і нижню $u_b(k)$ обвідну процесу відповідно, по максимумах і мінімумах. Визначаємо функцію середніх значень $m_1(k)$ між обвідними.

$$m_1(k) = \frac{u_t(k) + u_b(k)}{2}. \quad (3.11)$$

Різниця між сигналом $y(k)$ і функцією $m_1(k)$ дає нам першу компоненту відсіювання, тобто функцію h_1 , яка є першим наближенням до першої функції:

$$h_1(k) = y(k) - m_1(k). \quad (3.12)$$

Операція 3.

Повторюємо операції 1 і 2, приймаючи замість $y(k)$ функцію $h_1(k)$, і знаходимо друге наближення до першої функції I - функцію $h_2(k)$.

$$h_2(k) = h_1(k) - m_2(k). \quad (3.13)$$

Наступні ітерації виконуються аналогічно. Алгоритм ітерацій виражається формулою:

$$h_1(k) = h_{i-1}(k) - m_1(k). \quad (3.14)$$

У міру збільшення кількості ітерацій функція $m_1(k)$ наближається до нульового значення, а функція $h_i(k)$ – до незмінної форми. З огляду на це, природним критерієм зупинки ітерацій є задання певної межі по нормалізованій квадратичній різниці між двома послідовними операціями наближення, яка визначається як [12]

$$k = const. \quad (3.15)$$

Як правило, для виконання якісного відсіювання модових функцій досить 6...8 ітерацій. Занадто суворий критерій зупинки може завищувати кількість мод і створювати компоненти, що не несуть будь-якої корисної інформації. З іншого боку, при слабкому критерії можливе відсіювання мод, що в повному обсязі задовольняють властивостям модових функцій, а це може призводити до появи в цих модах негативних миттєвих частот [12].

Зупинка ітерацій по нормалізованій квадратичній різниці (2.16) історично була першою. У 2003 р. Quek [4] запропонував інший, більш ефективний критерій зупинки, визначеної як

$$\delta = \sum_k |h_{i-1}(k) - h_i(k)|^2 / \sum_k h_{i-1}^2(k) \quad (3.16)$$

Однак для складних і об'ємних (за кількістю відліків) сигналів в процесі ітерацій може змінюватися кількість виділених екстремумів (поява раніше «прихованих» екстремумів), при цьому спостерігаються стрибки значення в більшу сторону, починаючи з яких знову починається процес зменшення, а загальна кількість ітерацій може збільшуватися до 20...30 без істотного підвищення якості відсіювання. Досвід показує, що для оптимальних відсіювань число ітерацій близько 6...8 є цілком достатнім [12].

Все більше застосування знаходять інші критерії зупинки процесу відсіювання, орієнтовані на характер і особливості оброблюваних даних, і зупинку за кількома критеріями із завданням певних логічних умов по їх співвідношенню (наприклад, за порогом 0).

Останнє значення $h_i(k)$ приймається за найбільш високочастотну функцію з $(k) = h_i(k)$ сімейства мод, яка безпосередньо входить до складу вихідного сигналу $y(k)$. Це дозволяє вирахувати (k) зі складу сигналу і залишити в ньому більш низькочастотні [12]:

$$r_1(k) = y(k) - c_1(k). \quad (3.17)$$

Функція $r_1(k)$, обробляється як нові дані за аналогічною методикою з урахуванням другої функції $-c_1(k)$, після чого процес триває:

$$r_2(k) = r_1(k) - c_2(k). \quad (3.18)$$

Таким чином, декомпозиція сигналу в n -емпіричному наближенні досягається за формулою:

$$y(k) = \sum_n^{\pi} c_n(k) + r_n(k). \quad (3.19)$$

Повний алгоритм емпіричної модової декомпозиції наведено на рис. 3.1.

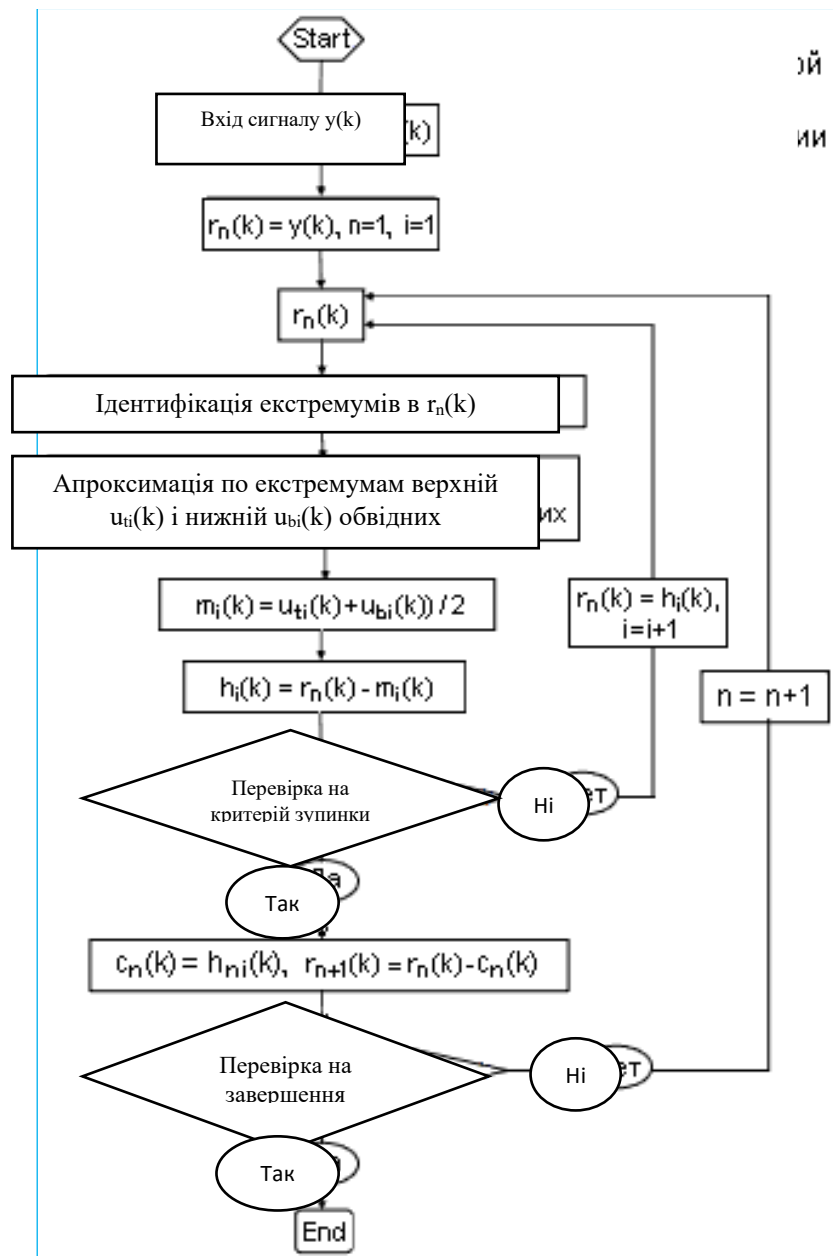


Рисунок 3.1 – Структурна схема алгоритму ЕМД

Критерії зупинки процесу декомпозиції сигналу можуть бути наступними:

1. Залишок $r_n(k)$ не містить екстремальних точок, тобто стає або константою, або монотонною функцією, з якої не може бути вилучені моди [12].

2. Залишок $r_n(k)$ у всьому інтервалі існування сигналу стає несуттєвим за своїми параметрами в порівнянні з сигналом і не представляє інтересу для аналізу [12].

3. Оскільки підсумовування всіх мод (реконструкція сигналу) має давати вихідний сигнал, то можна зупиняти розкладання шляхом встановлення відносної похибки середньо-квадратичної реконструкції (без урахування залишку $r_n(k)$) [12].

4. По мірі збільшення кількості мод відносна середньоквадратична похибка реконструкції досить складних і протяжних сигналів зменшується, але, як правило, має певний мінімум. Можливо, це визначається здатністю алгоритму по розкладанню залишку на функції, що частково компенсують одна одну. Відповідно, зупинка програми може відбуватися, якщо наступна мода збільшує похибку реконструкції. Іншими словами, зупинка декомпозиції сигналу повинна здійснюватися при максимальному «випрямленні» залишку, тобто при перетворенні його в тренд сигналу по інтервалу існування з числом екстремумів не більше 2...3. Навіть для даних з нульовим середнім значенням кінцевий залишок може відрізнятись від нуля. Щоб застосовувати метод ЕМД, центрування даних не потрібне, а метод потребує тільки локалізації екстремумів. Нульова лінія для кожного компонента декомпозиції буде сформована процесом відсіювання. Кожна мода містить більш низькі частотні складові, ніж вилучена перед нею [12].

3.3 Ортогональність базису декомпозиції

Таким чином, вхідний сигнал $y(k)$ відповідно до виразу (3.1) розкладається по базису, який не визначений аналітично, але задовольняє всім традиційним вимогам базису. На підставі перевірки на модельних і дослідних даних він є: закінченим і збігається (сума всіх мод і залишку дорівнює вихідному сигналу і не залежить від критеріїв зупинки ітерацій), ортогональним (всі моди і залишок ортогональні один одному), єдиним; адаптивним, оскільки отриманий безпосередньо з аналізуємих даних емпіричним методом [12].

Ортогональність базису може бути перевірена скалярним добутком будь-яких пар мод. Сума всіх компонентів мод, включаючи залишок, повинна реконструювати вхідний сигнал і може використовуватися для визначення похибки

декомпозиції. Як правило, найбільші локальні похибки декомпозиції спостерігаються на кінцевих ділянках вхідного масиву даних. Щоб не допустити похибок, рекомендується ставити інтервали початкових і кінцевих умов, а сигнал на цих інтервалах формувати будь-якої функцією прогнозування [12].

Н. Хуанг стверджує також, що базис розкладання є єдиним. Але це твердження можна вважати суперечним. Емпіричний процес розкладання сигналу в силу своєї адаптивності некерований в цій формі [12].

Навіть багатотональні складові багатокомпонентного сигналу при певному впливі дестабілізуючих факторів (шумів, імпульсних перешкод тощо) і близьких по частоті сусідніх компонент можуть при декомпозиції «перетікати» на окремих часових інтервалах в функції сусідніх мод [13].

Приклади практичного застосування ЕМД наведені в роботі, зокрема, для аналізу ЕМД-даних девіації періоду. В результаті досліджень всім вилученим модам зіставлені певні фізичні процеси, які викликали їх формування [13].

3.4 Результати математичного моделювання розкладання нестационарних сигналів на емпіричні моди

Для прикладу розкладемо реалізацію нестационарного сигналу із додаванням білого шуму на апостеріорні моди. Вид реалізації зображено на рис. 3.1, 3.3, 3.5, 3.7, 3.9 для різних відношень сигнал-шум [13].

Розглянемо значення № 1 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 5 Дб.

Операція: `main_sig_1 = awgn(sin_sig,5,'measured')`

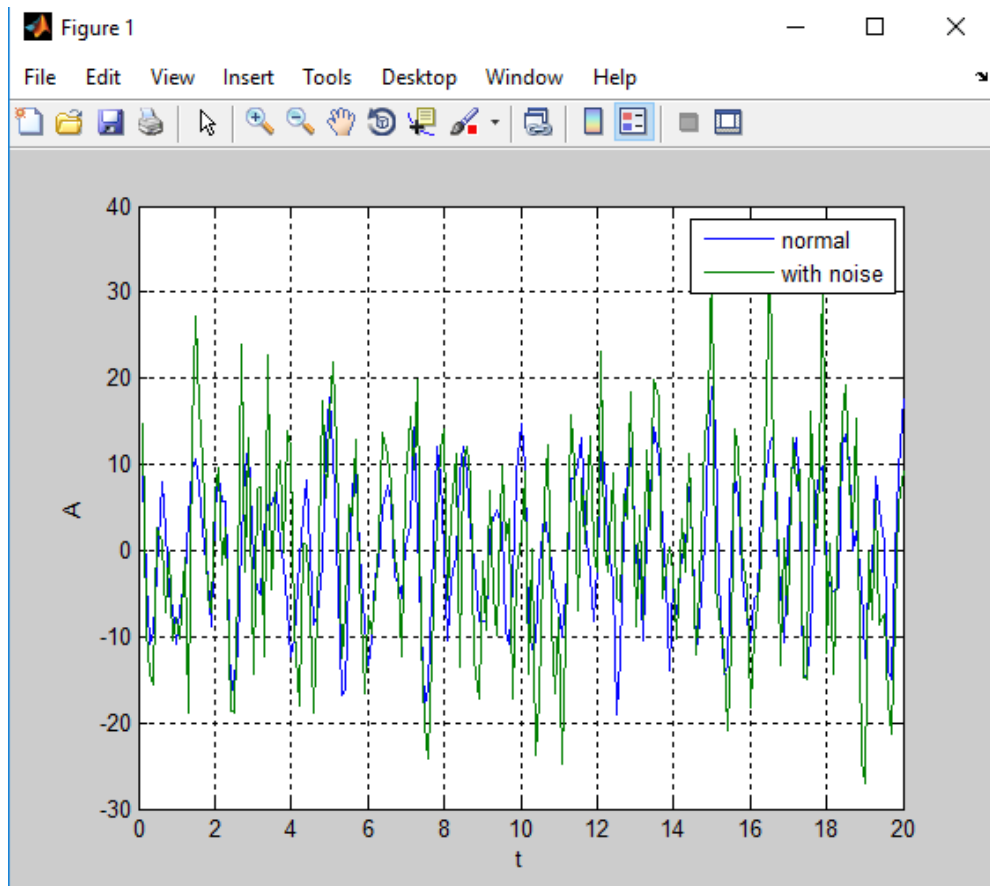


Рисунок 3.2 – Вид експериментального сигналу № 1 при відношенні сигнал/шум 5дБ: (синя крива – сам сигнал, зелена крива – сигнал із додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 5)

На рис. 3.2 було проведено розкладання сигналу № 1 за допомогою перетворення Гільберта-Хуанга на n -мод з додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 5 дБ. Розкладаємий сигнал № 1 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 5 дБ дало можливість отримати деяку кількість мод. При заданому відношенню сигнал/шум для нестационарного сигналу № 1 кількість мод Гільберта-Хуанга складає 7. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод (рис. 3.3) показала, що сигнал відповідає другому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 7.

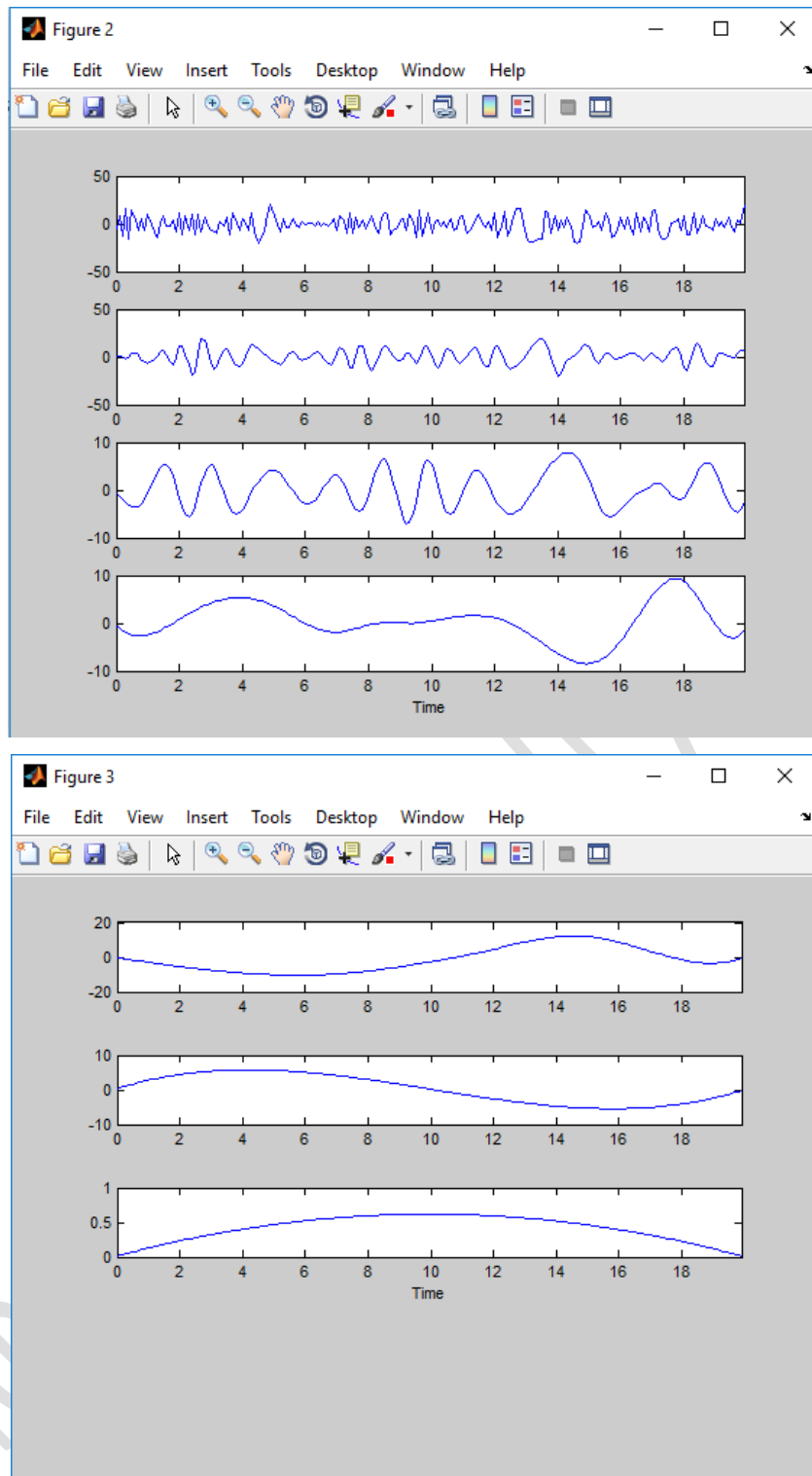


Рисунок 3.3 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 1 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Розглянемо значення № 2 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 10 дБ.

