

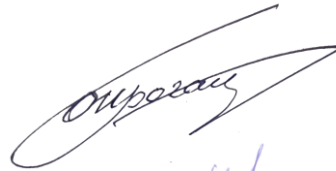
Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Механічний факультет  
Кафедра метрології та БЖД

## ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

### НОРМУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОМІРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ЇХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Завідувач кафедри, к.т. н., доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, к.т.н.



М. В. Москаленко

Керівник, д.т.н, проф.



О. В. Полярус

Студент, гр. ММ-61 -21

Е. І. Гулієв

Харків-2022

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет механічний Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
 Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна  
техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
 Зав. кафедри метрології та БЖД  
професор О. І. Богатов  
 « 4 » жовтня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломну роботу магістра**  
**Гулієву Ельдару Ігбаловичу**

1. Тема роботи: «Нормування метрологічних вимог до вимірювання параметрів багатомірних випадкових процесів для їх візуалізації».

Керівник роботи: Полярус Олександр Васильович д.т.н, професор.

затвержені наказом по університету від " 4 " жовтня 2022р. № 102 .

2. Термін здачі студентом закінченої роботи « 30 » листопада 2022 г.

3. Вхідні дані до роботи: 1) Типові вимірювальні системи багатомірних випадкових процесів

2) Експериментальні результати вимірювання концентрації шкідливих газів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):

1.Вступ 2.Аналіз наявних вимірювальних систем багатомірних випадкових процесів

3. Аналіз методів візуалізації багатомірних випадкових процесів 4. Сутність методу

візуалізації, що ґрунтується на зменшенні розмірності багатомірного процесу 5. Результати

візуалізації багатомірного випадкового процесу 6. Обґрунтування метрологічних вимог до

вимірювання параметрів процесів 7. Висновки 8.Список використаних

джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): плакати (слайди)

1) Ілюстрації вимірювальних систем для багатомірних випадкових процесів (слайди)

2) Графіки результатів оброблення експериментів (слайди)

3) Ілюстрації нового методу візуалізації багатомірного випадкового процесу (слайди)

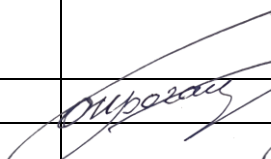
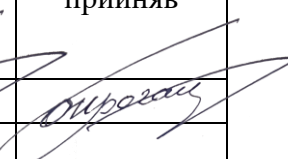
4) Результати візуалізації параметрів багатомірних випадкових процесів (слайди)

5) Рекомендації щодо нормування метрологічних вимог до вимірювання параметрів

багатомірних процесів (слайди)

6) Висновки

6. Консультанти по роботі, з зазначенням розділів роботи, які до них відносяться:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5	Богатов О.І.		

7. Дата видачі завдання « 13» вересня 2022 р.

Завдання  
прийняв до  
виконання

Керівник




О. В. Полярус

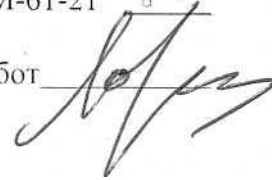


Е. І. Гулієв

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2022	виконано
2	Аналіз наявних вимірювальних систем багатомірних випадкових процесів	30.09.2022	виконано
	Аналіз методів візуалізації багатомірних випадкових процесів	20.10.2022	виконано
4	Сутність нового методу візуалізації багатомірних випадкових процесів	30.10.2022	виконано
5	Результати візуалізації багатомірних випадкових процесів	10.11.2022	виконано
6	Рекомендації з нормування метрологічних вимог до вимірювання параметрів багатомірних випадкових процесів	15.11.2022	виконано
7	Формулювання висновків	20.11.2022	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2022	виконано
9	Створення презентації на Power Point	5.12.2022	виконано
10	Відправка роботи на рецензію	7.12.2022	виконано

Студент гр. ММ-61-21 

Керівник работ 

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 84 с., 50 рис., 7 табл., 2 додаток, 37 джерел.

БАГАТОМІРНІ ВИПАДКОВІ ПРОЦЕСИ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ,  
КОНЦЕНТРАЦІЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ, МЕТРОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,  
ОРТОГОНАЛЬНІ ПОЛІНОМИ.

Об'єкт дослідження — багатомірні випадкові процеси концентрації шкідливих газів на теплоелектроцентралі, що отримані вимірювальною інформаційною системою.

Мета роботи — розробка методу візуалізації багатомірних випадкових процесів, що отримані вимірювальними інформаційними системами, та формування вимог щодо точності вимірювання параметрів реалізацій цих процесів.

Методи дослідження — методи обробки багатомірних даних, методи аналізу результатів вимірювань у функціональному просторі, методи візуалізації реалізацій випадкових процесів.

Предмет дослідження — нормування метрологічних вимог до вимірювання параметрів багатомірних випадкових процесів для їх візуалізації.

В магістерській дипломній роботі проведені дослідження нового методу візуалізації багатомірних випадкових процесів на прикладі п'ятимірного випадкового процесу концентрації шкідливих газів, реалізації якого отримані вимірювальною інформаційною системою.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	5
Вступ.....	7
1 Аналіз наявних вимірювальних систем багатомірних випадкових процесів .....	8
1.1 Статистичний аналіз випадкових процесів.....	8
1.2 Система аналізу багатомірних випадкових процесів ТЕЦ.....	9
1.3 Технічне обслуговування за умовами.....	9
1.4 Моніторинг стану .....	10
1.5 Методи вимірювання моніторингу стану.....	14
1.6 Моделювання системи вимірювання концентрації газу.....	14
1.7 Виявлення шкідливих газів.....	16
1.8 Принцип ультразвукового виявлення.....	17
1.9 Висновки першого розділу.....	17
2 Аналіз методів візуалізації багатомірних випадкових процесів.....	18
2.1 Метод пружних мап.....	18
2.2 Побудова пружних мап.....	20
2.3 Приклад побудови пружних мап.....	21
2.4 Метод куба OLAP.....	27
2.5 Основні особливості багатовимірної бази даних.....	28
2.6 Висновки до другого розділу.....	31
3 Метод візуалізації даних, що ґрунтується на зменшенні розмірності багатомірного процесу.....	32
3.1 Опис експериментальних даних.....	32
3.2 Сутність методу узагальненої візуалізації багатомірних процесів.....	38
3.3 Результати візуалізації випадкових процесів, що описують концентрації шкідливих газів.....	44
3.4 Висновки по третьому розділу .....	55

4 Обґрунтування метрологічних вимог до вимірювання концентрації шкідливих газів на ТЕЦ.....	56
4.1 Загальні підходи до дослідження.....	56
4.2 Аналіз характеристичних зображень опорних моделей.....	57
4.3 Метрологічні вимоги до точності вимірювань концентрації шкідливих газів.....	73
4.4 Висновки по четвертому розділу.....	83
5 Охорона праці під час проведення досліджень на ТЕЦ.....	84
Висновки.....	85
Перелік посилань.....	86
Додаток А Дані з програми Maple.....	90
Додаток В Ілюстраційний матеріал до дипломної роботи.....	90

## ВСТУП

Мабуть, кожна людина сьогодні чула такий термін як «Big Data». Проте всі люди знають, що таке слово «дані», бо чути його повсюди, наприклад, «особисті дані» (паспорт, ідентифікаційний код тощо). Сьогодні, все наше життя – це набір даних. То що таке Big Data? Термін Big Data відноситься до наборів даних, розмір яких перевершує можливості типових баз даних із зберігання, управління та аналізу інформації. Підприємців та науковців хвилюють питання якісної інтерпретації даних, розробки інструментів для роботи з ними та розвитку технологій зберігання. Цьому сприяє впровадження та активне використання хмарних моделей зберігання та обчислень. За останні три роки людство виробило інформації більше, ніж за всю історію свого існування до 2008 року. І зростання продовжується експоненційно. В даний час більшість постачальників інформаційних технологій для організацій у своїх ділових стратегіях використовують поняття «великі дані», а основні аналітики ринку інформаційних технологій присвячують концепції виділених досліджень.