Операція: `main_sig_2 = awgn(sin_sig,10,'measured')`

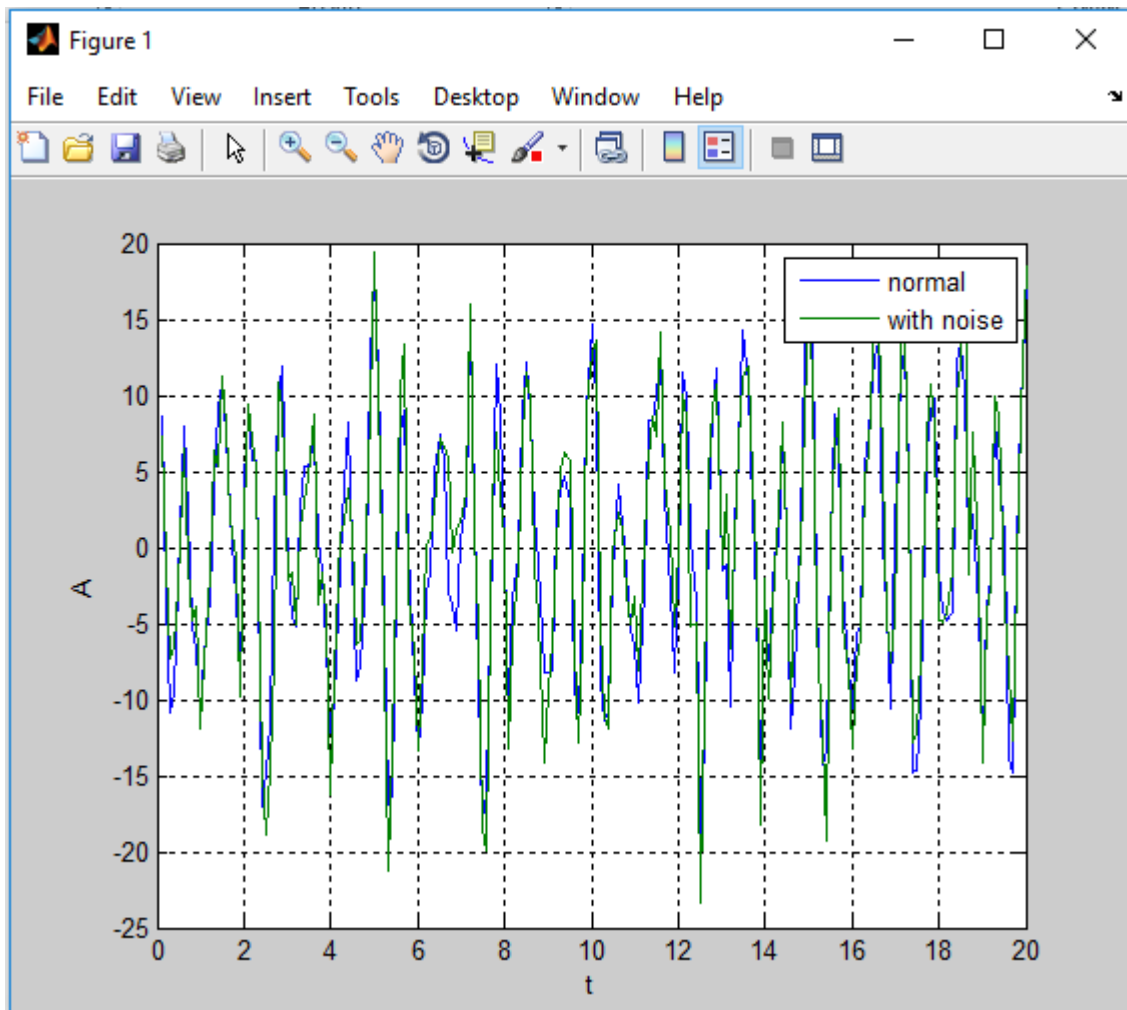


Рисунок 3.4. Частотно-маніпуляційний сигнал № 2 з силою шуму 10 дБ:
 (синя крива – сам сигнал, зелена крива – сигнал із додаванням
 білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 10)

На рис. 3.4 було проведено розкладання сигналу № 2 за допомогою перетворення Гільберта-Хуанга на n мод з додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 10 дБ. Розкладаємий сигнал № 2 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 10 дБ дало можливість отримати декілька мод. При заданому відношенню сигнал/шум для нестационарного сигналу №2 кількість мод Гільберта-Хуанга складає 7. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод (рис. 3.5) показала, що сигнал відповідає другому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 7.

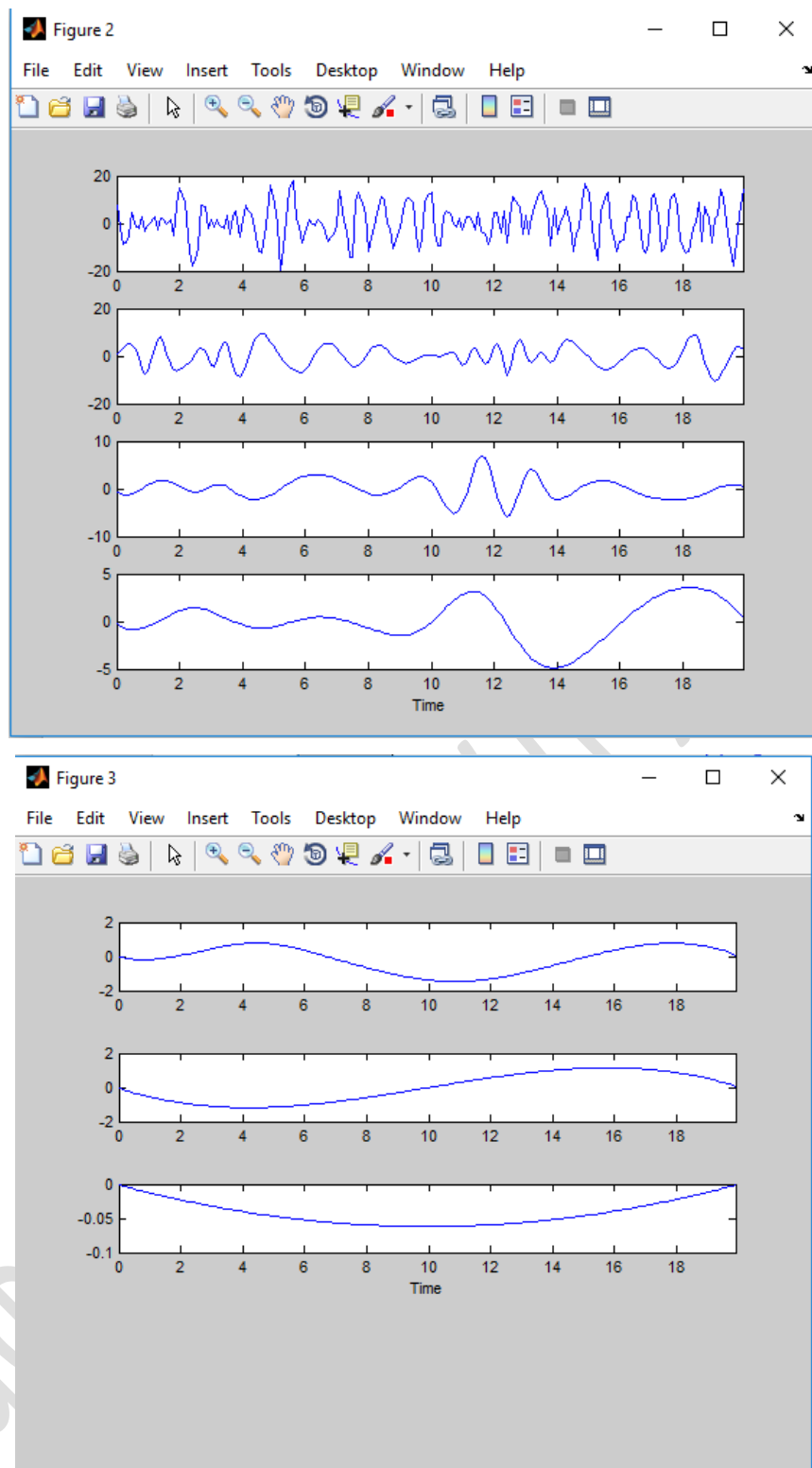


Рисунок 3.5 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 2 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Розглянемо значення № 3 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 20 дБ;

Операція: `main_sig_3 = awgn(sin_sig,20,'measured')`

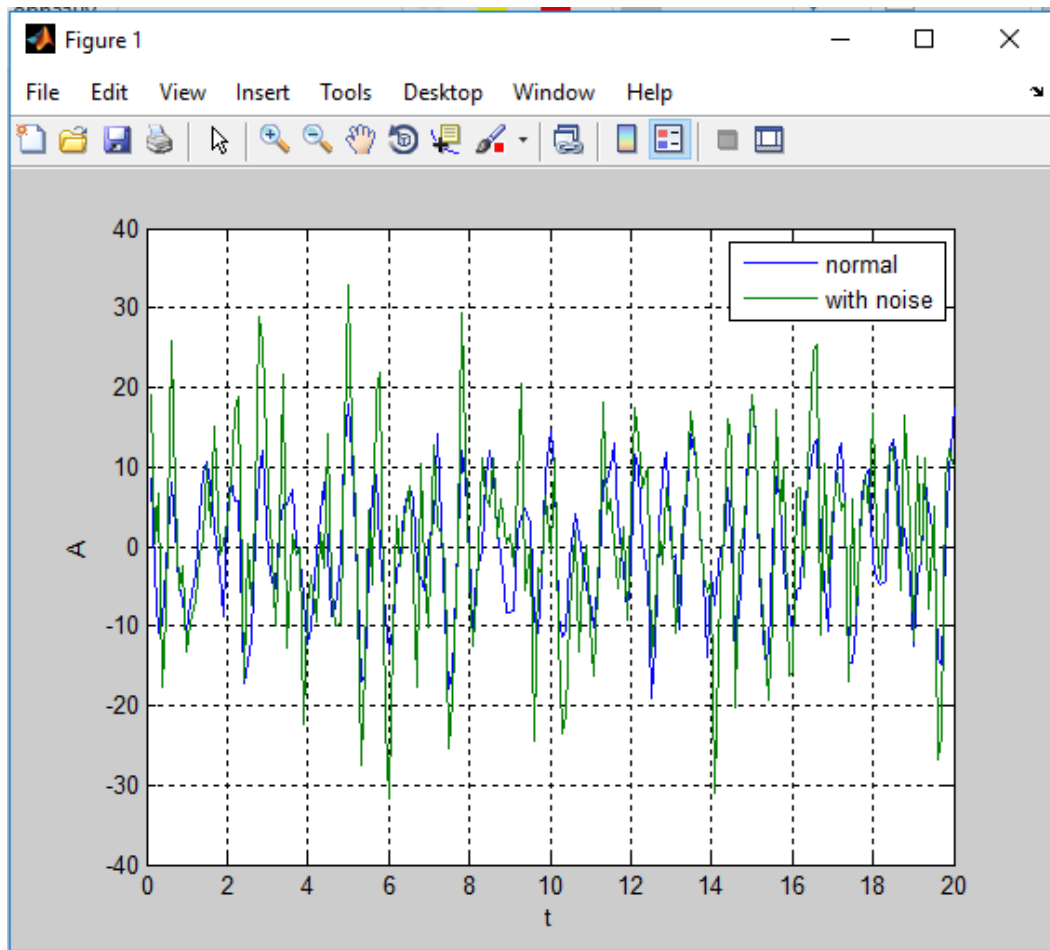


Рисунок 3.6 – Частотно маніпуляційний сигнал №3 з відношенням сигнал-шум 20 дБ:

(синя крива – сам сигнал, зелена крива – сигнал із додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 20)

На рис. 3.6 було проведено розкладання сигналу № 3 за допомогою перетворення Гільберта-Хуанга на n мод з додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 20 дБ. Розкладаємий сигнал № 3 синусоїда+шум з відношенням сигнал-шум 20 дБ дало можливість отримати декілька мод. При заданому відношенню сигнал/шум для нестационарного сигналу № 3 кількість мод Гільберта-Хуанга складає 7. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод (рис. 3.7) показала, що сигнал відповідає другому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 7.

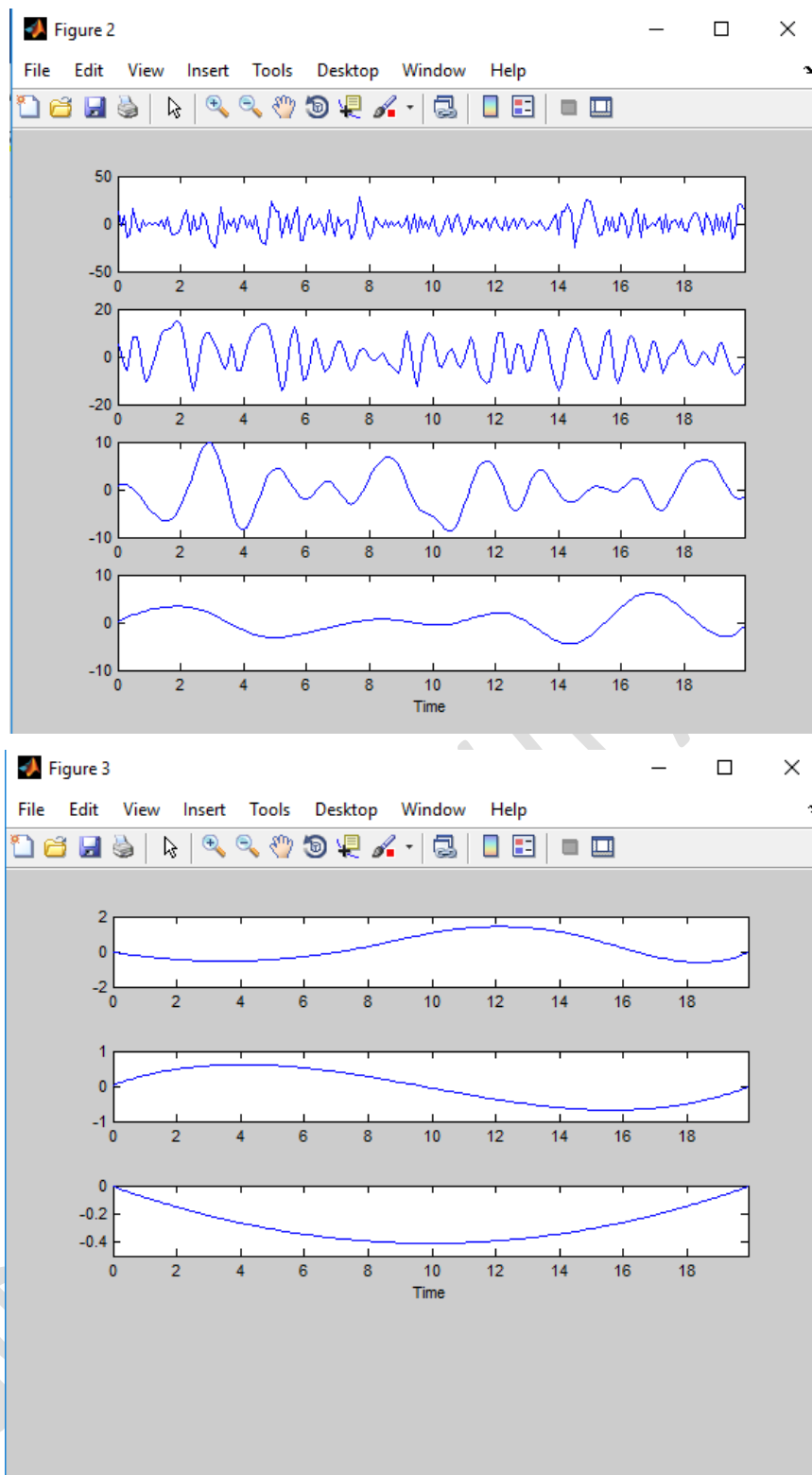


Рисунок 3.7 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 3 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Розглянемо значення № 4 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 30 дБ.

Операція: `main_sig_4 = awgn(sin_sig,30,'measured')`

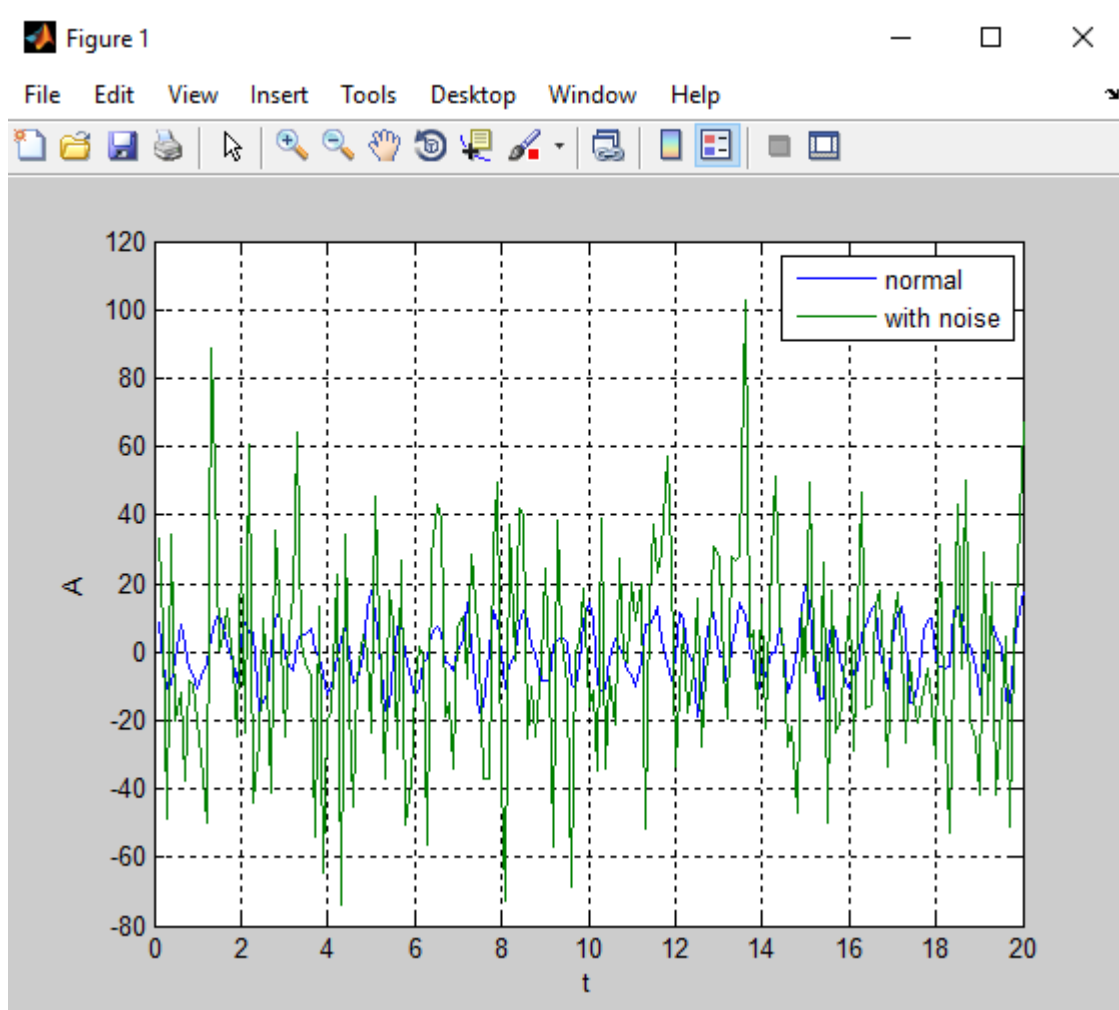


Рисунок 3.8 – Частотно маніпуляційний сигнал № 4 з силою шуму 30 дБ:
 (синя крива – сам сигнал, зелена крива – сигнал із додаванням
 білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 30)

На рис. 3.8 було проведено розкладання сигналу № 4 за допомогою перетворення Гільберта-Хуанга на n мод з додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 30 дБ. Розкладаємий сигнал № 4 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 30 дБ дало також можливість отримати декілька мод. При заданому відношенню сигнал/шум для нестационарного сигналу №4 кількість мод Гільберта-Хуанга складає 7. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод (рис. 3.9) показала, що сигнал відповідає другому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 7.

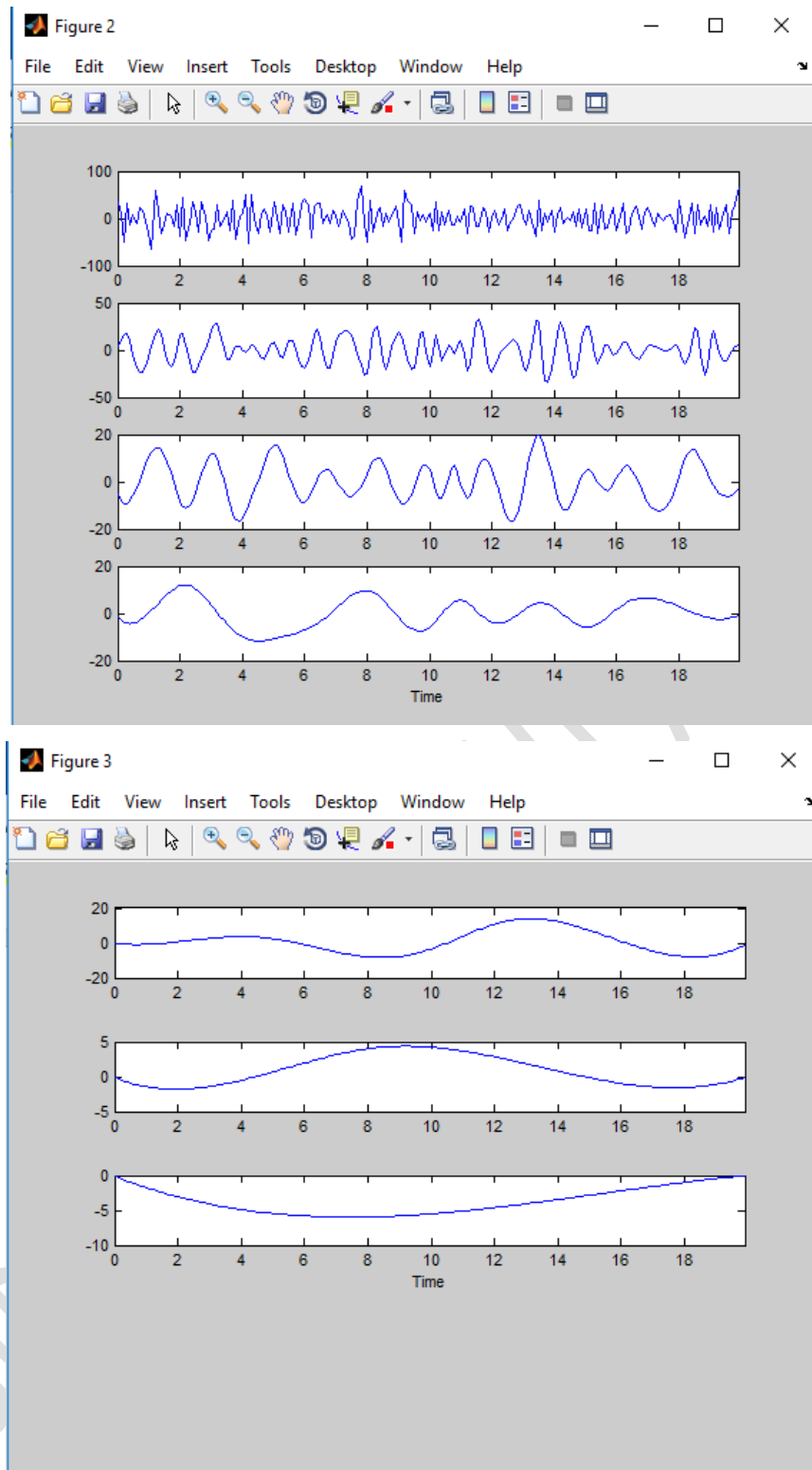


Рисунок 3.9 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 4 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Розглянемо значення № 5 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 50 Дб;

Операція: `main_sig_5 = awgn(sin_sig,50,'measured')`

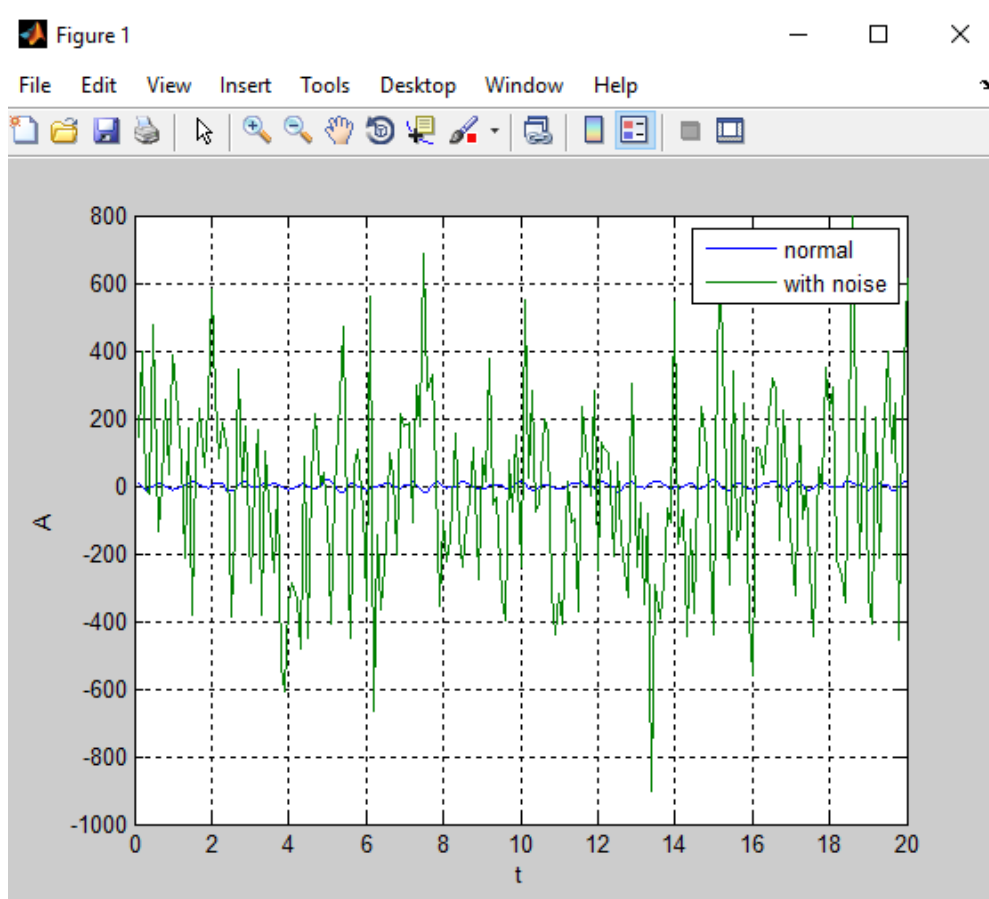


Рисунок 3.10 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 5 з відношенням сигнал-шум 50 Дб:

(синя крива – сам сигнал, зелена крива – сигнал із додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 50)

На рис. 3.10 було проведено розкладання сигналу № 5 за допомогою перетворення Гільберта-Хуанга на n мод з додаванням білого шуму із параметром відношення сигнал-шум 50 дБ. Розкладаємий сигнал № 5 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 50 дБ дало можливість отримати деяку кількість мод. При заданому відношенню сигнал/шум для нестационарного сигналу №5 кількість мод Гільберта-Хуанга складає 8. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод (рис. 3.11) показала, що сигнал відповідає третьому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 8.

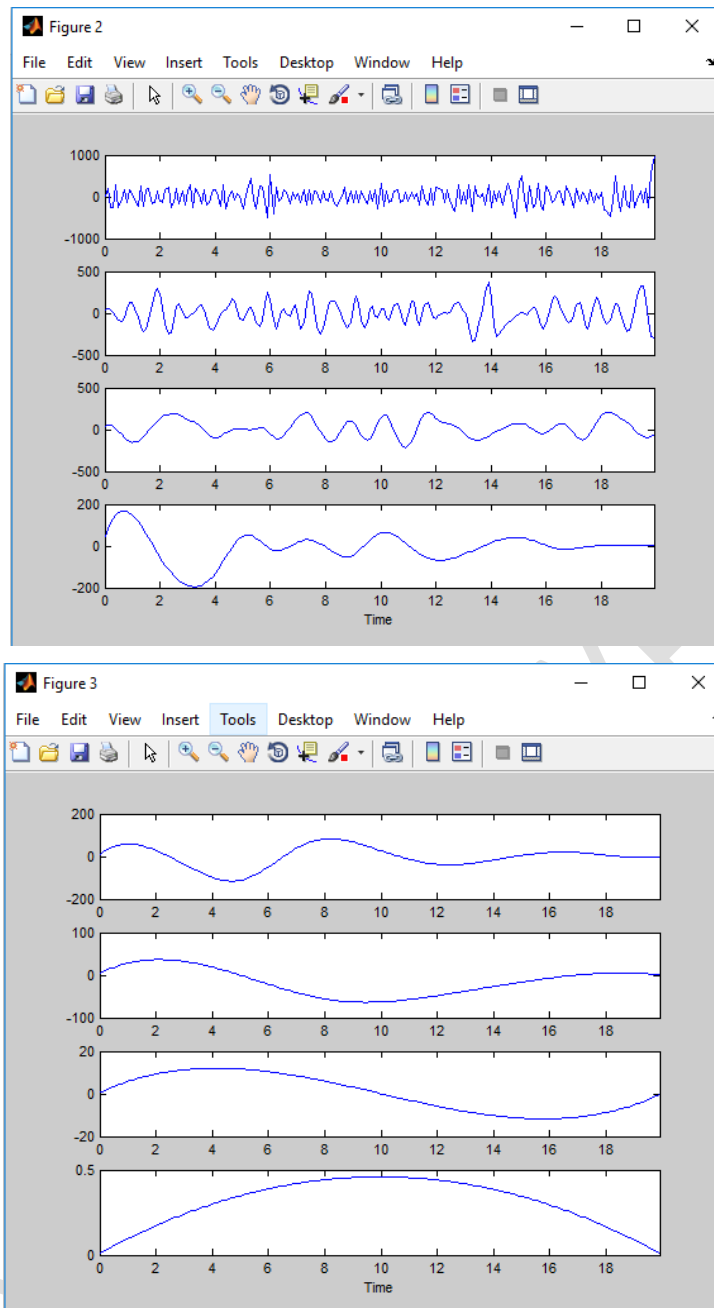


Рисунок 3.11 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 5 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Отже, аналіз показує, що сигнал змінюється по частоті в декілька разів в залежності від відношення значення сигнал/шум. Вхідні дані сили шуму в інтервалі (10 ДБВт, 20 ДБВт, 30ДБВт, 50 ДБВт) відрізняються за типом сигналів та кількістю мод. Чим більше відношення значення сигнал/шум, тим триваліше йдуть коливання шуму на графіку, оскільки збільшення відношення сигнал/шум впливає на тип сигналів, яке визначається кількістю мод і стаціонарністю.

3.5 Метод усунення нестационарності випадкового процесу тиску в реальному часі у вимірювальних системах технічно складних об'єктів

Одним з таких методів є перехід від аналізу нестационарного сигналу в одному каналі до аналізу стаціонарних сигналів в декількох каналах, що вимагає розкладання нестационарного сигналу на суму стаціонарних. Особливістю нестационарних сигналів є те, що для них важко підібрати базис розкладання. Кращим варіантом є використання адаптивного базису, в якому протягом часу змінюються ортогональні функції базису. Все це істотно ускладнює обробку сигналів в реальному часі. Ось чому в дипломній роботі був вибраний апостеріорний базис розкладання по модам Гільберта-Хуанга, які автоматично підбираються для кожного нестационарного сигналу. На рисунках приведені приклади мод Гільберта-Хуанга для сигналів всіх трьох типів [10, с. 115-116].

3.5.1 Результати дослідження нестационарності мод Гільберта-Хуанга

Дослідження проведено для різних відношень сигнал-шум 5, 10, 20, 30 та 50 дБ, яке в математичному пакеті Matlab вибиралось оператором окремо для кожного випадку [10].

Розглянемо значення № 1 по відношенню сигнал-шум, з інтервалом 5 Дб.

Операція: `main_sig_1 = awgn(sin_sig,5,'measured')`

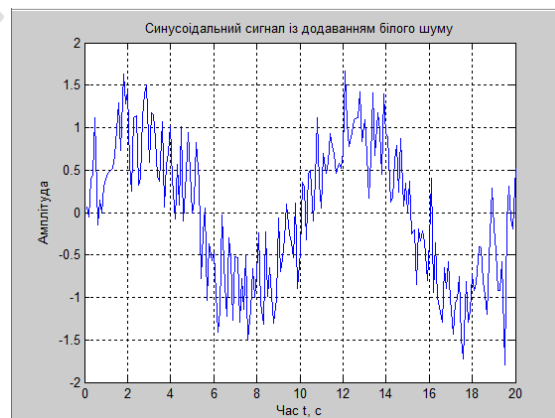


Рисунок 3.12 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 1 (Синусоїда + шуми) з відношенням сигнал-шум 5 Дб

Для використання методу Гільберта-Хуанга [10] розкладаємо сигнал № 1 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 5 дБ та отримуємо кількість мод. Проведена перевірка стаціонарності отриманих мод показала, що сигнал відповідає першому типу, оскільки кількість стаціонарних мод становить 6.

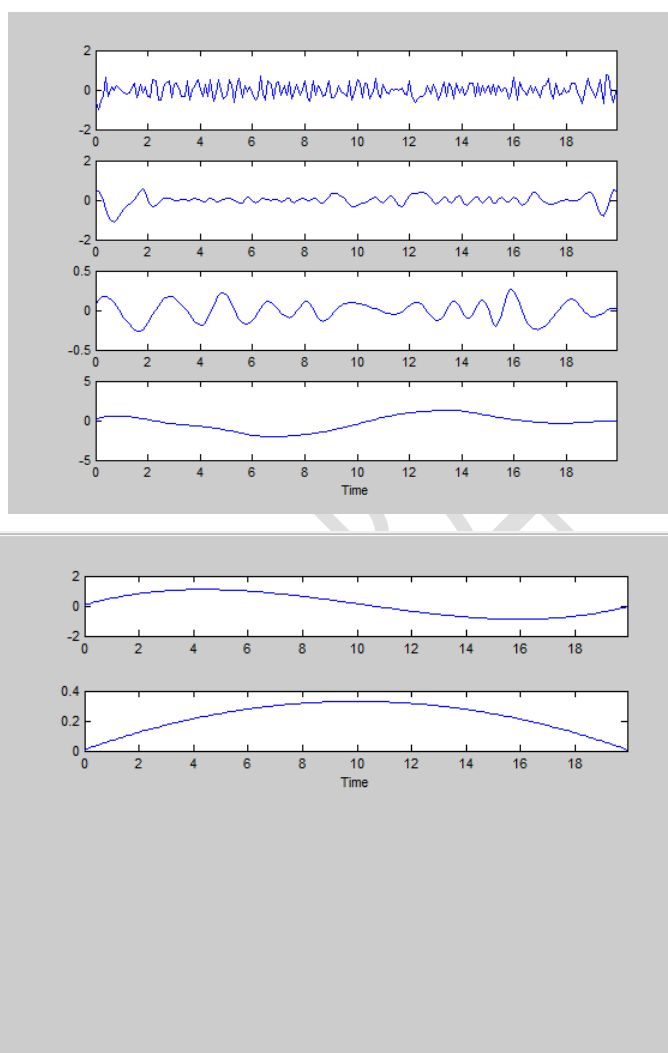


Рисунок 3.13 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 1 на моди Гільберта-Хуанга [10]

В табл. 3.1 показана кількість мод Гільберта-Хуанга для сигналу №1 у залежності від проведеного дослідження.

Таблиця 3.1 – Кількість мод Гільберта-Хуанга для сигналу № 1

№	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	0	0	1

де 1 – стаціонарний сигнал;

0 – нестационарний сигнал.

Зазначений сигнал був перевірений на стаціонарність традиційними методами. Після проведення результатів бачимо, що із 6 мод тільки дві є нестационарною це мода № 4 і 5.

Відношення сигнал-шум-15дБ:

```
sig_n_1 = awgn(sin_noise,15,'measured');
```



Рисунок 3.14 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 2
(Синусоїда + шуми) з силою шуму 10 Дб

Для використання методу Гільберта-Хуанга [10] розкладаємо сигнал № 2 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 15 дБ отримуємо моди. Для перевірки нестационарності сигналу засовуємо цей метод.