Для метролога робота з великими масивами даних не є проблемою, а навпаки – це перевага професії. Розуміючи важливість якісної та швидкої обробки даних, постає логічне питання знаходження ефективного та економічно вигідного методу їх обробки. А якщо додати до всього цього, той факт, що дані, з якими потрібно працювати, можуть бути випадковими процесами, то питання стає ще актуальнішим. Тому метою даної дипломної роботи є розробка методу візуалізації багатомірних випадкових процесів, що отримані вимірювальними інформаційними системами, та формування вимог щодо точності вимірювання параметрів реалізацій цих процесів.

# 1 АНАЛІЗ НАЯВНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ БАГАТОМІРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

## 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 практиків важливим фактором аналізу багатомірних випадкових процесів є узагальнена візуалізація даних. Метод візуалізації багатомірних випадкових процесів розглянемо на прикладі експериментальних даних, що отримані на теплоелектроцентралі (ТЕЦ).



## 1.2 Система аналізу багатомірних випадкових процесів ТЕЦ

Технічне обслуговування ТЕЦ традиційно організовується відповідно до стратегій коригувального та профілактичного обслуговування, які мають свої обмеження і можуть призвести до високих витрат через низьку готовність та неефективне проведення технічного обслуговування. Останнє вже застосовується в багатьох критичних компонентах сучасних електростанцій. Розширення моніторингу стану та більш ефективних практик технічного обслуговування на більш широкій спектр обладнання є бажаним, але вимагає передових методів моніторингу стану, які можуть виявляти зміни в параметрах процесу, що вказують на несправності. Ці методи включають різні математичні моделі, які можна класифікувати як фізичні, керовані даними та гібридні моделі. В [1] представлені теоретичні основи різних підходів до моделювання в програмах моніторингу стану. Далі розглянемо один з підходів.

## 1.3 Технічне обслуговування за умовами

У технічному обслуговуванні за умовами (ТОУ) здійснюється моніторинг справності компонентів і виконуються дії з прогнозованого технічного обслуговування, щоб запобігти несправностям до їх виникнення. ТОУ вважається вдосконаленою стратегією обслуговування, яка поєднує в собі переваги інших стратегій. Основна перевага ТОУ полягає в тому, що обладнання можна підтримувати в робочому стані з мінімальним обслуговуванням. Це означає, що можливе краще планування ремонту та потрібне скорочення запасних запасів, уникнення незручних поломок і дорогого непрямого збитку, а також зменшення кількості відмов і непотрібної роботи. 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) % [37].

Типова діяльність попередньо визначених профілактичних завдань представлена на рисунку 1.1 [1]. ТОУ вимагає моніторингу стану, щоб бути ефективним. Методи вимірювання, які використовуються для моніторингу стану, можуть варіюватися від вимірювання людиною до складних приладів, спрямованих на виявлення поточного стану або навіть прогнозування майбутнього стану контрольованого компонента. Основні проблеми ТОУ пов'язані із завданням моніторингу стану. Необхідне обладнання та система обробки даних можуть бути дорогими, а точне технічне обслуговування може бути важко досягнути через складність системи та механізмів її відмови. [1]

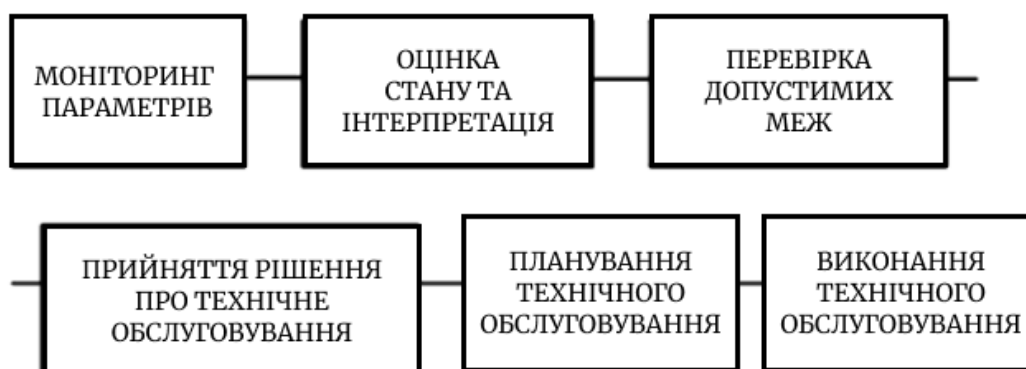


Рисунок 1.1. Блок-схема дій завдання з прогнозованого технічного обслуговування

#### 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. Узагальнену структуру моніторингу стану

показано на рисунку 1.2, де кожна коробка представляє один пристрій. Перший ящик 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 недоліків у структурі чи процесі. У пристрої прийняття рішень вибрані функції інтерпретуються для отримання діагнозу стану [1].

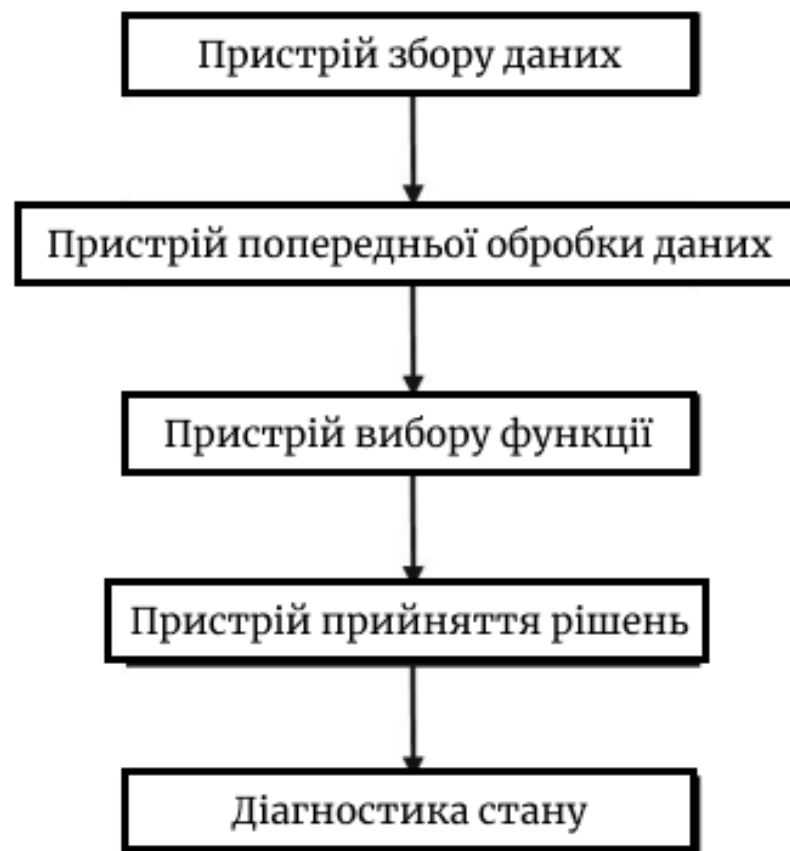


Рисунок 1.2. Структура моніторингу стану

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 синдроми для визначення характеру несправностей і відмов відповідно до вимог ISO 13372 [3]. Діагностика складається з ізоляції несправності, яка є завданням виявлення несправного компонента, та ідентифікацію несправності, яка є завданням визначення характеру та тяжкості несправності. Визначення діагнозу різняться в літературі. 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).

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:

$$RUL = T - |t|, fT > t, Y(t),$$

(1.1)

де  $T_f$  позначає випадкову величину для часу до відмови,  
 $t$  є поточним проміжком часу,  
 $Y(t)$  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.

Етапи моніторингу для підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування представлено на рисунку 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 є якомога раніше виявити розвиток несправності та допомогти людині прийняти рішення.