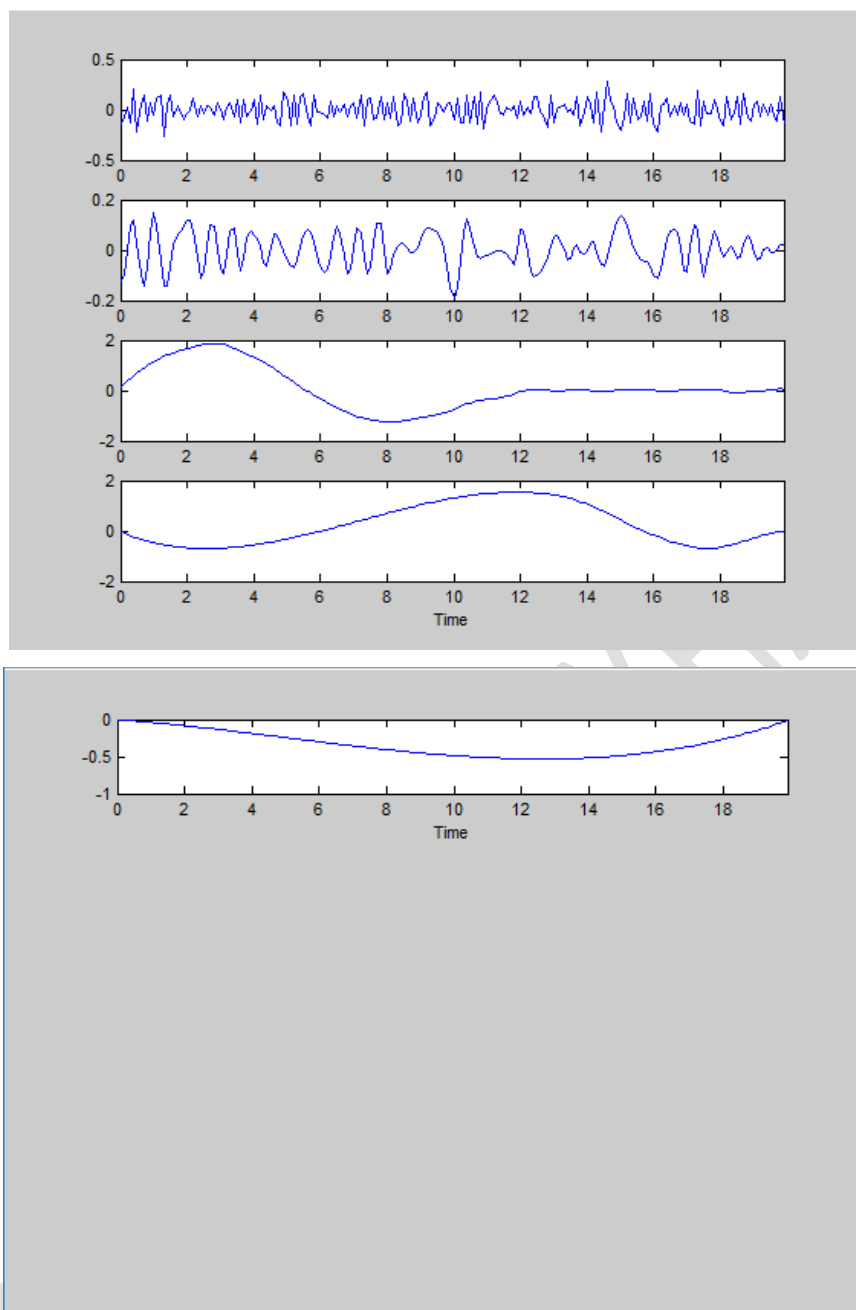


Рисунок 3.15 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 2 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Таблиця 3.2 – Кількість мод для сигналу № 2

№	1	2	3	4	5
	1	1	0	0	0

1 – стаціонарний сигнал

0 – нестационарний сигнал

Зазначені сигнали були перевірені на стаціонарність традиційними методами. Після проведення результатів бачимо, що із 5 мод три є нестаціонарними це моди № 3, 4 і 5.

Відношення сигнал-шум – 30 Дб

```
sig_n_1 = awgn(sin_noise,30,'measured');
```

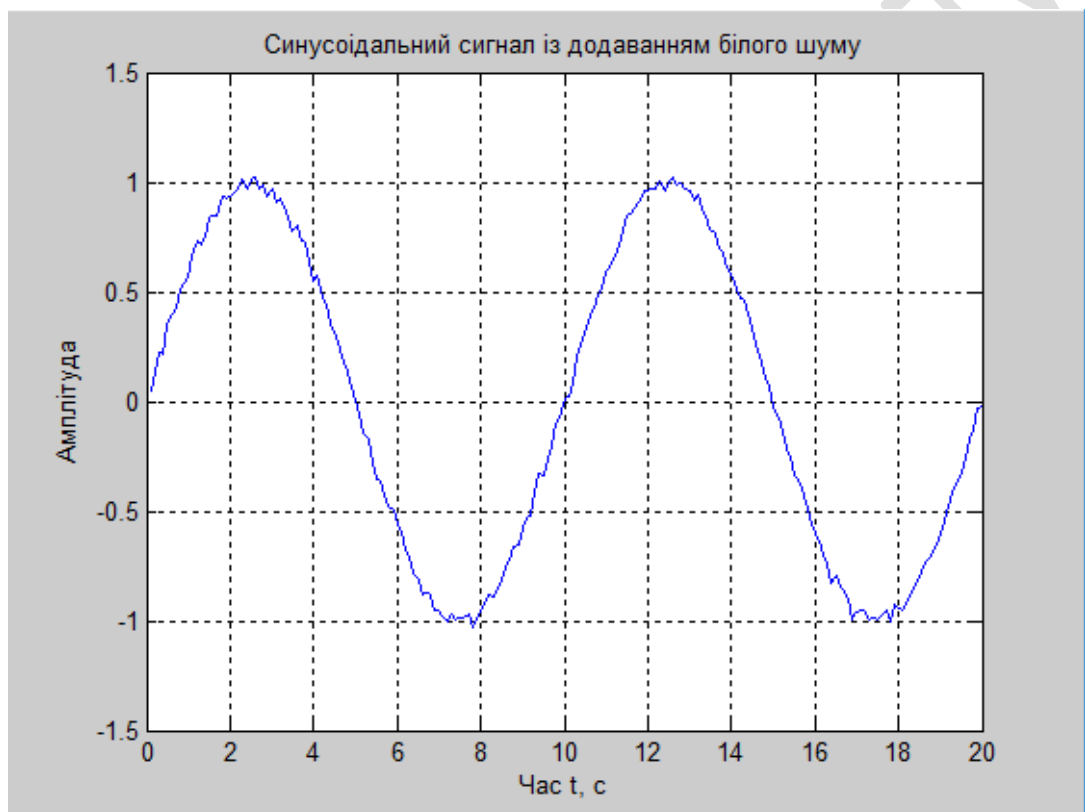


Рисунок 3.16 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 3

(Синусоїда + шуми) з відношенням сигнал-шум 20 Дб

Для використання методу Гільберта-Хуанга [10] розкладаємо сигнал № 3 синусоїда+шум з відношення сигнал-шум 30 дБ отримуємо моди. Для перевірки нестаціонарності сигналу засовуємо цей метод.

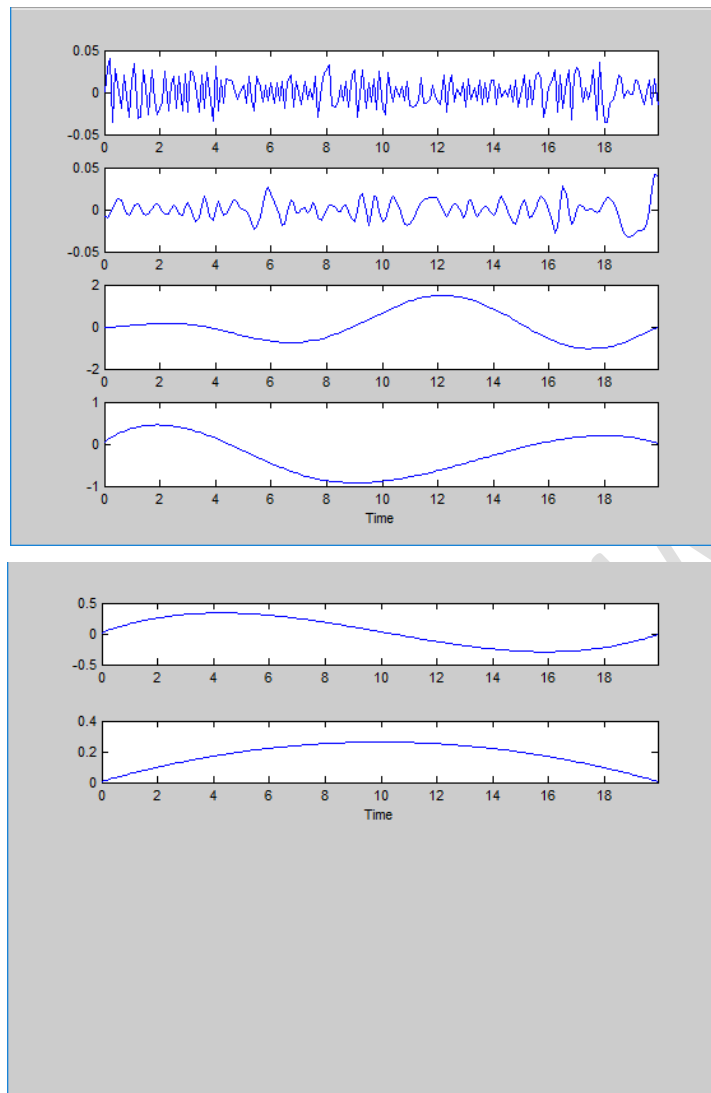


Рисунок 3.17 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 3 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Таблиця 3.3 – Кількість мод для сигналу № 3

№	1	2	3	4	5	6
	1	1	0	1	0	1

1-стаціонарний сигнал

0 – нестационарний сигнал

Зазначені сигнали були перевірені на стаціонарність традиційними методами. Після проведення результатів бачимо, що із 6 мод дві є нестационарними це моди № 3 і 5.

Залежність показника стаціонарності від тренду сигналу.

Не існує «автоматичного» способу виявлення тренду в часовому ряді. Однак, якщо тренд є монотонним (стійко зростає або стійко зменшується), то аналізувати такий ряд не складно. Якщо часові ряди містять значну похибку, то першим кроком виділення тренду є згладжування.

$A = 2$; % Амплітуда синусоїдального сигналу

$f = 0.3$; % Частота синусоїдального сигналу

$k = 0.3$; % Коefіцієнт посилення

Відношення сигнал-шум 5Дб

`main_sig_1 = awgn(sin_sig,5,'measured')`



Рисунок 3.18 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 4
(Синусоїда + шуми) з відношенням сигнал-шум 30 Дб

На рис. 3.18 приведено приклад сигналу зі змінним середнім значенням або сигналу з лінійним трендом. Сигнали являли собою синусоїду з додаванням до неї

білого гауссівського шуму та лінійної функції часу (тренд) з різним нахилом або суму декількох синусоїд з різними амплітудами, частотами та фазами і тренду з шумом. Формування білого шуму з необхідним відношенням сигнал-шум 5 дБ забезпечувалось програмою awgn в математичному пакеті Matlab.

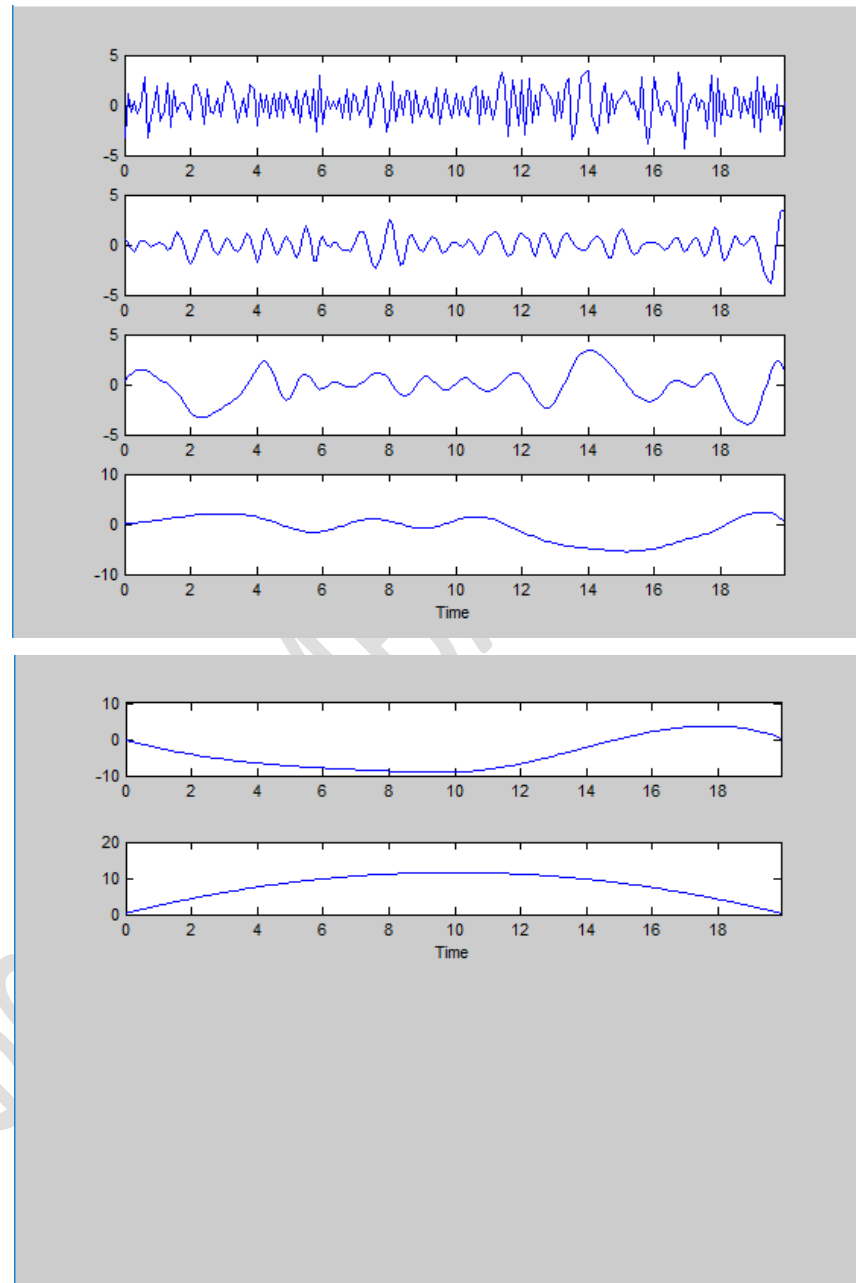


Рисунок 3.19 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 4 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Таблиця 3.4 – Кількість мод для сигналу № 4

№	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	0	0	1

1–стаціонарний сигнал

0– нестаціонарний сигнал

Після проведення результатів бачимо, що із 6 мод тільки дві є нестаціонарними: це моди № 4 і 5. Для перевірки нестаціонарності використовували програмний пакет Matlab.

Відношення сигнал-шум 15 Дб.

```
main_sig_1 = awgn(sin_sig,15,'measured')
```



Рисунок 3.20 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 5
(Синусоїда + шуми) з відношенням сигнал-шум 50 Дб

На рис. 3.20 приведені результати декомпозиції нестационарних сигналів з трендом на моди Гільберта-Хуанга [10].

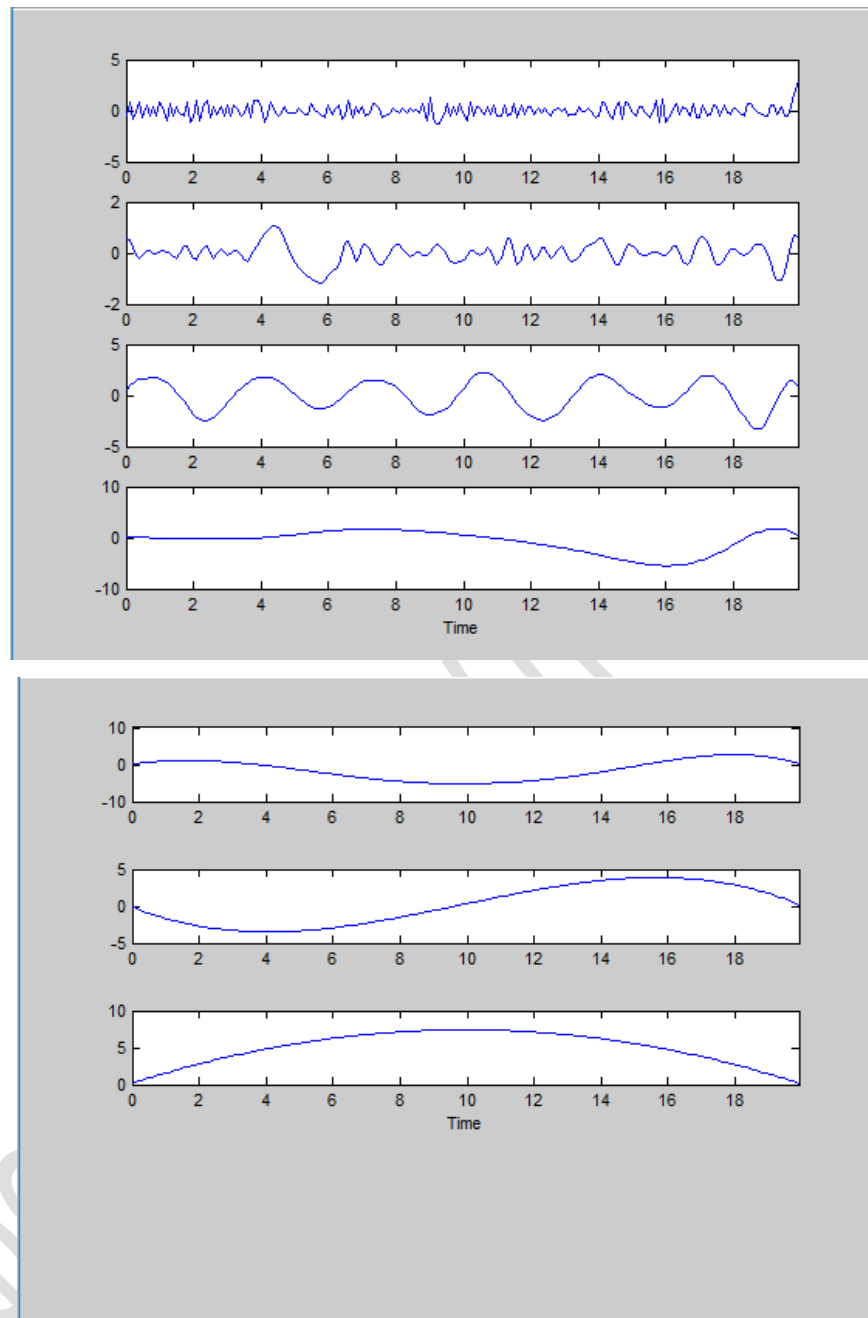


Рисунок 3.21 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 5 на моди Гільберта-Хуанга

Таблиця 3.5 – Кількість мод для сигналу № 5

№	1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	0	1	0	1

1-стаціонарний сигнал

0- нестаціонарний сигнал

Після проведення результатів бачимо, що із 7 мод тільки дві є нестаціонарними: це моди № 4 і 6. Кількість мод для моделей таких сигналів не перевищує сім.

Відношення сигнал-шум 30 дБ.