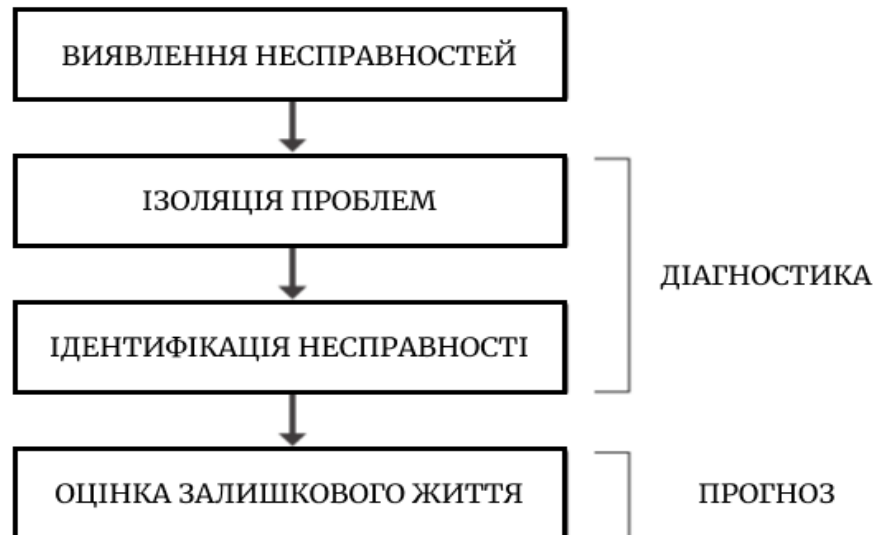


Рисунок 1.3. Етапи моніторингу стану для підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування

### 1.5 Методи вимірювання моніторингу стану

Для моніторингу стану було застосовано кілька методів вимірювання, спрямованих на надання інформації про фактичний стан контрольованого компонента 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.

## 1.6 Моделювання системи вимірювання концентрації газу

Непряма калориметрія – це обчислення витрат енергії шляхом вимірювання споживання кисню ( $\text{VO}_2$ ) і виробництва вуглекислого газу ( $\text{VCO}_2$ ) [2]. Однак складність і вартість непрямих калориметрів зробили реалізацію цієї ідеї технічно складною [3],[4]. Найбільш складною частиною, можливо, є динамічне вимірювання концентрацій  $\text{O}_2$  і  $\text{CO}_2$  з бажаним рівнем точності. Більшість комерційно доступних непрямих калориметрів використовують камери змішування [6] для збору газів, що закінчилися. 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. 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 під час тренувань на основі аналізу видихуваного повітря. Для аналізу подиху динамічні характеристики, такі як часові затримки та час, постійні й 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 рисунку 1.4 дається короткий опис експериментальної установки.

## ОПИС ДОСЛІДУ

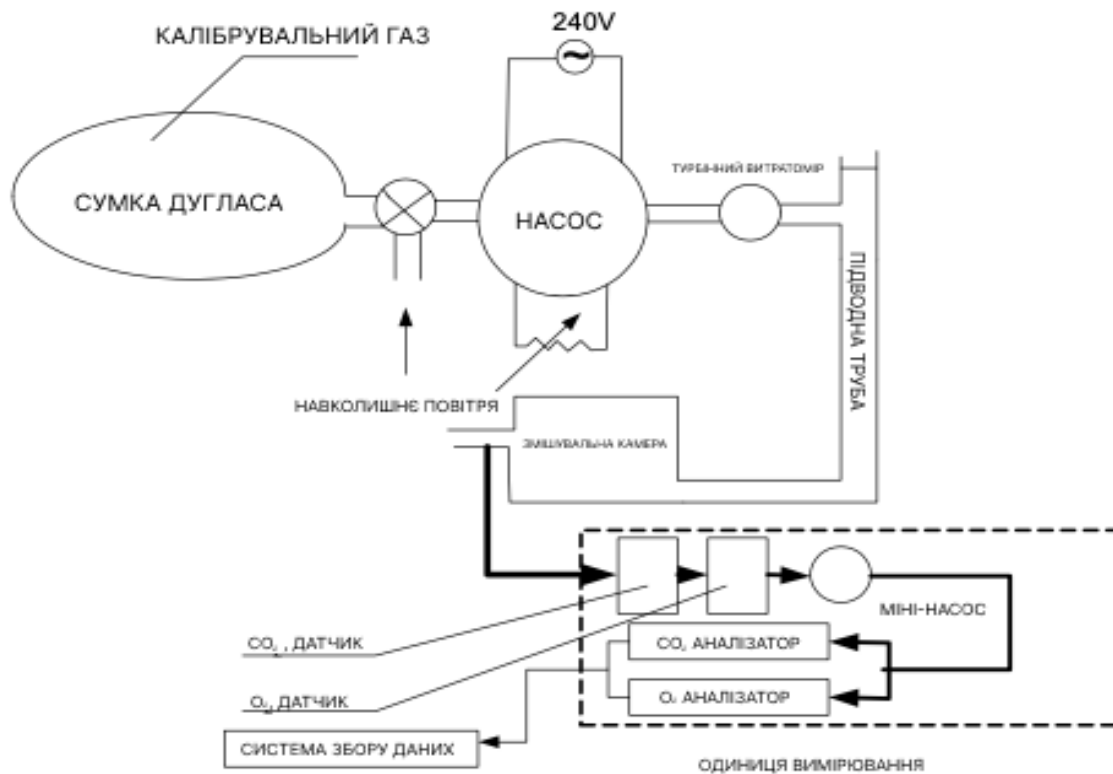


Рисунок 1.4 - Блок-схема опис експериментальної установки

Експериментальні установки описані на рисунку 1.4. Система вимірювання концентрації складається з наступних частин: трубок подачі, камери змішування, датчиків CO<sub>2</sub> та O<sub>2</sub> та аналізаторів CO<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>.

Спочатку мішок Дугласа заповнюється калібрувальним газом 16,00 % O<sub>2</sub> і 4,00 % CO<sub>2</sub>, 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.



## 1.7 Виявлення шкідливих газів

Прилади виявлення газу широко застосовуються в промисловому та сільськогосподарському виробництві, моніторингу якості навколишнього середовища, національній обороні, аерокосмічній галузі та інші сфери. Інфрачервоний прилад виявлення газу є одним із сучасних детекторів газу. Технологія інфрачервоного виявлення газу є свого роду прямим контактом моніторингу в режимі реального часу. Технології виявлення газу з високою вибірковістю, стабільною продуктивністю, високою чутливістю, великим динамічним діапазоном, перевагами обладнання та перевагами тривалого терміну 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. Серед них широка смуга, найпростіша структура недисперсного інфрачервоного датчика газу, стабільна продуктивність, швидка, висока точність, підходить для легких і портативних пристроїв, має величезну комерційну цінність [4]. Інфрачервоний пристрій виявлення газу в процесі проектування, використання забезпечить точність вимірювання, слід враховувати, що для регулярного або нерегулярного калібрування приладу потрібно компенсувати похибку вимірювання, спричинену зміною температури.

## 1.8 Принцип ультразвукового виявлення

Концентрацію газу в методі ультразвукового тестування можна розділити на два види: одноканального виявлення та багатоканального виявлення. Техніка ультразвукового тестування підходить для визначення концентрації газу в бінарних газових сумішах і навіть для багаторазового виявлення слідів одного газового складу в змішаних газах [3]. Для подвійного

газу в експериментальних умовах атмосферного тиску можна використовувати модель ідеального газу для його аналізу. Розробка програмного забезпечення системи виявлення концентрації газу, включаючи програму ініціалізації програми підтримки захисту ППЗ є головною особливістю методу.

### 1.9 Висновки першого розділу.

Експерименти доводять, що система вимірювання концентрації газу, заснована 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 виявлення концентрації газу, має високу точність вимірювання, метод простий і може бути використаний для виявлення водню та інших газів, але все ще має прив'язку до особливої технічної бази, що є основним недоліком.

Технічне обслуговування електростанції традиційно організовується відповідно до стратегій коригувального та профілактичного обслуговування, які мають свої обмеження, які можуть призвести до високих витрат через низьку доступність і неефективне проведення технічного обслуговування. Звідси виникає чітка потреба в альтернативному методі, який буде базуватися на ефективних та економічно доступних засобах. Для цього далі розглянемо основні методи візуалізації багатомірних випадкових процесів.

## 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ БАГАТОМІРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

### 2.1 Метод пружних мап

Метод обробки та аналізу багатомірних даних – метод пружних мап [1] здійснює візуальний аналіз багатовимірних наборів даних. Пружні мапи використовуються як методи відображення вихідних точок даних у вкладені різноманіття меншої розмірності для подальшого аналізу кластерних структур у вихідному обсязі даних. Зменшуючи параметри пружності, можна проектувати поверхню мапи, яка набагато краще апроксимує багатовимірний набір даних. Точки об'єму даних, що досліджується, проектуються на мапу. Розгортання мапи на площину разом із відображенням у простір перших головних компонент дозволяє отримати уявлення про кластерну структуру багатовимірного набору даних. Побудова пружних мап не вимагає апріорної інформації про дані і не залежить від характеру даних, походження даних тощо, що є важливою перевагою цього методу.

Найчастіше аналіз багатовимірних даних супроводжується їх класифікацією. При цьому може вирішуватися як завдання поділу досліджуваної сукупності явищ на класи і віднесення однієї чи кількох явищ до вже існуючих класів. Для вирішення таких завдань використовуються методи кластерного аналізу. Різноманітність алгоритмів кластерного аналізу обумовлено безліччю різних критеріїв, що виражають ті чи інші аспекти якості автоматичного групування. При вирішенні завдань класифікації дуже корисними є підходи візуальної аналітики, що є синтезом кількох алгоритмів зниження розмірності та візуального представлення багатовимірних даних у вкладених у вихідний обсяг різноманіттях меншої розмірності. До таких алгоритмів можна віднести відображення вихідного багатовимірного об'єму у пружних мапах (Elastic Maps) з різними властивостями пружності чи еластичності. Ці методи дозволяють виділити з вихідного багатовимірного

обсягу даних кластерну структуру, що міститься в ньому. Авторами підходу [1] розроблено програмний комплекс ViDaExpert, що дозволяє проводити побудову та візуальне подання пружних мап. Обчислювальна технологія реалізована як єдиний технологічний ланцюжок алгоритмів виробництва, обробки, візуалізації та аналізу багатовимірних даних. Схема реалізації подібного узагальненого обчислювального експерименту представлена на рисунку 2.1. Подібний узагальнений обчислювальний експеримент неявно передбачає наявність математичної моделі, чисельного методу її вирішення і набір експериментальних результатів для верифікації. У процесі обчислень необхідно реалізувати організацію постійного порівняння з експериментальними даними. Набір методів повинен включати рішення зворотних і оптимізаційних завдань. Будучи реалізованими за допомогою описаних раніше паралельних інтерфейсів, ці методи дозволяють розв'язувати задачі параметричного дослідження та оптимізаційного аналізу багатовимірних обсягів даних.

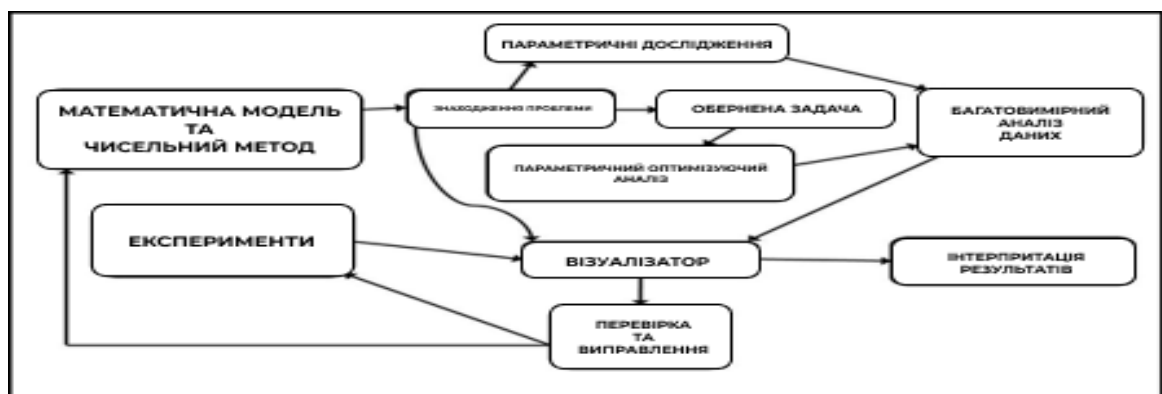


Рисунок 2.1 - Схема організації узагальненого обчислювального експерименту

Для обробки цих обсягів і виявлення прихованих взаємозалежностей між параметрами необхідно інтегрувати в загальний набір алгоритмів методи аналізу багатовимірних даних та їх візуального подання. У результаті подібний узагальнений обчислювальний експеримент дозволить отримувати

рішення не однієї, окремо взятої задачі, а рішення для цілого класу завдань. Також слід відзначити універсальність такого узагальненого обчислювального експерименту для широкого кола задач математичного моделювання нестационарних процесів. Опис елементів реалізованої обчислювальної технології наведено у роботі [1]. На практиці пружні мапи виявилися корисним та досить універсальним інструментом, що дозволило застосовувати їх до багатовимірних обсягів даних різного типу.

## 2.2 Побудова пружних мап

Ідеологія та алгоритми реалізації побудови пружних мап детально представлені в роботах [1,3]. Подібна мапа є системою пружних пружин, вкладену в багатовимірний простір даних. Цей підхід ґрунтується на аналогії із завданнями механіки: головне різноманіття, що проходить через «середину» даних, може бути представлене як пружна мембрана. Метод пружних мап формулюється як оптимізаційна задача, яка передбачає оптимізацію заданого функціоналу від взаємного розташування мапи та даних. Основою для побудови пружної мапи є двовимірна прямокутна сітка  $G$ , вкладена в багатовимірний простір, яка апроксимує дані і має регульовані властивості пружності по відношенню до розтягування та вигину. Розташування вузлів сітки шукається в результаті розв'язання оптимізаційного завдання на знаходження мінімуму функціоналу:

$$D = \frac{D_1}{|X|} + \lambda \frac{D_2}{m} + \mu \frac{D_3}{m} \Rightarrow \min \quad (2.1)$$

де  $|X|$  - число точок у багатовимірному обсязі даних  $X$ ;

$m$  - число вузлів сітки,

$\lambda$ ,  $\mu$  - коефіцієнти пружності, що відповідають за розтягування та випуклість сітки відповідно;

D1, D2, D3 - складові, відповідальні за властивості сітки, де  
D1 є мірою близькості розташування вузлів сітки до даних,  
D2 представляє міру розтягнутості сітки, а  
D3 є мірою випуклості (кривизни) сітки.

Варіювання параметрів пружності полягає у побудові пружних мап з послідовним зменшенням коефіцієнтів пружності, внаслідок чого мапа стає більш м'якою та гнучкою, оптимально підлаштовуючись до точок вихідного багатовимірного обсягу даних. Після побудови пружну мапу можна розгорнути в площину для спостереження кластерної структури в обсязі даних, що вивчається. Застосування пружних мап дозволяє більш точно і чітко визначати кластерну структуру багатовимірних обсягів даних, що вивчаються. Слід зазначити, що при побудові пружних мап у багатовимірній хмарі даних, що складається зі згущень та окремих віддалених точок, виникає проблема масштабованості. Для вирішення цієї проблеми використовується підхід, що названий «квазі-зум» (quasi-Zoom) і полягає у вирізанні області згущення з хмари багатовимірних даних і побудови для вирізаної області пружної мапи заново.