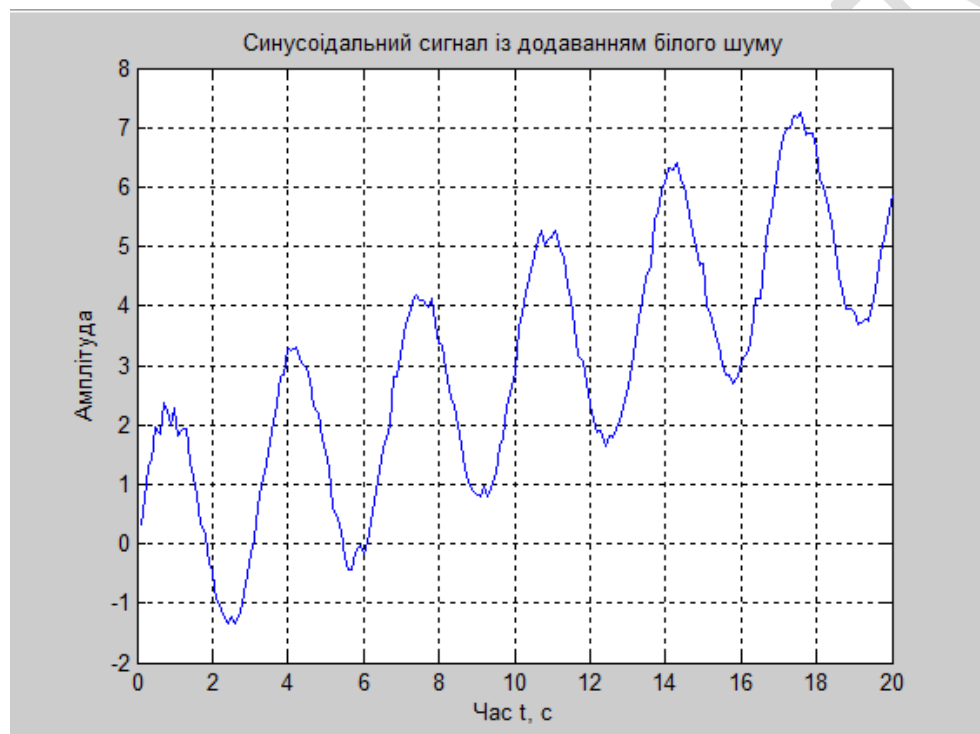


Рисунок 3.22 – Частотно-маніпуляційний сигнал № 6
(Синусоїда + шуми) з відношенням сигнал-шум 30 Дб

На рис. 3.22 приведено сигнал № 6 синусоїда+шуми+тренд з додаванням сигнал-шум 30 дБ. Для розкладання сигналу № 3 використовуємо метод Гільберта-Хуанга [10], по якому можна розкласти сигнал на моди і перевірити їх стаціонарність. Результати приведені на рис. 3.23.

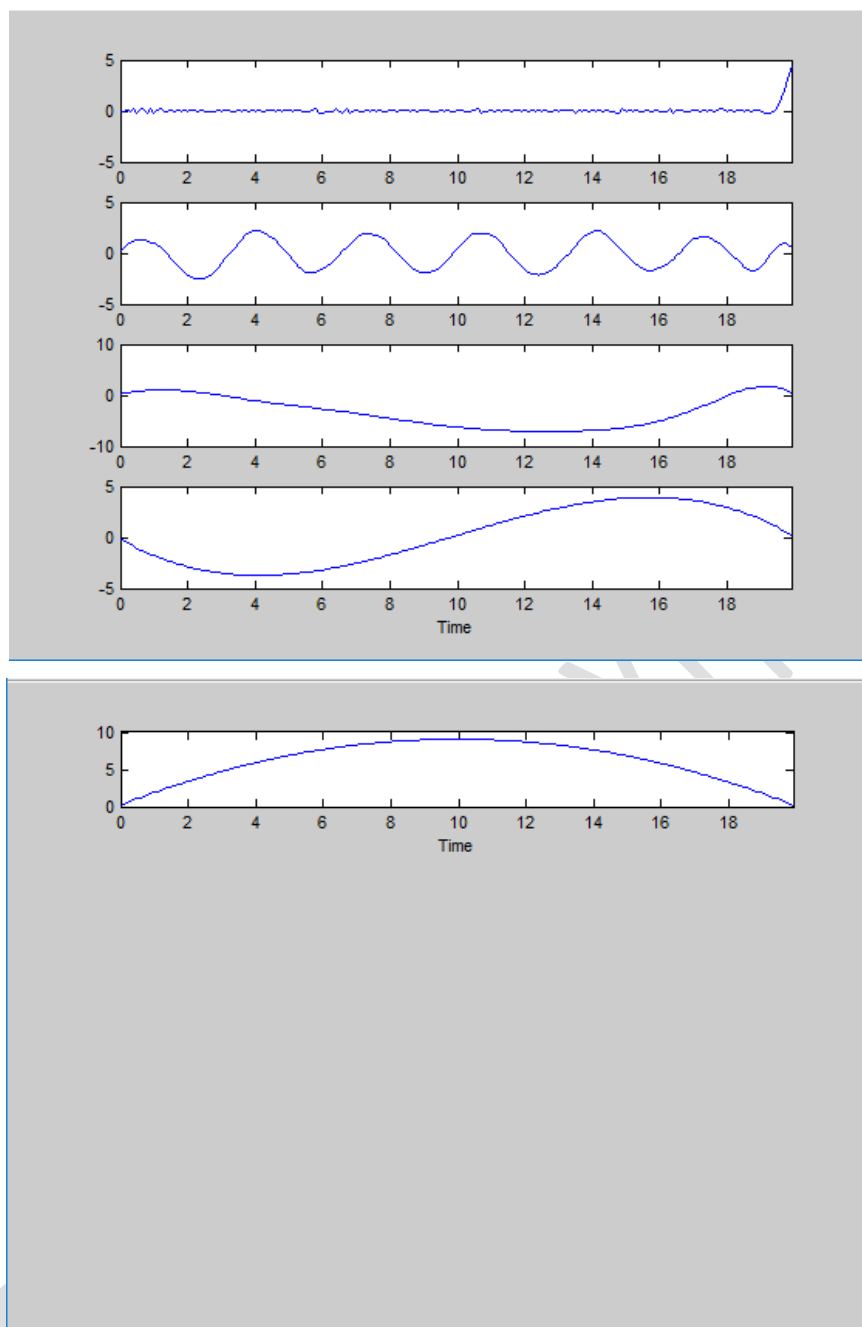


Рисунок 3.23 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 6 на моди Гільберта-Хуанга [10]

Таблиця 3.6 – Кількість мод для сигналу 6

№	1	2	3	4	5
	1	1	0	0	1

1 – стаціонарний сигнал

0 – нестационарний сигнал

Після проведення результатів бачимо, що із 5 мод тільки дві є нестационарними: це моди № 3 і 4. Чим більше гауссівський шум, тим більше будуть коливання сигналу на графіку, але кількість мод зменшується.

Сигнал зі зміною дисперсії. Застосуємо перетворення Гільберта-Хуанга [10] відповідно до описаних раніше моделей нестационарних процесів.

На рис 3.24 приведений нестационарний сигнал зі змінною дисперсією. Кількість мод для моделей таких сигналів не перевищує сім. Перевірка мод на стаціонарність показана (рис. 3.24).

$$z = 1/2*t + t.*\text{randn}(\text{size}(t))$$



Рисунок 3.24 – Сигнал зі зміною дисперсії

На рисунках приведені результати декомпозиції нестационарних сигналів з трендом на моди Гільберта-Хуанга [10].

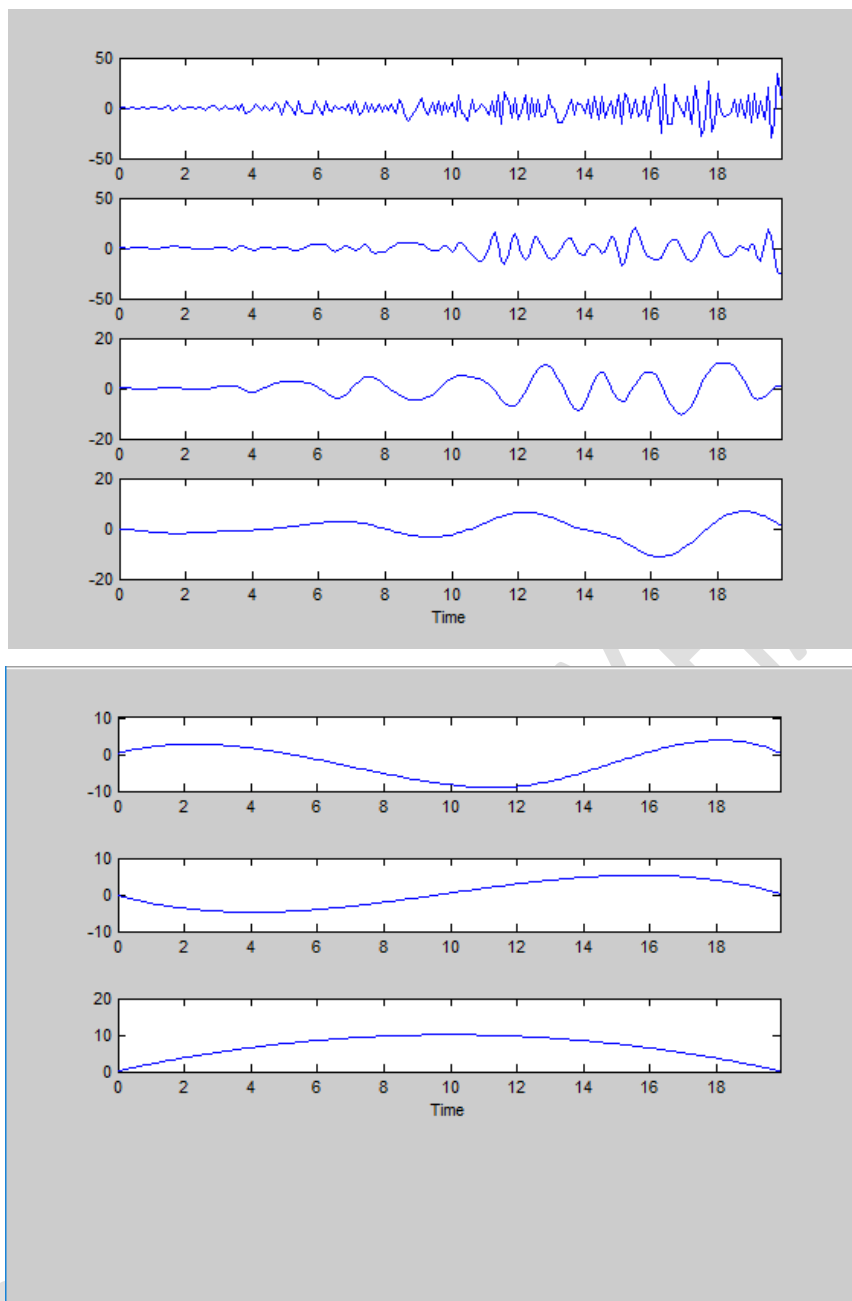


Рисунок 3.25 – Результати декомпозиції нестационарного сигналу № 5 на моди Гільберта-Хуанга

Таблиця 3.7 – Кількість мод для сигналу зі зміною дисперсії

№	1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	0	1	0	1

1-стаціонарний сигнал

0- нестационарний сигнал

Після аналізу результатів бачимо, що із 7 мод дві є нестационарними – це моди № 4 і 6.

У табл. 3.7 приведені приклади сигналів зі змінною дисперсією. Тренд дорівнював у цьому випадку нулю, а інші характеристики (синусоїда, сума синусоїд та шум) є такими, як і в першому випадку (рисунок 3.7).

Перевірка стаціонарності цих мод показала, що для сигналів першого типу кількість стаціонарних мод становить 6, для сигналів другого типу – 6, а для сигналів третього типу – 7, причому кількість мод для різних типів сигналів відрізняється силою сигнал/шум. Найчастіше нестационарними бувають останні моди. Отже, існує можливість розкладання нестационарного сигналу на декілька стаціонарних [10, с. 116].

Приведений метод не може забезпечувати роботу вимірювальної системи в реальному часі, оскільки перетворення Гільберта-Хуанга виконується з затримкою. Якщо на протязі деякого часу характеристики нестационарного випадкового процесу змінюються не в значній мірі, то на цей період можна побудувати багатоканальну систему з числом фільтрів, що дорівнюють числу мод перетворення Гільберта-Хуанга. Отже, у вимірювальній системі одночасно неперервно працює підсистема розкладання сигналів по модам Гільберта-Хуанга (з затримкою в часі) та багатоканальний фільтр (практично без затримки). Смуга пропускання цих фільтрів незначно перевищує ширину спектру відповідних мод і може перестроюватись, якщо істотно змінились характеристики нестационарного сигналу, а значить, і спектри мод Гільберта-Хуанга [10, с. 116].

Випадкові процеси поділяються на стаціонарні і нестационарні. У свою чергу, стаціонарні випадкові процеси поділяються на ергодичні та неергодичні. Подальша класифікація нестационарних випадкових процесів проводиться за особливостями їх нестационарностей. До стаціонарних процесів належать такі процеси, ймовірнісні властивості яких не залежать від початку відліку часу. Якщо фізичне явище описується випадковим процесом, то властивість цього явища можна оцінити у будь-який момент часу шляхом усереднення по сукупності сигнальних вибірових функцій, що утворюють випадковий процес [14].

Середнє значення (перший момент) випадкового процесу у момент часу t_1 можна обчислити, взявши миттєві значення всіх вибірових функцій ансамблю у момент часу t_i , додавши ці значення і розділивши на число вибірових функцій. Автокореляція (змішаний момент) значень випадкового процесу в два різні моменти часу обчислюється шляхом усереднення по ансамблю добутків миттєвих значень в моменти часу t_i та $t_i - \tau$. Отже, середнє значення $\mu_x(t_i)$ та автокореляційна функція $R_{xx}(t_i, t_i + \tau)$ випадкового процесу $\{x(t_i)\}$ визначаються відповідно [14]:

$$\mu_x(t_1) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_1), \quad (3.20)$$

$$R_{xx}(t_i, t_i + \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_1) \cdot (t_1 + \tau). \quad (3.21)$$

У загальному випадку, коли $\mu_x(t_i)$ та $R_{xx}(t_i, t_i + \tau)$, які визначені рівняннями (3.20, 3.21), залежать від моменту часу t_1 , то випадковий процес $\{x(t)\}$ відноситься до нестационарних. У випадку, коли $\mu_x(t_i)$ та $R_{xx}(t_i, t_i + \tau)$, не залежать від моменту часу t_1 , то випадковий процес відноситься до слабо стаціонарних або стаціонарних в широкому сенсі. Середнє значення слабо стаціонарного процесу є постійним, а автокореляційна функція залежить лише від зміщення часу, тобто $\mu_x(t_i) = \mu_x$ та $R_{xx}(t_i, t_i + \tau) = R_{xx}(\tau)$ [14].

Для визначення повного набору функцій розподілу, які задають структуру випадкового процесу $\{x(t)\}$, потрібно обчислювати нескінченне число моментів і змішаних моментів вищих порядків. У тому випадку, коли усі моменти і змішані моменти інваріантні в часі, випадковий процес $\{x(t)\}$ називається строго стаціонарним або стаціонарним у вузькому сенсі. У багатьох випадках характеристики стаціонарного випадкового процесу можна обчислити, усереднюючи їх за часом в межах окремих сигнальних вибірових функцій, які входять до ансамблю. У цьому випадку всі характеристики випадкового процесу

можна проаналізувати шляхом дослідження властивостей тільки однієї сигнальної реалізації. Такі процеси відносяться до ергодичних. Для ергодичних процесів середні значення і автокореляційні функції, що отримані усередненням за часом (як і інші характеристики, обчислені усередненням за часом), дорівнюють аналогічним характеристикам, знайденим усередненням по ансамблю, тобто $\mu_x(t_i) = \mu_x$ та $R_{xx}(\tau, k) = R_{xx}(\tau)$. Ергодичні випадкові процеси завжди є стаціонарними. Всі нестаціонарні випадкові процеси неергодичні, однак неергодичними можуть бути й стаціонарні випадкові процеси. Ергодичні випадкові процеси утворюють дуже важливий клас випадкових процесів, оскільки всі властивості ергодичних процесів можна визначити по єдиній сигнальній вибірковій функції. На практиці стаціонарні випадкові процеси зазвичай виявляються ергодичними. Саме з цієї причини властивості стаціонарних випадкових явищ часто можна визначити по одній сигнальній реалізації [14].

До нестаціонарних процесів відносяться всі випадкові процеси, що не задовольняють умовам стаціонарності. Якщо не накладаються додаткові обмеження, то властивості нестаціонарних випадкових процесів залежать від часу і можуть бути встановлені лише шляхом усереднення в окремі моменти часу по ансамблю вибірових функцій, які створюють процес. На практиці часто не вдається отримати достатнє число реалізацій для точної оцінки властивостей процесу. Наслідком цього є відставання в розвитку практичних методів вимірювання і аналізу нестаціонарних випадкових процесів [14].

У деяких випадках можна спростити аналіз нестаціонарних випадкових процесів, якщо експериментальні дані вдається представити у вигляді випадкового процесу, всі вибіркові функції якого мають вигляд $x(t) = a(t)u(t)$, де $u(t)$ – сигнальна вибірка функція стаціонарного випадкового процесу $\{u(t)\}$, $a(t)$ – детермінована функція. Отже, у цьому випадку всі сигнальні вибіркові функції мають загальне детерміноване тлумачення. Якщо нестаціонарний випадковий процес має такий вигляд, то для опису його властивостей не завжди потрібне усереднення по ансамблю. Іноді багато важливих властивостей вдається оцінити по

єдиній сигнальній вибірковій функції, як і у разі ергодичних стаціонарних процесів [14].

Обробка розглянутих сигналів залежить від наведених вище особливостей їх формування. Найбільшою універсальністю та широким практичним застосуванням серед існуючих ортогональних перетворень відзначається перетворення Фур'є, яке разом з косинусним і синусним перетвореннями та перетворенням Хартлі ефективно може використовуватися для аналізу періодичних сигналів, що змінюються в широкому діапазоні частот. Теоретичні та практичні дослідження ортогональних несинусоїдальних перетворень (перетворення Хаара, Уолша-Адамара, Лапласа) показують, що вони мають тісний зв'язок з перетворенням Фур'є, проте відрізняються базовими функціями з різними модифікаціями спектральних компонент, ваговими функціями, а також особливостями застосування. Такі перетворення мають низьку ефективність при аналізі широкосмугових сигналів, як швидкоплинних, перехідних так і повільних. Це обумовлено складністю аналітичних виразів, зменшенням рівня чутливості інформативних параметрів та суттєвим збільшенням часу оброблення. Перетворення Габора та короткочасове перетворення Фур'є є також малоприсаєтними для аналізу неперіодичних сигналів з широким спектром, оскільки їх частотні вікна є жорсткими і незмінними в усьому діапазоні частот. Для аналізу та синтезу неперіодичних широкосмугових сигналів ефективніше використовувати вейвлет-перетворення, оскільки таке перетворення дає можливість здійснювати ефективну декореляцію сигналів одночасно в часовій та частотній областях [14].