### 2.3 Приклади побудови пружних мап

Розглянемо приклад побудови пружних мап для обсягу багатовимірних даних, що являють собою опис характеристик корисних копалин. Розглядаються багатовимірні дані, що є точками в багатовимірному просторі ознак (характеристик зразків вугілля). Простір ознак складається з таких характеристик зразків вугілля – щільність, маса, питома теплота згоряння, зольність, вміст сірки, вміст летких компонентів, вміст вологи. Таким чином, ми маємо набір точок у 7-мірному просторі, що відповідають різним зразкам вугілля. У наборі даних відображено три сорти вугілля. Розглядається візуальний аналіз за допомогою застосування пружних мап та головних компонентів з метою вивчення кластеризації багатовимірної хмари даних та

поділу сортів вугілля. Тут і далі побудова і візуальне представлення пружних мап реалізовано за допомогою програмного комплексу ViDaExpert. Для вихідного об'єму будується «м'яка» пружна мапа, що відображається у просторі, утвореному першими трьома головними компонентами. Червоні, зелені та сині крапки відповідають трьом типам вугілля (рисунок 2.2).

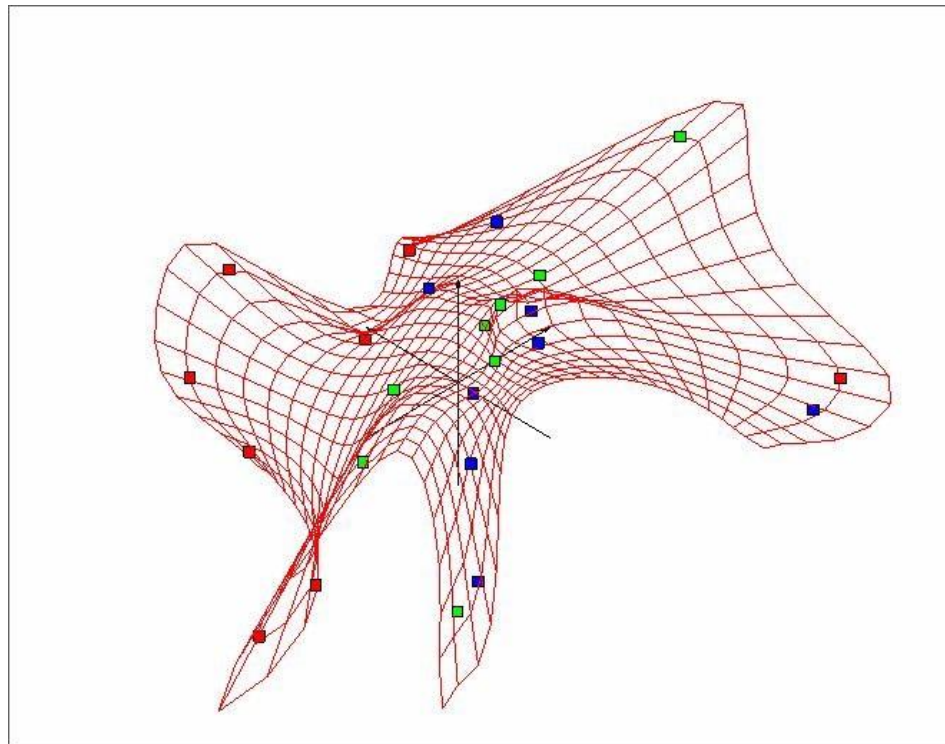


Рисунок 2.2 - Приклад побудови «м'якої» пружної мапи

Розгортка побудованої мапи (рисунок 2.3) на площину, що утворена двома першими головними компонентами.

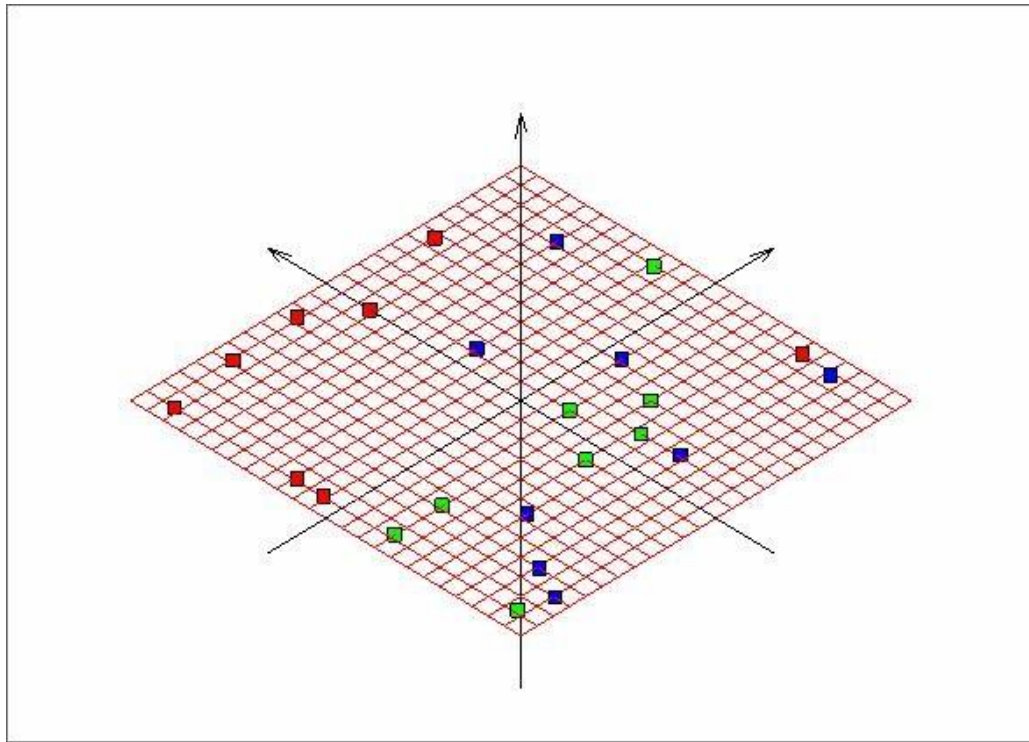


Рисунок. 2.3 - Розгорнення "м'якої" пружної мапи, що приведена на  
рисунку 1.2

На рисунку 2.3 червоні точки утворюють кластер, а зелені та сині точки перемішані.

Спробуємо провести фільтрацію даних, тобто усунути всі точки, дані по яких представлені нечітким або неповним чином

Видалення подібних точок вихідного обсягу призводить до наступних результатів (рисунок 2.4).

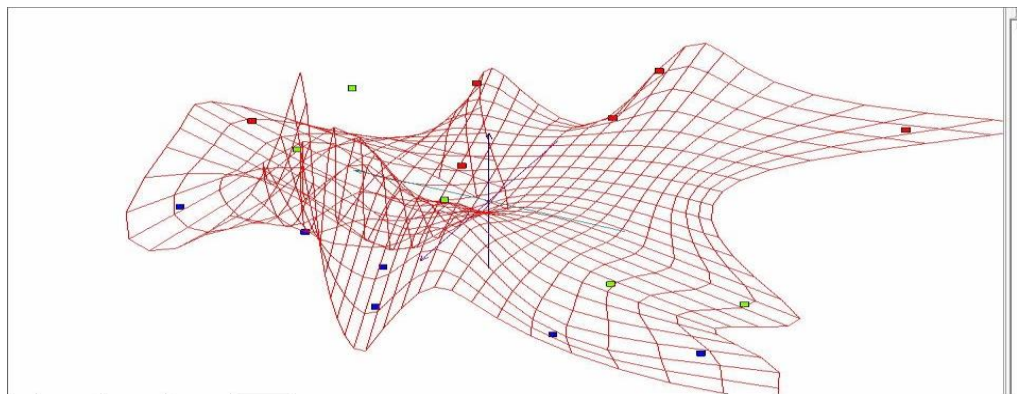


Рисунок. 2.4 - Побудова «м'якої» пружної мапи після фільтрації даних.



На рисунку 2.4 представлена "м'яка" пружна мапа для зміненого обсягу даних, а на рисунку 2.5 - розгортка цієї пружної мапи

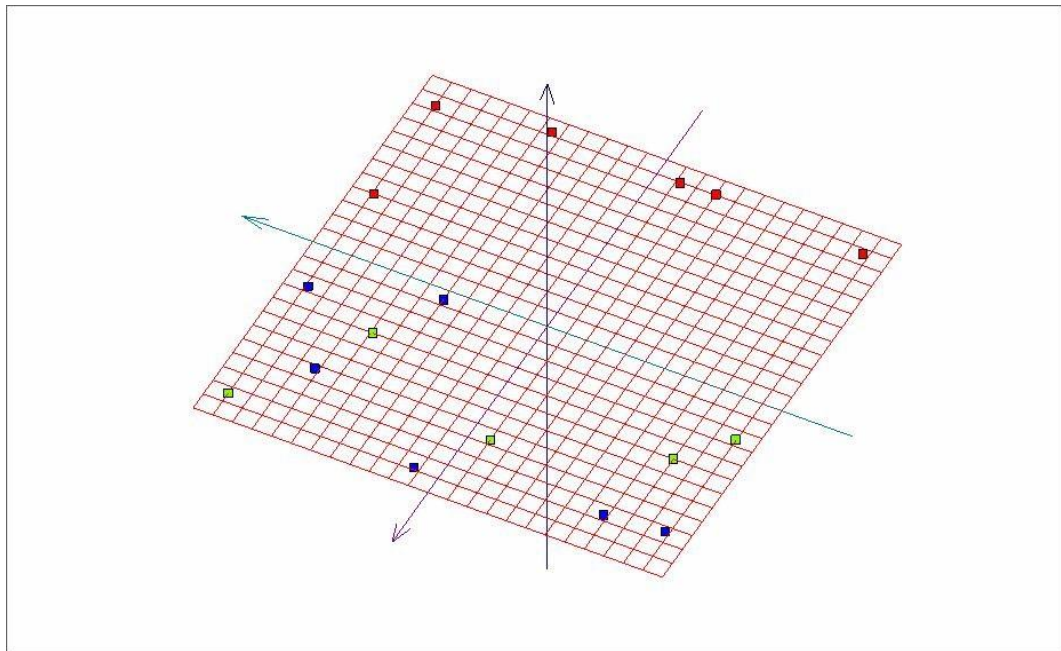


Рисунок 2.5 - Розгортка «м'якої» пружної мапи після фільтрації даних

Сорт вугілля, представлений точками червоного кольору, повністю відокремився після процедури видалення вихідного обсягу даних точок з нечітко визначеними координатами в 7-мірному просторі. Сорти, що представлені синіми та зеленими точками, залишилися змішаними. Спробуємо Після проведення процедури видалення точок даних отримуємо наступну картину (рисунок 2.6).

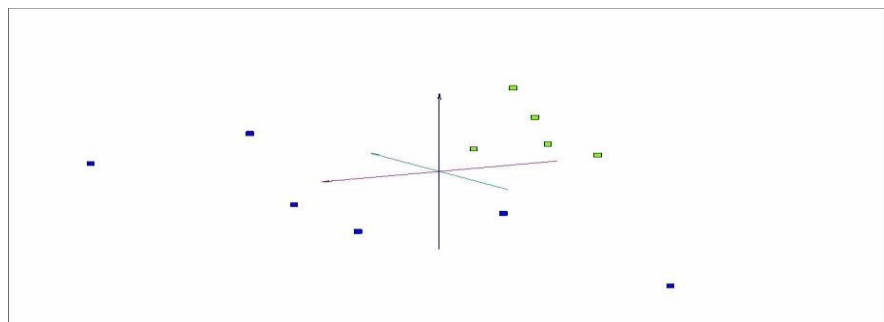


Рисунок 2.6 - Точки, що залишилися в просторі трьох перших головних компонентів після повного видалення відокремленого класу

Тепер для чіткого поділу двох сортів, що залишилися, достатньо відобразити точки нового обсягу даних у просторі трьох перших головних компонент (рисунк 2.6). Отже, комбінуючи побудову пружних мап, відображення на вкладені у вихідний простір головні 2D і 3D різноманіття та операції видалення нечітких точок і класів, що відокремилися (фільтрація і флотація даних), можна повністю провести поділ заданих у вихідному обсязі зразків на три класи, відповідні трьом сортам вугілля.

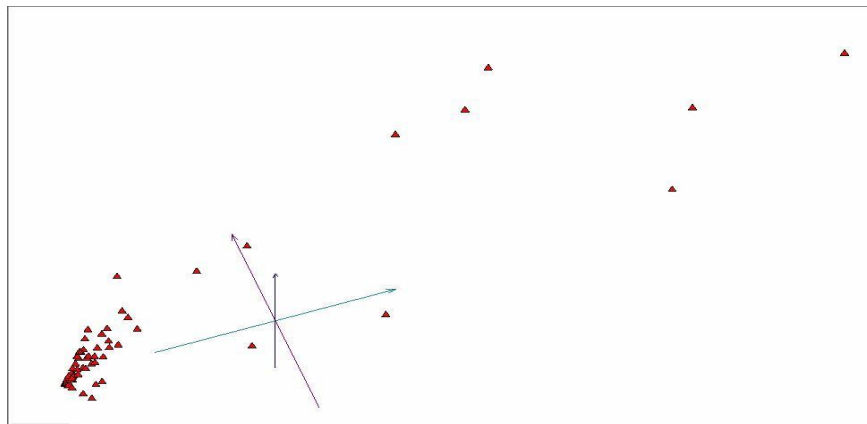


Рисунок 2.7 - Подання багатовимірного обсягу у просторі основних компонентів

Тут видно, що обсяг даних, що вивчається, містить область високої щільності даних і точки, що досить далеко віддалені від цієї області.

На рисунку 2.8 представлена розгортка "м'якої" пружної мапи для даного обсягу.

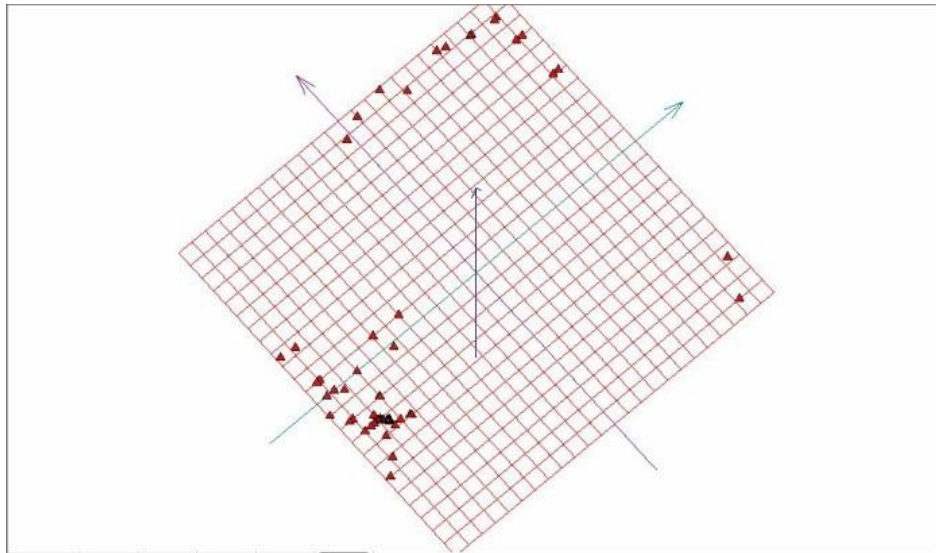


Рисунок 2.8 - Побудова розгортки «м'якої» пружної мапи на площину перших двох основних компонентів.

З рисунків 2.7, 2.8 випливає, що обсяг даних, що вивчається, містить область високої щільності даних і точки, досить далеко віддалені від цієї області. Саме в таких випадках виникає проблема масштабованості, описана раніше.

Важливим завданням є з'ясування впливу вибору метрики. Застосування технологій побудови пружних мап на вирішення завдань кластерного аналізу не передбачає використання апріорної інформації про досліджувані дані. Це дає можливість застосовувати їх до аналізу даних різного типу незалежно від природи їх походження. Подібне абстрагування методу від типу та походження даних робить підхід побудови пружних мап, що використовується, достатньо універсальним інструментом аналізу багатовимірних обсягів даних.