В більшості методів дослідження, припускається що сигнал, а у загальному випадку будь-який часовий ряд, є стаціонарним, а залежність від часу вважається можливим врахувати різними нестатистичними методами. Наприклад, застосовується розкладання ряду на три компоненти: трендову, циклічну та випадкову. Під трендом розуміється складова ряду, яка змінюється на протязі довготермінового проміжку часу, що обумовлено впливом фундаментальних факторів. Циклічна компонента змінюється у часі з певним періодом відповідно

ходу повторюваних процесів. До випадкової компоненти відносяться усі останні складові, що не можуть бути віднесені до однієї з перших двох груп. Застосування такого розділення для сигналів технічного діагностування може не дати оптимальний результат через наступні фактори [15].

По-перше, компонента може бути доволі складною. Наприклад, її трендові характеристики можуть бути нелінійними і неполіноміальними, як передбачається у більшості методів виділення тренду. По-друге, в задачах технічного діагностування завжди присутній «білий шум», найменша похибка прогнозування якого дорівнює його дисперсії. Таким чином, ряд розбивається на три частини, хоча це розділення нечітке, циклічна компонента може стати трендом на 13 проміжках часу, що менше періоду, а тренд і циклічна компонента можуть перейти до категорії випадкової компоненти [9].

Вирішення задачі стаціонаризації сигналів технічної діагностики можливе, але у більшості випадках воно тягне за собою значну зміну самої структури сигналу. А оцінка технічного виробу за отриманим сигналом не може забезпечити необхідний рівень її якості. Для оцінки якості технічного виробу за сигналом діагностування, до нестационарного сигналу можуть бути застосовані метрики, які засновано на складових його внутрішньої структури, наприклад на основі його вейвлет-декомпозиції [9].

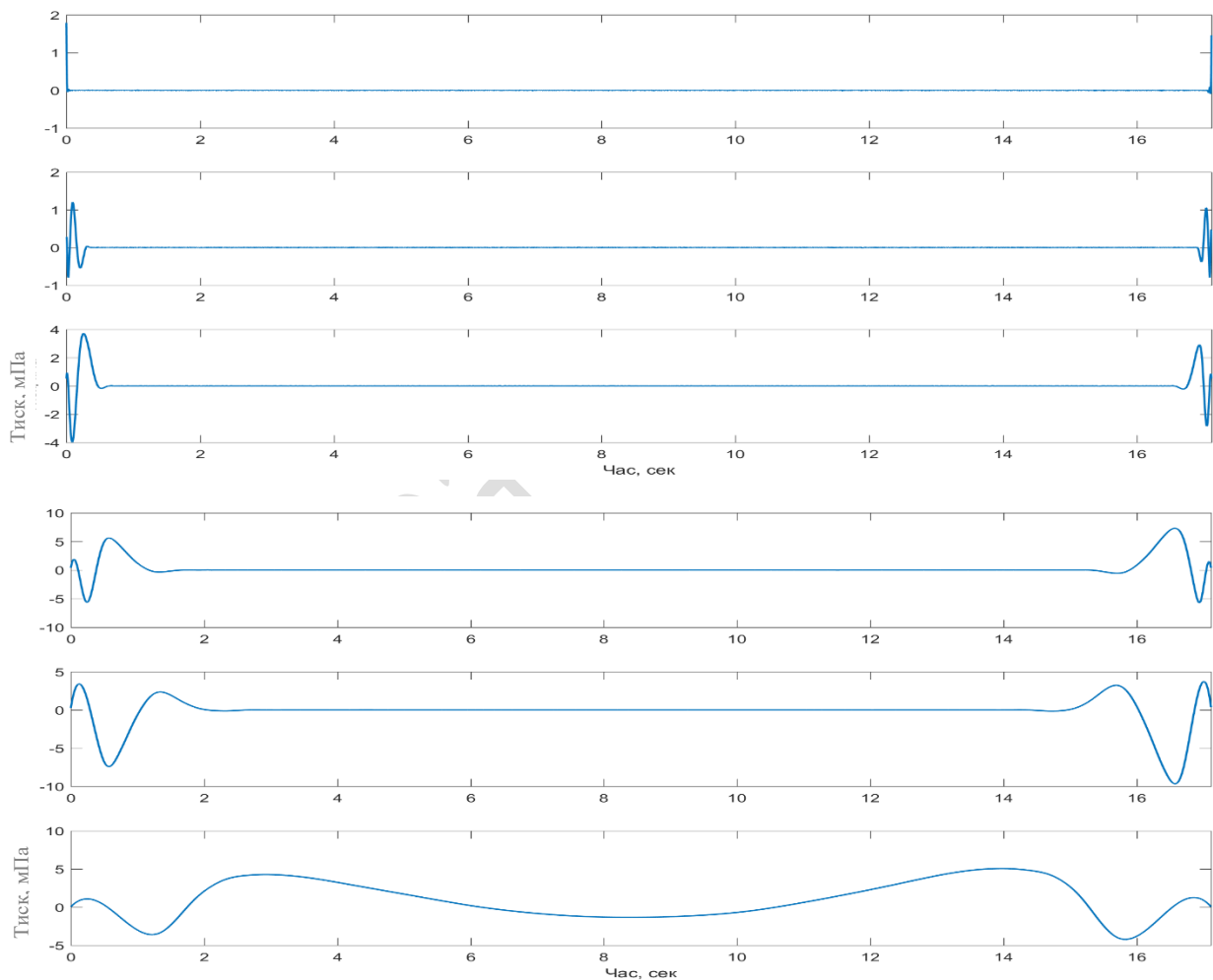
У випадку побудови прогнозуючих моделей, також немає необхідності здійснювати перетворення сигналу із втратою його початкової структури допоки він не стане стаціонарним. Проблеми які виникають з прогнозуванням нестационарних сигналів можна вирішувати застосуванням більш складних моделей та шляхом прогнозування на основі багатовимірних часових рядів, у яких прогноз буде будуватися не лише на попередніх значеннях ряду, а й на значеннях інших часових рядів, які можуть впливати на майбутні значення прогнозованого ряду [9].

Однак, перед переходом до застосування таких методик побудови прогнозуючих моделей необхідно впевнитися в тому, що були проведені усі можливі процедури для мінімізації нестационарності ряду, що не призводять до

суттєвої зміни його початкової структури. Для того, щоб перевірити реалізацію цього процесу застосуємо перетворення Гільберта-Хуанга [10].

3.5.2 Спектральна структура модових сигналів апостеріорного базису

Після проведення результатів з експериментальним сигналом на технічно складних об'єктах, використовуємо метод перетворення Гільберта-Хуанга [10] для розкладання експериментального сигналу на моди. Розкладання на моди приведено на рис. 3.26.



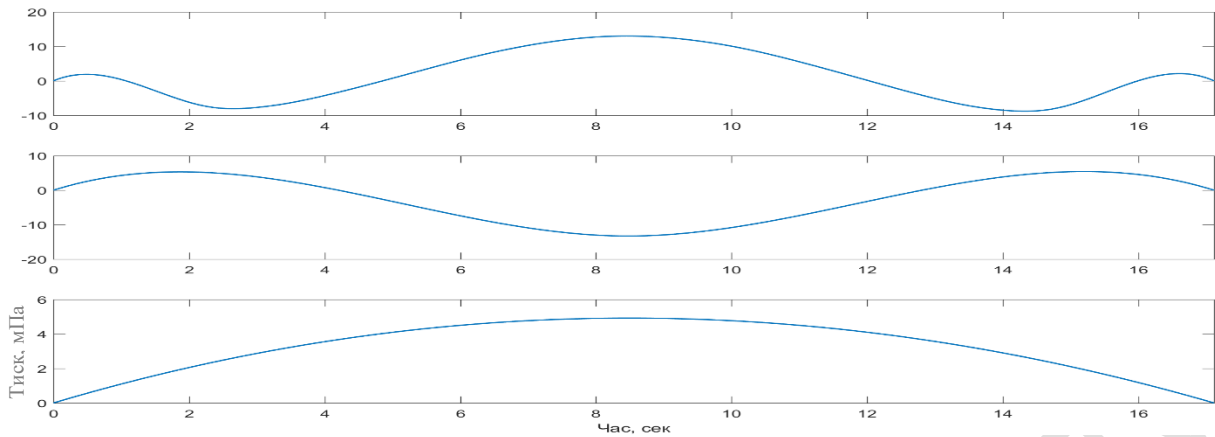
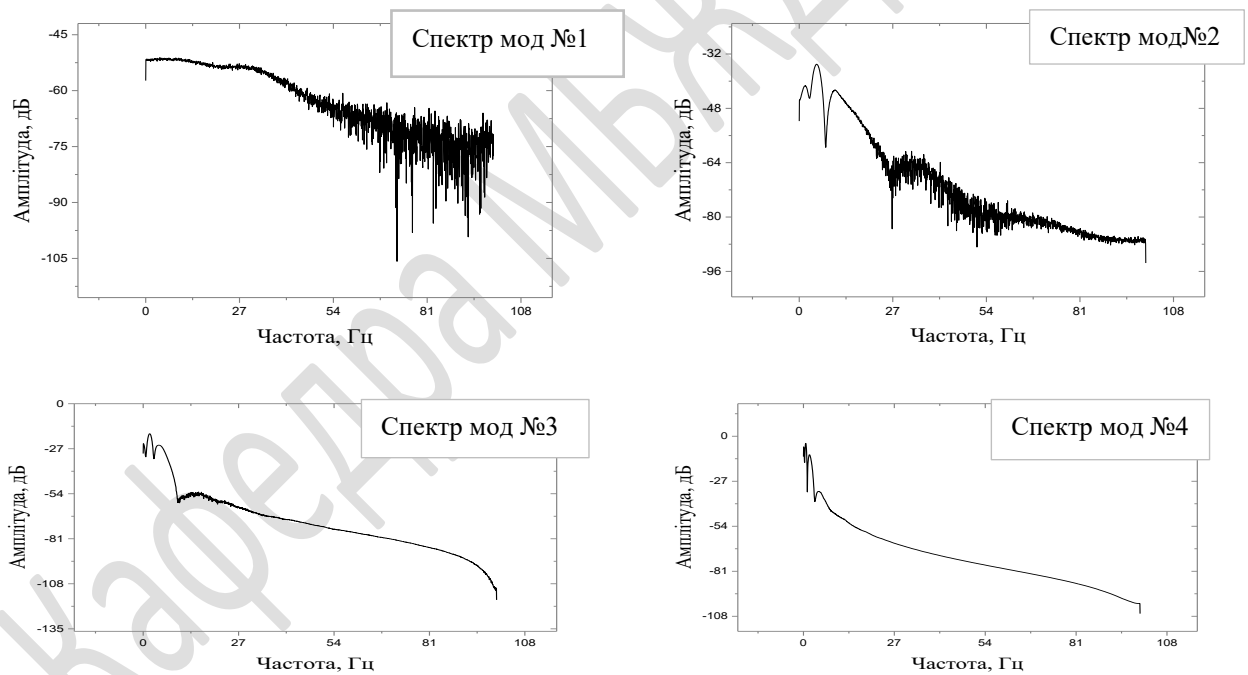


Рисунок 3.26 – Результати розкладання експериментального сигналу на моди Гільберта-Хуанга

На рис. 3.27 зображені моди, які були розкладені за допомогою методу Гільберта-Хуанга [10]. Бачимо, що з експериментального сигналу отримуємо 9 мод, з яких впливає декілька нестационарних сигналів.



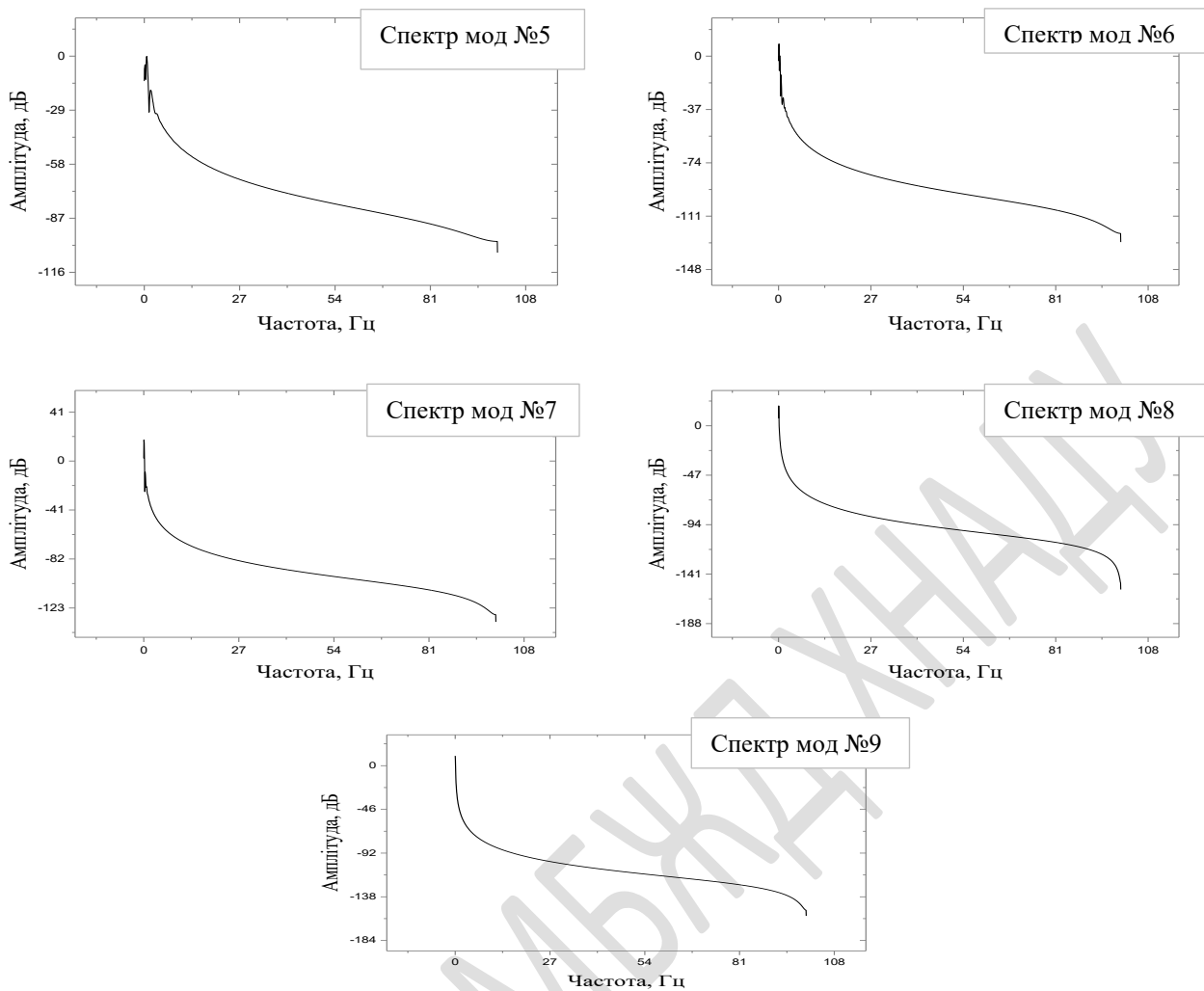


Рисунок 3.27 – Спектри мод Гільберта-Хуанга

3.5.3 Багатоканальна вимірювальна система концентрації шкідливих газів з усуненням нестационарності сигналу

Дослідження, які проведені в попередніх розділах, показали, що розкладання нестационарного процесу тиску на декілька стаціонарних процесів з використанням перетворення Гільберта-Хуанга дозволяє в багатьох випадках перейти до обробки тільки стаціонарних процесів. Це має важливе значення для практики і стосується самої вимірювальної системи [10].

Платою за спрощення обробки вимірювальних сигналів є перехід від одноканальної обробки нестационарного процесу тиску до багатоканальної обробки

реалізацій стаціонарних процесів тиску, які містяться в модах Гільберта-Хуанга. При цьому, однак, з'являється нова проблема - неможливість проведення обробки сигналів тиску в реальному часі, оскільки перед обробкою треба проводити обчислення мод Гільберта-Хуанга [10].

Для розв'язання такої проблеми можна скористатися спектральними характеристиками мод Гільберта-Хуанга, які для кожного випадкового процесу можуть відрізнятися, як показано на рис. 3.16, середня частина і ширина спектру більшості мод відрізняються між собою. Отже, на кожен моду можна побудувати фільтр, в якого середня частина і смуга пропускання можуть перестроюватися. Вхідний сигнал поступає на систему паралельних фільтрів, що настроюються на середню частину і ширину спектру кожної моди, і одночасно на блок перетворення Гільберта-Хуанга, з виходу якого знімаються моди Гільберта-Хуанга і порівнюються з модами на виході відповідних частотних фільтрів за визначеним критерієм (наприклад по середньому значенню, по відстані між сигналами функціональному просторі квадратичною, метричною тощо). Якщо сигнали відрізняються, то схема порівняння формує керуваний сигнал, що перестроює спектральні характеристики відповідних фільтрів. Кількість фільтрів дорівнює кількості мод Гільберта-Хуанга, а в окремих випадках може бути меншим, наприклад, коли середні частоти і ширина спектру окремих мод є близькими. В такому випадку вони можуть пройти через один і той же фільтр.

Структурна схема описаної вимірювальної системи тиску приведена на рис. 3.28.

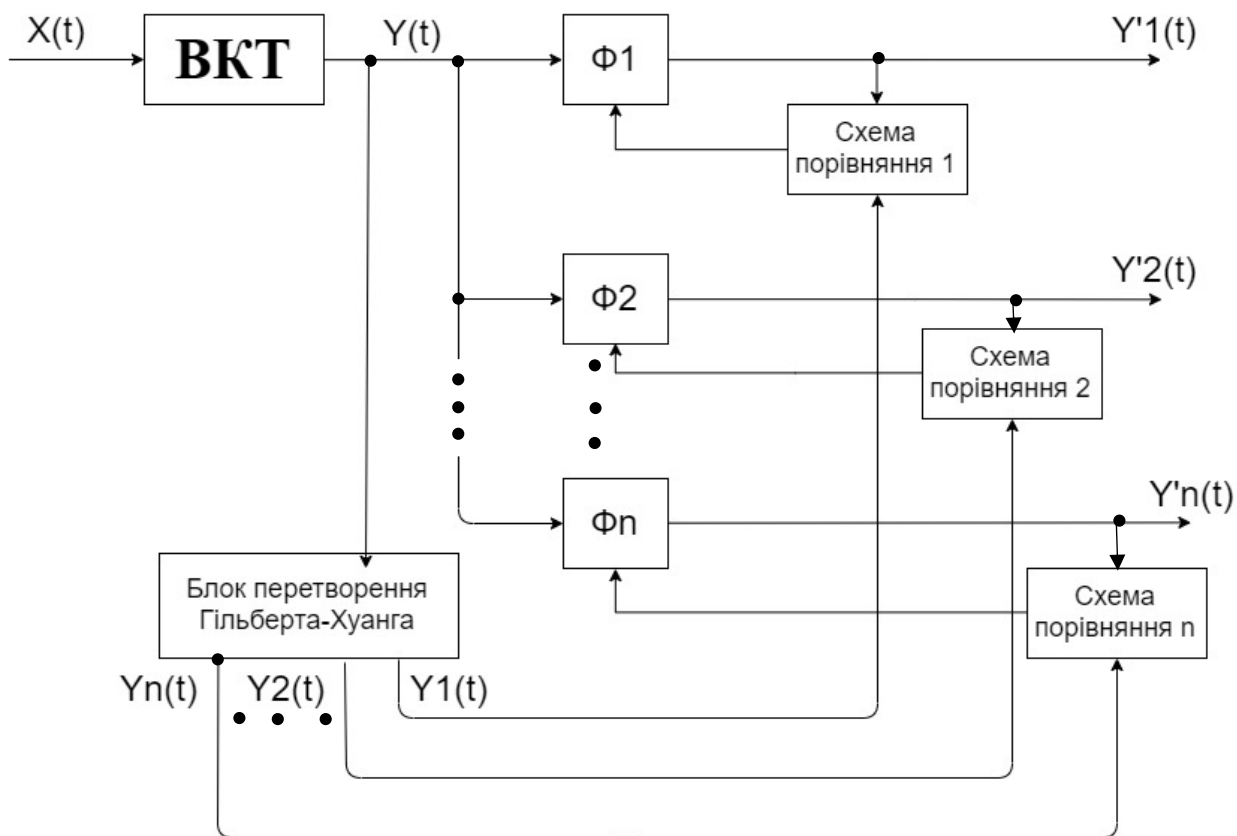


Рисунок 3.28 – Структурна схема оцінювання нестационарності випадкового процесу концентрації шкідливих газів (на схемі ВКТ треба замінити, наприклад, на ВІС, оскільки ВКТ - це вимірювальний канал тиску і не має ніякого відношення до дипломної роботи)

Пояснимо можливість роботи такої схеми в реальному часі.

В реальному часі працює багатоканальна частотна фільтрація нестационарного сигналу. Однак, через деякий час змінюються спектральні характеристики мод Гільберта-Хуанга і характеристики фільтрів не будуть узгоджені з ними. Тому, в процесі роботи системи періодично здійснюється перестроювання частотних характеристик фільтрів з урахуванням мод Гільберта-Хуанга, які створює блок перетворення Гільберта-Хуанга. При цьому вважаємо, що за час роботи цього блоку спектральні характеристики мод не змінюється значно, що в більшості випадків властиво для ВІС.

3.6 Висновки до третього розділу

Концентрація шкідливих газів на ТЕЦ часто описується нестационарним випадковим процесом, статистичний аналіз якого в інтересах прийняття рішення може бути складним і ненадійним. Існуючі методи аналізу нестационарних процесів мають багато недоліків.

В дипломній роботі запропоновано метод аналізу нестационарних сигналів на основі розкладання їх реалізацій на ортогональні моди Гільберта-Хуанга в адаптивному базисі. Більшість мод, як показало дослідження, є стаціонарними.

Технічні рішення щодо концентрації шкідливих газів можна приймати на основі стаціонарних реалізацій випадкового процесу. Це спрощує оброблення сигналів та похибки, що обумовлені нестационарністю.

4. СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УСУНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

Інтелектуальною інформаційно-вимірною системою (ІВС) в дипломній роботі є система, яка використовує інтелектуальні алгоритми для обробки вимірною інформації. Обґрунтуємо основні складові цієї системи. До них можна віднести: первинні вимірні пристрої; систему зберігання вимірною інформації (база даних); систему обробки сигналів; інтелектуальні алгоритми вимірювання; систему прийняття рішення [16].

Інтелектуальні засоби вимірювань класифікують за такими ознаками: 1) предметна область (інформаційно-вимірною техніка, медицина, авіація тощо); 2) моделі представлення даних (продукційні, фреймові та інші); 3) тип виведення (прямого або зворотного); 4) тип ЕОМ (малі, середні, великі) [16].

Цикл роботи ІВС складається з чотирьох етапів. На першому етапі ІВС сприймає вихідну інформацію про характер вимірною завдання, про об'єкти та умови вимірювань, пропонованих вимогах і накладених обмеженнях. Вид і характер вихідної інформації повинен забезпечувати можливість ідентифікації вимірною ситуації, яка визначається властивостями об'єкта вимірювань, умовами вимірювань, зазначених вимог і накладеними обмеженнями, і встановлення множині алгоритмів вимірювань, реалізація яких можлива на основі апаратних і програмних засобів, що входять до ІВС. На другому етапі циклу роботи ІВС виконуються ідентифікація ситуації і встановлення множині алгоритмів вимірювань. Третій етап циклу роботи ІВС полягає у виборі найкращого алгоритму вимірювань з числа можливих. Оскільки правило вибору цього алгоритму пов'язано з встановленням характеристик точності результатів вимірювань при використанні порівнюваних алгоритмів, вимірною знання повинні включати в себе усі відомості, необхідні для виконання відповідних процедур – розрахунків, імітаційного моделювання, метрологічних експериментів або їх комбінацій. Після вибору алгоритму вимірювань виконується заключний, четвертий етап роботи ІВС

– проведення необхідних вимірювань. Для реалізації описаного циклу роботи запропоновано включати до складу ІВС наступні основні частини (рис.4.1): виконавчу (ВЧ) – реалізує обрану вимірювальну процедуру; базу вимірювальних знань (БВЗ) – складається з баз знань і даних, що включають в себе всі необхідні відомості та оформлених у вигляді відповідних масивів, сукупностей залежностей, відображень і відносин, а також даних, що містить основні відомості про ІВС [3].



Рисунок 4.1 – Структура інтелектуального вимірювального засобу [3]

Такий рисунок можуть відхилити, оскільки він перенесений з книжки чи інтернету

Структура інтелектуального вимірювального засобу включає в себе необхідне програмне забезпечення для отримання вихідної інформації, використання знань, управління виконавчою частиною і видачі результатів вимірювань [3].

Таблиця 4.1 – Типові завдання, які вирішуються ІВС [3]

Тип завдання	Визначення (адресуються завдання)
Вимірювання (інтерпретація)	Процес визначення сутності параметрів (побудова описів по спостережуваних даними)
Діагностика	Процес виявлення несправностей (в техніці)
Стеження (моніторинг)	Безперервна інтерпретація даних в реальному масштабі часу і сигналізація про виходи параметрів за допустимі межі
Прогнозування	Передбачення майбутніх подій на базі моделей минулого і сьогодення (висновок ймовірних наслідків із ситуацій)
Планування	Конструювання плану, тобто програми дій
Проектування	Побудова специфікацій на створення об'єктів із заздалегідь визначеними характеристиками
Налагодження, ремонт	Вироблення рекомендацій щодо усунення несправностей
Навчання	Діагностика, інтерпретація, планування, проектування
Управління	Інтерпретація, прогноз, планування, моделювання, прийняття рішень, оптимізація вироблених рішень, моніторинг

Слід зазначити, що переважна кількість ПВС, використовуваних для вирішення практично значимих завдань, є інтегрованими. Комп'ютеризація вимірювань і стимульоване нею розвиток функціональних можливостей вимірювальних засобів привели до необхідності перегляду принципів організації їх роботи та створення ПВС [3].

4.1 Первинні вимірювальні пристрої ПВС

Первинні вимірювальні пристрої – це пристрої, які перетворюють фізичні величини в електричні сигнали. В дипломній роботі первинні вимірювання здійснюються з допомогою датчиків концентрації шкідливих газів або вимірювальною системою, що здійснює дистанційні вимірювання концентрації таких газів. Вихідні сигнали вимірювальних пристроїв передаються в систему обробки сигналів та на систему зберігання вимірювальної інформації [16].

4.2 Система зберігання вимірювальної інформації

Ця система являє собою базу даних, яка формується на протязі декількох років і містить вимірювальну інформацію, що описує часову поведінку концентрації шкідливих газів. Вона регулярно поповнюється поточними вимірюваннями. Особлива увага надається реєстрації різних аномалій, наприклад, викидів концентрації, а також реалізацій нестационарних випадкових процесів. Система зберігання вимірювальної інформації може бути доповнена блоком інтелектуального аналізу інформації на основі штучного інтелекту. Результатом цього аналізу може бути, наприклад, узагальнення випадків проявлення нестационарності концентрації шкідливих газів визначеного типу. Така інформація може бути корисною при створенні апріорних моделей концентрації, які для різних газів можуть відрізнятися. Крім того, вона є корисною при прийнятті рішень [16].

4.3 Система обробки сигналів в ПВС

Система обробки сигналів в ПВС складається з декількох блоків:

- блоку накопичення реалізацій концентрації шкідливих газів;
- блоку оцінки нестационарності;
- блоку розкладання реалізацій випадкового процесу на моди Гільберта-Хуанга [3].

Для оцінювання характеристик випадкових процесів спочатку записуються і накопичуються їх реалізації, кількість яких повинна задовольняти статистичним критеріям. Отримані реалізації використовуються для оцінки стаціонарності випадкових процесів, що описують концентрації різних газів, тобто кількість таких оцінок дорівнює кількості газів. Нестационарним вважають такий процес, в якого математичне очікування та дисперсія змінюється з часом і при цьому не виконуються умови стаціонарності. Процес є нестационарним, якщо змінюється з часом або математичне очікування, або дисперсія. Оскільки аналіз нестационарних процесів завжди є непростим, то можуть застосовуватися різні методи зведення нестационарного процесу до стаціонарного. В дипломній роботі вибрано метод розкладання реалізацій нестационарного процесу на ортогональні моди Гільберта-Хуанга [6].

4.4 Інтелектуальні алгоритми вимірювання

Оцінка стаціонарності випадкового процесу повинна здійснюватися на основі достовірних даних. Невизначеність вимірювання не повинна перевищувати заданого для кожного газу значення. Це враховують інтелектуальні алгоритми вимірювання, що ґрунтуються на реальних даних. Інтелектуальна система визначає кількість мод Гільберта-Хуанга в залежності від точності вимірювання концентрації шкідливих газів та складності реалізацій випадкових процесів. Вона також може вносити корективи в роботу первинних вимірювальних пристроїв ПВС, наприклад, змінювати дискретність вимірювань, періодичність тощо і навіть

змінювати вид вимірювальних пристроїв, якщо існує така можливість. Важливою функцією інтелектуального алгоритму є вибір методу визначення типу стаціонарності, якщо виникає необхідність перевірки достовірності методу Гільберта-Хуанга. Прийняття рішення щодо якості усунення нестационарності здійснюється окремою системою [16].

4.5 Система прийняття рішення

Система прийняття рішень – це система, яка приймає рішення на основі даних, що сформовані інтелектуальними алгоритмами. У даній роботі система прийняття рішення може використовуватися для оцінки достовірності отриманих результатів аналізу концентрації шкідливих газів. Кінцевою метою є прийняття рішення щодо зупинки роботи ТЕЦ чи переведення її в інший режим роботи. Найкращим варіантом є прийняття рішення про справність ТЕЦ, що не вимагає проведення змін в її роботі. Такі рішення приймаються на основі перевірки статистичних гіпотез, що передбачає використання законів розподілу концентрацій шкідливих газів. Закони розподілу створюються з використанням вибірок концентрацій газів, які зібрані в системі зберігання вимірювальної інформації, причому ці вибірки постійно оновлюються в процесі поточних вимірювань. У цій роботі рішення про справність ТЕЦ приймається на основі вибірок мод Гільберта-Хуанга, а не самих значень концентрації шкідливих газів. Викиди концентрації можуть бути виявленими в перших двох чи трьох модах [3].

4.6 Висновки до четвертого розділу

Система зберігання вимірювальної інформації регулярно поповнюється поточними вимірюваннями. Особлива увага надається реєстрації різних аномалій, наприклад, викидів концентрації, а також реалізацій нестационарних випадкових процесів. Система зберігання вимірювальної інформації може бути доповнена блоком інтелектуального аналізу інформації на основі штучного інтелекту [3].

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ТЕЦ

5.1. Правові та організаційні основи охорони праці на ТЕЦ

Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права кожного працівника на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Законодавство України про охорону праці – це система взаємопов'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у сфері соціального захисту громадян у процесі трудової діяльності [17].

Дипломна робота присвячена дослідженню моделі усунення нестаціонарності випадкових процесів концентрації шкідливих газів у ПВС на ТЕЦ. Тому питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розглядаються для умов роботи дослідника та працівника на ТЕЦ.

Розглянемо термін «надзвичайна ситуація» відповідно до чинного законодавства та умов праці на ТЕЦ. Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання (на ТЕЦ), яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що може призвести до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності у пункті 24 частини першої статті 2 Кодексу цивільного захисту України [18].

5.2 Аналіз умов праці та стану безпеки при функціонуванні інтелектуальної інформаційно-виміральної системи на ТЕЦ

Дана робота розроблялася на робочому місці, яке знаходиться на звичайній ТЕЦ та розглядалася відповідно до вимог надзвичайної ситуації при задимленні навколишнього середовища на об'єкті або території.

Охорона праці у сучасному часі вирішує два основних завдання.

Перше – інженерно-технічне, яке передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом: заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними, тобто переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання; проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці; розробки засобів індивідуального та колективного захисту [19].

Друге – соціальне, яке пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав [19].

Виходячи з поставлених перед нею завдань та дій, охорона праці, ґрунтується на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки [19].

Структурно напрям діяльності по охороні праці включає у себе такі дії: правові та організаційні основи охорони праці; фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію; виробничу безпеку; пожежну безпеку та профілактику на виробництві [19].

Розглянемо звичайну схему охорони праці та безпеки надзвичайної ситуації, що наведено на рис. 5.1 на якій показані відношення, щодо правових та організаційні основи охорони праці є тією правовою базою, яка забезпечує соціальний захист працівників, що працюють на ТЕЦ і на якій будуються санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складові охорони праці [19].



Рис. 5.1 – Структура існуючої системи охорони праці [19]

На схемі (рис. 5.1) показано правові відношення [19]:

Правові та організаційні основи охорони праці – це комплекс взаємопов’язаних законів та інших нормативно-правових актів, соціально-економічних та організаційних заходів, що спрямовані на правильну і безпечну організацію праці, забезпечення працюючих засобами захисту, компенсацію за важку роботу та роботу в шкідливих умовах, регламентацію відповідальності та відшкодування збитків у разі ушкодження здоров’я працівника або його смерті, навчання працівників безпечному веденню робіт [19].

Виробнича санітарія – комплекс організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів та засобів, спрямованих на запобігання або зменшення дії на працюючих шкідливих виробничих факторів. Виробнича безпека – комплекс організаційних та технічних заходів і засобів, спрямованих на запобігання або зменшення дії на працюючих небезпечних виробничих факторів. Пожежна безпека та профілактика на виробництві – комплекс заходів та засобів, спрямованих на запобігання запалювань, пожеж та вибухів у виробничому середовищі, а також на зменшення негативної дії небезпечних та шкідливих факторів, які утворюються в разі їх виникнення [19].

5.3 Інженерні рішення щодо поліпшення умов праці та стану безпеки на ТЕЦ

Оптимальні параметри мікроклімату встановлюються залежно від категорії робіт по фізичному навантаженню – середня та важка. Оптимальні параметри метеорологічних умов, згідно з ДСН 3.3.6-042-99, наведено у табл. 5.1 [20].

Забезпечення необхідних параметрів мікроклімату досягається у холодний період кондиціонуванням та системою опалення, а в теплий період лише системою кондиціонування, згідно з ДБН В.2.5.-67:2013 [21].

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри мікроклімату

Категорія робіт по вазі	Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Середнє та важке	Теплий	30...32	40...60	0,1...0,2
	Холодний	-22...-24	40...60	0,1

Розглянемо основні категорії, що входять до поняття шкідливі газу:

У якості забруднюючі речовини, що присутні у шкідливих газах розглядаємо наступні. Пил (тверді дрібнодисперсні частинки) [22]. Можна виділити 2 види пилу:

– світлий (зола) – це неорганічний (мінеральний) залишок вугілля, в основному дрібні частинки алюмосилікатів (домішки ґрунту у вугіллі). Шкідливий розміром своїх частинок (PM_{2,5} – PM₁₀): розвиток легеневих захворювань починається після накопичення пилу в альвеолах, в дрібних лімфатичних вузлах і по ходу лімфатичних судин, що поступово веде до порушення функції легенів і серця (дихання та кровообігу) – розвивається картина легеневого фіброзу, відомого як пневмоконіоз [22].

– темний пил (вугільний порошок, сажа). Крім небезпеки розміром своїх частинок, сажа є дуже канцерогенною через те що адсорбує токсичні/канцерогенні органічні сполуки, які утворюються під час неповного згоряння вугілля (формальдегід, бензол, бензопірен та інші поліциклічні ароматичні вуглеводні – ПАВ). Згідно з Директивою 2004/107/ЄС Україна взяла на себе зобов'язання вести

моніторинг цих речовин (ПАВ за вмістом бензопірену) в атмосферному повітрі [22].

Залишкова концентрація золи в димових газах не повинна перевищувати 30 мг/куб. м. Однак, на сьогодні на ТЕЦ існуючі «мокрі» системи очищення, які морально і фізично застаріли та характеризуються високим рівнем залишкової запиленості, що досягає 1200 мг/куб. м. Димові гази від пилу потрібно очищати. Для цього необхідно запропонувати систему інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі, яка розглядається у цій роботі [22].

Оксид сірки (SO_2) – один із найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90 % викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (решта – SO_3). Діоксид сірки окислює, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Найбільшу кількість сірки містять вугілля (<6%) та важкі види нафтопродуктів (мазут – до 3,5 %), в той час як природний газ практично не має її у своєму складі. Природний газ має значно менше домішків і його спалювання є більш екологічним порівняно зі спалюванням вугілля чи мазуту [22].