#### 2.4 Метод куба OLAP

Розглянемо наступний метод оцінки можливості аналізу багатовимірних баз даних, зокрема багатовимірних кубів OLAP (On-Line Analytical Processing) під час аналізу великих обсягів даних. Надано огляд та особливості

багатовимірної бази даних, обговорюються дії, які необхідно виконати з багатовимірними базами даних для розуміння структури та можливостей куба OLAP. Багатомірний аналіз даних використовується в наборі програмних інструментів для ухвалення управлінських рішень. Він враховує знання, що виникають під час управління процесами у конкретній системі й у результаті обробки інформації. Прийняття правильного рішення вимагає спрощення структури та використання великої кількості інформації. Використання OLAP-кубів для аналізу та візуалізації великих даних є ефективним.

Багатомірна база даних здатна обробляти дуже великі обсяги даних із нескінченним числом полів. Дані подаються як упорядкований масив, що дуже ефективно, оскільки пошук даних виконується з допомогою невеликих блоків. У багатовимірній базі дані представлені у вигляді числових параметрів, які допомагають прийняти правильне рішення в результаті аналізу даних.

## 2.5 Основні особливості багатовимірної бази даних

Існують три основні особливості багатовимірної бази даних:

1. На основі даних, зібраних з різних джерел, база даних проглядається та об'єднується для аналізу.

2. Нова інформація знаходиться шляхом розбивки вибірок та пошуку взаємозв'язків.

3. Система OLAP відокремлює знання великих обсягів даних [2].

Багатомірна база даних є багатовимірним кубом даних. Структура простих електронних таблиць не змінюється, на відміну від таблиць будь-якого розміру та ієрархії, представлених у вигляді багатовимірних кубів. Декілька кубів утворюють багатовимірну базу даних, а осередки куба є вимірними значеннями [5]. Багатомірні OLAP-куби допомагають розрізняти різні комбінації даних та аналізувати дані, доступні у вигляді блоку даних і які отримуються на запит [3]. Вони також дозволяє додавати та



внутрішній куб, що містить всі інші вимірювання. Операція обертання полягає у зміні напрямку осей куба.

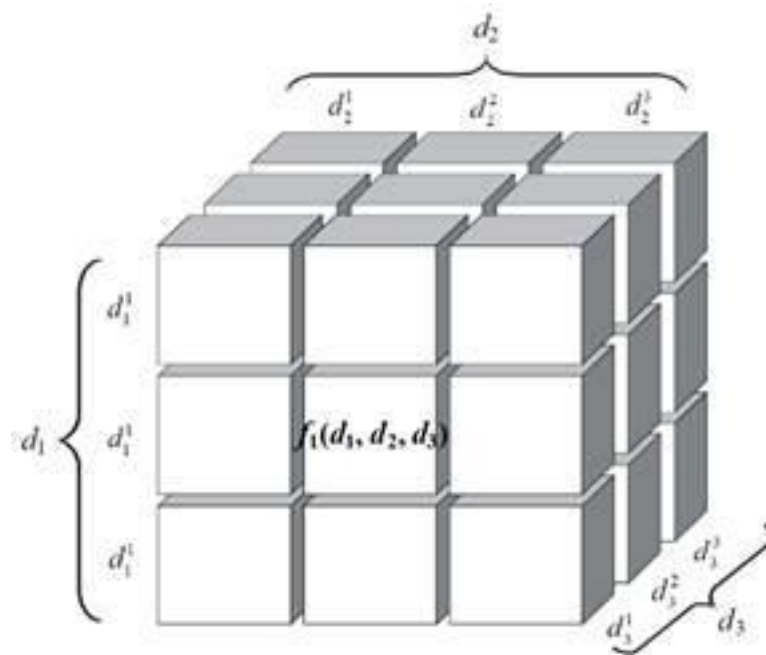


Рисунок 2.9 - OLAP-куб

Для кінцевого користувача забезпечується висока гнучкість у прийнятті рішень завдяки можливості зміни результуючого зовнішнього вигляду OLAP-куба. Аналітику надається не чітко регламентований звіт, а можливість використовувати набір інструментів для творчого дослідження проблеми. Вільне маніпулювання даними дозволяє легко отримати потрібний набір даних. OLAP-куб можна представити як абстрактне уявлення обраної підмножини реляційної бази даних [2].

Багатомірні бази даних та їх засоби є сховищем даних і утворюють OLAP-структуру, яка швидко аналізує наявні в неї дані. Таким чином, OLAP-аналіз повинен відповідати таким вимогам:

- 1) аналіз повинен здійснюватися швидко незалежно від кількості даних;
- 2) здатність виконувати будь-який аналіз(статистичний, математичний);
- 3) доступ до кількох комп'ютерів, тобто, різні користувачі можуть одночасно працювати з однією базою даних;

4) наявність нескінченної кількості вимірів при роботі з великими обсягами даних.

Перелічені вимоги відповідають принципу онлайн-обробки багатовимірних баз даних. Якість аналізу даних на основі OLAP-куба в основному визначається наявністю вихідних даних та прозорістю аналітичної моделі в галузі предмета, що вивчається.

## 2.6 Висновки по другому розділу

Приведені в розділі методи візуалізації даних вимірювань в сутності є ефективними методами візуалізації баз даних. Вони вимагають високого рівня підготовки обслуговуючого персоналу і розроблення специфічних алгоритмів та програмних продуктів для розв'язання конкретних задач. В цих методах не оцінюється вплив точності вимірювання на прийняття рішення. Їх важко застосовувати для одночасного аналізу багатьох випадкових процесів. Отже, потрібний універсальний метод для візуального аналізу великого числа випадкових процесів, що описують різні фізичні величини, які описують об'єкт вимірювання. Опис такого методу і його застосування до обробки даних вимірювання концентрації багатьох шкідливих газів з ТЕЦ приведено в третьому розділі.

## 3. МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ, ЩО ҐРУНТУЄТЬСЯ НА ЗМЕНШЕННІ РОЗМІРНОСТІ БАГАТОМІРНОГО ПРОЦЕСУ

### 3.1 Опис експериментальних даних

В дипломній роботі використані результати експериментів з вимірювання концентрації шкідливих газів на однієї 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:  $\text{CO}_2$ , пилу (dust),  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , 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  $V1n$ ,  $V2n$ ,  $V3n$ ,  $V4n$ ,  $V5n$ . В дипломній роботі не аналізуються фізичні, хімічні та екологічні аспекти цих газів, оскільки основними завданнями є розроблення методу візуалізації багатомірних випадкових процесів та метрологічне забезпечення цієї візуалізації. 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 можливість 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. В 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.



Для проведення досліджень вибрані експериментально отримані концентрації п'яти шкідливих газів на інтервалі 1500 с, що показані на рисунках 3.1 - 3.5.