Оксиди азоту NO_x (NO_2 , NO , N_2O , N_2O_5) – шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту та руйнуванню озонового шару, викликають «вимирання лісів», спричиняють утворення смогу [22].

Кислотні оксиди сірки та азоту при зустрічі в повітрі з крапельками води у вигляді водяної пари з'єднуються з нею в кислоти, які випадають на землю у вигляді «кислотних дощів», тим самим, крім шкоди здоров'ю людей, спричиняють захворювання та вимирання флори, закислення ґрунтів, водоймищ. Системи очистки димових газів від оксидів сірки та азоту (МСДГ/НСД – мокре сіркоочищення/напівсуха десульфуризація від SO_2 та селективне некаталітичне/каталітичне відновлення для NO_x) на ТЕЦ не передбачені. Оскільки димові гази не очищаються від оксидів сірки (SO_2/ SO_3), їх концентрації у викидах ТЕЦ становлять 3000...8000 мг/куб. м при нормі ЄС – 200...400 мг/куб. м,

концентрації оксидів азоту NO_x сягають 1400 мг/куб. м і більше проти норми ЄС – 200...600 мг/куб. м (директиви 2001/80/ЕС та 2010/75/EU) [22].

Вуглекислий газ (CO_2) – утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, не є настільки токсичним, однак несе загрозу для екології планети в загальному, як парниковий газ (пришвидшує глобальне потепління, що спричиняє природні катаклізми, які вже досить відчутні також і в Україні). Також у результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю CO – токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини [22].

Оскільки жоден із енергоблоків ТЕЦ на Україні наразі не оснащений сучасними електричними фільтрами та системами інтелектуальними інформаційно-вимірювальній системами, викидаючи у повітря десятки тонн шкідливих речовин, зокрема дрібнодисперсного пилу та канцерогенної сажі у складі шкідливих газів, людям прийдеється фільтрувати димові гази своїми легенями... Поки на всіх енергоблоках не будуть встановлені електричні фільтри, ТЕЦ не має права спалювати вугілля та мазут у цих котлах [22].

Чи бути й надалі безвідповідальному забрудненню навколишнього середовища ТЕЦ – вирішувати мешканцям цих міст. Наразі, перед початком планованої діяльності, підприємство має пройти процедуру ОВД (оцінка впливу на довкілля) та встановити сучасні засоби контролю, яка передбачає оновлення сучасного обладнання Міністерством енергетики і захисту довкілля України [22].

5.4 Організаційні заходи щодо поліпшення умов праці та стану безпеки на ТЕЦ

Освітлення виробничих, службових і допоміжних приміщень регламентується ДБН В.2.5.-28-2018 [23]. Виконувана робота відноситься до III розряду зорової праці. Мінімальний розмір об'єктів від 0,3 до 0,5 мм, фон світлий, контраст великий, під розряд зорових робіт – «Г» Виконання робіт такого

розряду дозволяється згідно з [23] в світлий період доби тільки при суміщеному освітленні, в темний-штучному.

В табл. 5.2 наведені норми освітлення для даного розряду і точності зорових робіт. Штучне освітлення нормується мінімальною освітленістю E , що дорівнює 400 лк (табл. 5.2) і здійснюється світильниками АТ ССО-42/45 з лампою ЛД 42/45.

Таблиця 5.2 – Характеристики виробничого освітлення

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд, підрозряд зорових робіт	Характеристика типу фону	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Нормативне значення параметрів освітлення	
					Суміщене $D_{\text{мін}}$, сум %	Штучне (при системі комбінованого освітлення), лк
Високої точності	0,3...0,5	ШВ	Світлий	Великий	1,2	400

5.4.1 Шум та вібрація

Джерелом шуму на автоматизованому робочому місці може слугувати така техніка: телефон, принтер, факс, комп'ютер, кондиціонер. Рівень шуму відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [24] повинен перевищувати 50 дБ.

Заходи та засоби захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні. До засобів індивідуального захисту від шуму належать навушники, протишумові вкладки, шумопоглинальні шоломи [25].

Засоби колективного захисту від шуму поділяються за такими напрямками: зменшення шуму в самому джерелі; зменшення шуму на шляху його поширення; організаційно-технічні заходи; лікувально-профілактичні заходи. Засоби та заходи колективного захисту, що зменшують шум на шляху його поширення поділяються на архітектурно-планувальні та акустичні. Зменшення шуму в самому джерелі – найбільш радикальний засіб боротьби з шумом, що створюється устаткуванням [25].

5.4.2 Електромагнітні випромінювання

Повітря зовнішнього середовища повинно містити позитивні та негативні іони відповідно до табл. 5.3 [19].

Таблиця 5.3 – Рівень іонізації повітря при роботі на комп'ютері

Рівні	Кількість іонів в 1см ³ повітря	
	Позитивні	Негативні
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500...3000	3000...5000
Максимально припустимі	50000	50000

Параметри електромагнітних полів у діапазоні 1...12 кГц, 60...300 кГц по магнітній і електричній складовій повинні відповідати вимогам до ДСанПіН 3.3.2-007-98 [26]. Засоби індивідуального захисту від електромагнітних полів використовують лише у тих випадках, коли інші захисні заходи неможливо застосувати або вони недостатньо ефективні: при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, при ремонтних та налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Для захисту тіла використовується одяг із металізованих тканин та радіо-поглинаючих матеріалів. Металізована тканина складається з бавовняних чи капронових ниток, спіральне обвитих металевим дротом. Очі захищають спеціальними окулярами зі скла з нанесеною на внутрішній бік провідною плівкою двоокису олова. Гумова оправка окулярів має запресовану металеву сітку або обклеєна металізованою тканиною. Цими окулярами випромінювання НВЧ послаблюється на 20...30 дБ.

5.4.3 Електробезпека

Комплекс необхідних заходів щодо техніки безпеки визначається по захисту від ураження струму, виходячи з видів електроустановки, її номінальної напруги, умов середовища, типу приміщення й доступності електроустаткування. Так,

аудиторію, де встановлені комп'ютери відносять до приміщення з підвищеною небезпекою (навести умови підвищеної небезпеки) відповідно до ПУЕ-2017 [27], цим документом передбачені наступні міри електробезпеки:

Конструктивні заходи: персональний комп'ютер відноситься як електроустановка до 400 В закритого виконання, усі рубильники встановлені в закритих корпусах, усі струмоведучі частини розміщені в захисних коробках або покриті шаром ізоляції, який виключає можливість дотику до них. Комп'ютер має робочу ізоляцію і елементи заземлення [28].

Експлуатаційні заходи: при роботі на комп'ютері необхідно дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з електричною напругою, не підключати і не відключати кабелі при включеній напрузі мережі, технічне обслуговування і ремонт проводити тільки при вимкненому живленні [28].

Як схемно-конструктивний захід безпеки застосовують в електричних мережах із глухо заземленим нейтральним провідником занулення – навмисне з'єднання металевих не струмоведучих частин комп'ютера з нейтральним провідником [28].

5.4.4 Пожежна безпека

Відповідно до вимог [29] приміщення, де виконують магістерську роботу відносять до категорії В.

У цьому випадку згідно з вимогами ДБН [23] пожежна безпека забезпечується: системою запобігання пожежі; системою пожежного захисту та організаційними заходами щодо пожежної безпеки.

Системою запобігання пожеж передбачено запобігання утворенню горючого середовища, та запобігання утворення у горючому середовищі джерел запалювання. Для зменшення небезпеки утворення у пожежонебезпечному середовищі джерел запалювання передбачено: використання устаткування, що відповідає класу пожежобезпечної зони П-ІІа ступінь захисту електроапаратури повинна бути не менш ІР-44, ступінь захисту світильників ІР-23, відповідно до [29].

Системою пожежного захисту передбачено блискавко-захист будинків, споруд і устаткування класу пожежонебезпеки, П-Па і місцевості із середньою грозовою діяльністю 20 і більше грозових годин у рік, а для умов міста Харкова встановлена III категорія блискавко захисту відповідно до [29]; застосування заземлення захисного екрану для стоку статичної електроенергії; використання для гасіння пожежі вуглекислого вогнегасника-2. Організаційними заходами протипожежної профілактики є: навчання виробничого персоналу протипожежним правилам; видання необхідних інструкцій, плакатів, плану евакуації персоналу у випадку пожежі.

5.5 Висновки до п'ятого розділу

Виконання Україною взятих на себе міжнародних зобов'язань зі скорочення викидів, прийняття адміністративних рішень щодо нормування, контролю, планування, ведення державного обліку потребують достовірної інформації про викиди забруднюючих речовин (шкідливих газів) в атмосферне повітря.

Найважливішого значення при цьому набувають документи суб'єктів господарювання, у нашому випадку ТЕЦ, у сфері охорони атмосферного повітря: звіт по проведенню інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря; документи, у яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин; дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Інформація, що міститься в даних матеріалах є також надзвичайно важливою для визначення сум податкових зобов'язань підприємства. Дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря – це офіційний документ, який дає право здійснювати викиди певної кількості забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами за одиницю часу протягом визначеного в дозволі терміну. На кількість компонентів, що входять до складу шкідливих газів можуть суттєво впливати системи очищення, а саме компоненти контролю, що пропонуються у даній роботі, тому необхідно втілити до систем захисту запропоновані інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи.

Дотримання приведених у цьому розділі нормативних параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів та застосування колективних і індивідуальних заходів та засобів захисту від них дозволяє забезпечити безпечні умови роботи на ТЕЦ.

ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи були проаналізовані проблеми обробки нестационарних сигналів у вимірювальних системах на технічно складних об'єктах. Методи перетворення Фур'є та вейвлет-аналізу є неефективними в таких випадках. Показано, що для зазначених вимірювальних систем доцільно застосовувати апостеріорний базис розкладання реалізацій нестационарних процесів тиску, який реалізований у вигляді ортогональних мод Гільберта-Хуанга. Виявилось також, що ці моди у більшості випадків є стаціонарними, тобто в роботі показано, що можна розкласти нестационарні процеси на суму стаціонарних і позбавитись від проблем, пов'язаних з обробкою таких сигналів.

Платою за таке спрощення є перехід від одноканальної вимірювальної системи тиску до багатоканальної. Оскільки для обробки нестационарних сигналів з використанням перетворення Гільберта-Хуанга потрібний час, що коливається в межах від десятків секунд до десятків хвилин в залежності від тривалості вибірки сигналу та складності останнього, в дипломній роботі запропонована схема обробки нестационарних сигналів в реальному масштабі часу. Для цього кожний канал містить частотний фільтр, що настроєний на середню частоту та ширину спектра відповідної моди. Оскільки з часом відбувається змінювання характеристик мод, то фільтр перестроюється згідно з керованим сигналом, який вироблюється схемою перетворення Гільберта-Хуанга, що постійно реалізовує це перетворення. При цьому враховується, що за десяток хвилин спектральні характеристики мод змінюються в невеликих межах, що виконується на практиці вимірювання параметрів нестационарних процесів тиску [10].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теплоелектроцентрально : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Теплоелектроцентрально>.
2. Випадкові процеси: редагування та фільтрація : навч. посіб. : [електрон. ресурс] / О. П. Приставка, П. О. Приставка, Т. Г. Ємел'яненко, О. М. Мацуга ; Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара. – Режим доступу : http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/b14de5194b1b2557410b11675e52082bPristavka-O.P.,-Pristavka-P.O.,-YEmel_yanenko-T.G.,-Macuga-O.M.-Vipadkovi-procesi.pdf.
3. Проблема інтелектуального вимірювання. Вимірювальні датчики в інтелектуальних засобах вимірювання : лекція 1 : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : <file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Лекція%201.pdf>.
4. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення: вид. офіц. : [електрон. ресурс]. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 68 с. – Режим доступу : https://dtp.lg.ua/Dokumentacija_%20i_%20oformlenie/DSTU_2681-94_metrologiya_terminy_i_opredeleniya.pdf.
5. Інформаційно-вимірювальна система : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/Інформаційно-вимірювальна_система.
6. Калюжна В. В., Мержиєвська Д. Ю., Павлишин М. М. Інформаційно-вимірювальна система експрес-аналізу стану ґрунтів / В.В. Калюжна, Д. Ю. Мержиєвська, М. М. Павлишин ; Київ. політехн ін-т ім. Ігоря Сікорського : [електрон. ресурс] // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні : Матеріали XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 10–11 груд. 2019 р., м. Київ. – Режим доступу : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31911/1/EIRP-2019_Proceedings-Page457-460.pdf.
7. Бочарніков В. П. Частотно-часовий аналіз сигналів на основі функцій поведінки і арифметичних рядів. Ч. 1. Аналіз підходів, опис методу : [електрон. ресурс] / В. П. Бочарніков ; Нац. ун-т оборони України ім. Івана Черняхівського. Центр воєнно-стратег. дослідж., м. Київ. – Режим доступу : file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/168736-Текст_%20статті-372135-1-10-20190528.pdf.

8. Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних: навч. посіб. : [електрон. ресурс] / В. І. Дубровін, Ю. В. Твердохліб, В. В. Харченко ; Запоріж. нац. техн. ун-т. – Запоріжжя : Вид-во ЗНТУ, 2013. – 105 с. – Режим доступу : http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/2927/1/Dubrovin_Computer_methods.pdf.

9. Горбатий І. Дослідження точності теоретичних методів визначення спектрів сигналів при здійсненні низькочастотної модуляції : [електрон. ресурс] / І. Горбатий ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів, 2015. – С. 87-94. – Режим доступу : <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/9cfa1d1f-1d5f-4411-808e-be985600026b/content>.

10. Лебединський А. В. Застосування перетворення Гільберта-Хуанга в ІТ технологіях / А. В. Лебединський // Комп'ютерні технології і мехатроніка : зб. наук. пр. за матеріалами II Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 28 трав. 2020 р.: [електрон. ресурс] / Харк. нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Харків, ХНАДУ, 2020. – С. 114-117. – Режим доступу : [file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Збірник%20КТМ2020%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Збірник%20КТМ2020%20(2).pdf).

11. Волошко А. В. Щодо застосування вейвлет-перетворення для визначення та оцінки показників якості електричної енергії : [електрон. ресурс] / А. В. Волошко, А. Л. Харчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 1. – С. 30-35. – Режим доступу : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/10430/1/5_Voloshko_A_Application_of_wavelet.pdf.

12. Корнієнко В. І. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів у системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій: підручник : [електрон. ресурс] / В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна ; за заг. ред. В. І. Корнієнка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 536 с. – Режим доступу : <file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/CD1317.pdf>.

13. Гуліч Є. Д. Алгоритми цифрової обробки радіолокаційних сигналів на основі ортогональних поліномів : магістер. дис. на здоб. ступ. магістра за освіт.-проф. прогн. «Радіотехн. комп'ютеризов. системи» зі спец. 172 «Телекомунікації та радіотехніка» : [електрон. ресурс] / Є. Д. Гуліч ; Нац. техн. ун-т України «Київ.

політехн. ін-т ім. І. Сікорського». – Київ, 2021. – 68 с. – Режим доступу : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49503/1/Gulich_magistr.pdf.

14. Лагун І. І. загальна класифікація сигналів та їх опрацювання / І. І. Лагун, Р. А. Наконечний: [електрон. ресурс] / Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 22. – С. 71-75. – Режим доступу : <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/1985/1/3092p.pdf>.

15. Новицький І. В. Випадкові процеси : навч. посіб. : [електрон. ресурс] / І. В. Новицький, С. А. Ус ; Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ: Вид-во Нац. гірн. ун-ту, 2011. – 125 с. – Режим доступу : [https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Random_processes\(Novitskiy_Us_NMU_SAU\).pdf](https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Random_processes(Novitskiy_Us_NMU_SAU).pdf).

16. Структура інформаційної системи : самостійне заняття № 1 : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : http://ck.vk.mnau.edu.ua/ck/portfolio_Macovey/Метод_ІКТ/Сам_роб/сам_роб1.htm.

17. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ в ред. 01.10.2023 : [електрон. ресурс] // Відом. Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – ст. 668. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

18. Кодекс Законів про цивільний захист : [електрон. ресурс] : від 02.10.2012 № 5403-VI // Відом. Верховної Ради України. – 2013. – № 34-35. – ст. 458. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.

19. Лекція 2. Основні поняття та визначення теорії надійності. Частина 2. Відмови, збої та ушкодження в технічних об'єктах: [електрон. ресурс]. – Режим доступу : <file:///C:/Users/Toshiba/Desktop/Диплом/Лекція%202%20надійність.pdf>.

20. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: затв. постановою від 01.12.1999 № 42 / М-во охорони здоров'я України : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=14283.

21. ДБН В.2.5-67:2013. Державні будівельні норми. Опалення, вентиляція кондиціонування : затв. 25.01.2013 № 24 : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154.

22. Глухий В. Калуцька ТЕЦ: димові гази – без очищення, замість газу – вугілля та мазут : [електрон. ресурс] / Віктор Глухий. – Режим доступу : <https://vikna.if.ua/blog/author/2218/111117/view>.

23. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення : держ. будів. норми : вид. офіц. : діє з 01.03 2019: [електрон. ресурс]. – Київ : Мінрегіон України, 2018.– 133 с. – Режим доступу : https://ledeffect.com.ua/images/___branding/dbn2018.pdf

24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : держ. саніт. норми : вид. офіц. : [електрон. ресурс]. – Київ, 1999. – 34 с. – Режим доступу : <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf>.

25. Розрахунки з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності : навч.-метод. посіб. для студ. усіх спец. та усіх форм навчання / за ред. В. В. Березуцького; НТУ «ХП». – Харків : Вид-во НТУ «ХП», 2005. – 77 с.

26. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин : затв. постановою від 10.12.1998 № 7 / М-во охорони здоров'я України : [електрон. ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>.

27. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. : діє від 21.07.2017 № 476 : [електрон. ресурс] / Міненерговугілля України. – Харків : Вид-во «Форт», 2017.– 760 с. – Режим доступу : <https://enext.ua/upload/books/pueh-ukraina-2017.pdf>.

28. Лекція 3. Розділ 2. Охорона праці. Тема 2. 1. Вступ. Правові та організаційні основи охорони праці : [електрон. ресурс] / Київ. політехн. ін-т ім. І. Сикорського. – Режим доступу : <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder21.pdf>.

29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : вид. офіц. : діє з 01.01 2017: [електрон. ресурс]. – Київ : Мінрегіон України, 2016.– 31 с. – Режим доступу : <http://uk.tovlk.com.ua/vyznachennya-kategoriynosty-prymischennya/>.