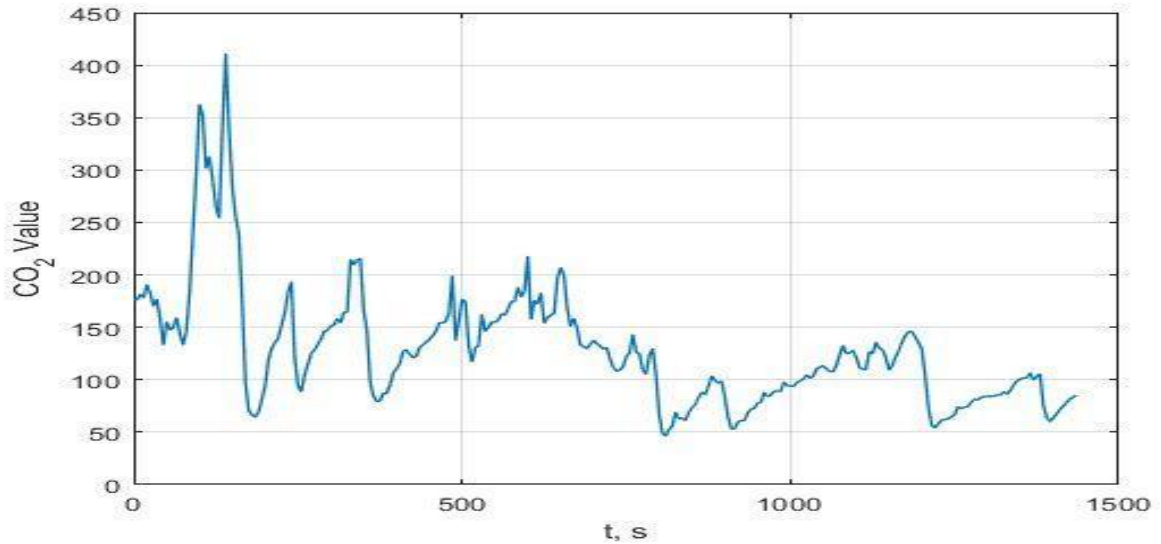


Рисунок 3.1 - Залежність концентрації CO<sub>2</sub> від часу

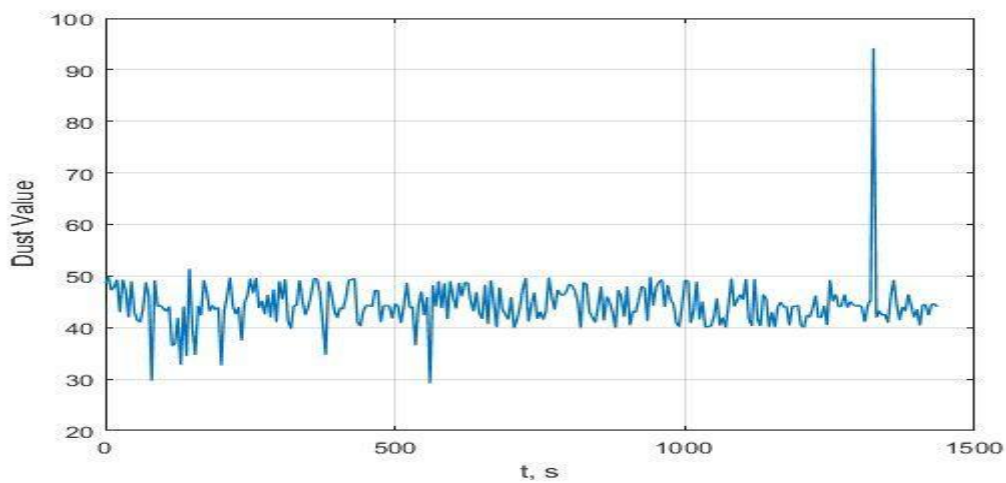


Рисунок 3.2 - Залежність концентрації пилу від часу

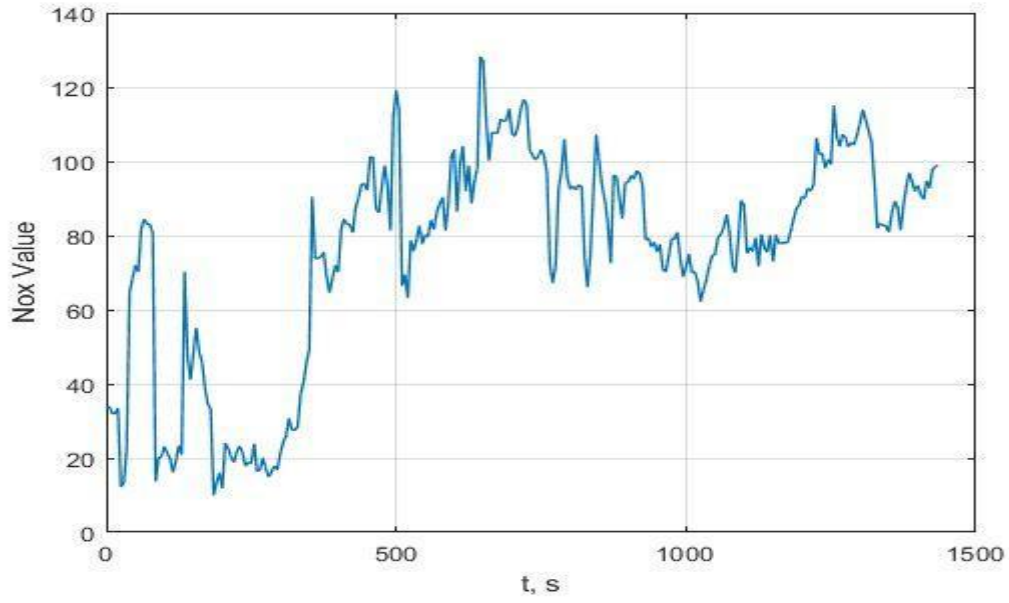


Рисунок 3.3 - Залежність концентрації NO<sub>x</sub> від часу

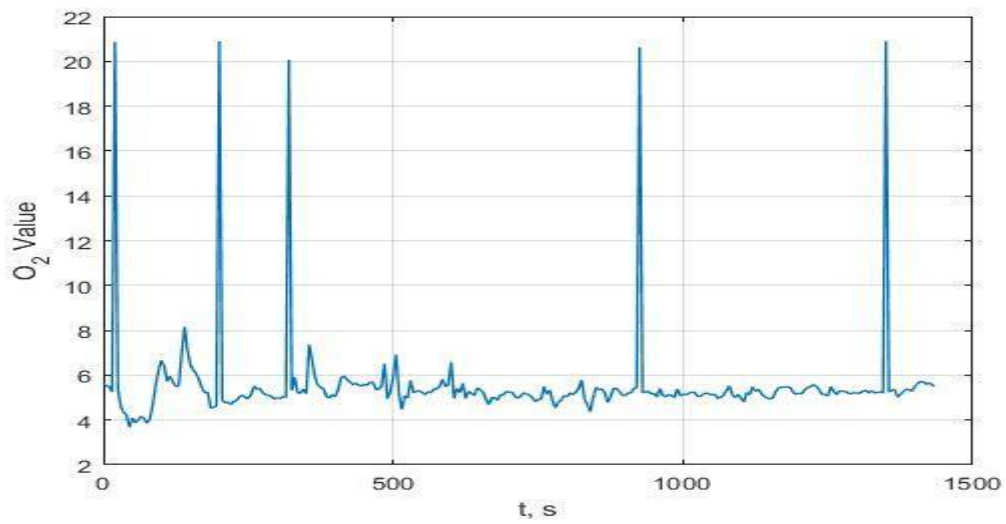


Рисунок 3.4 - Залежність концентрації O<sub>2</sub> від часу

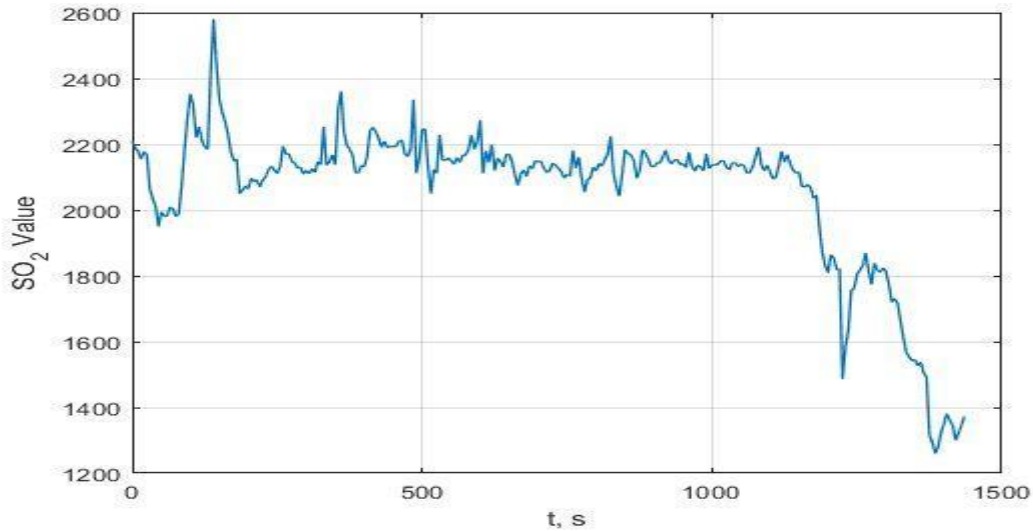


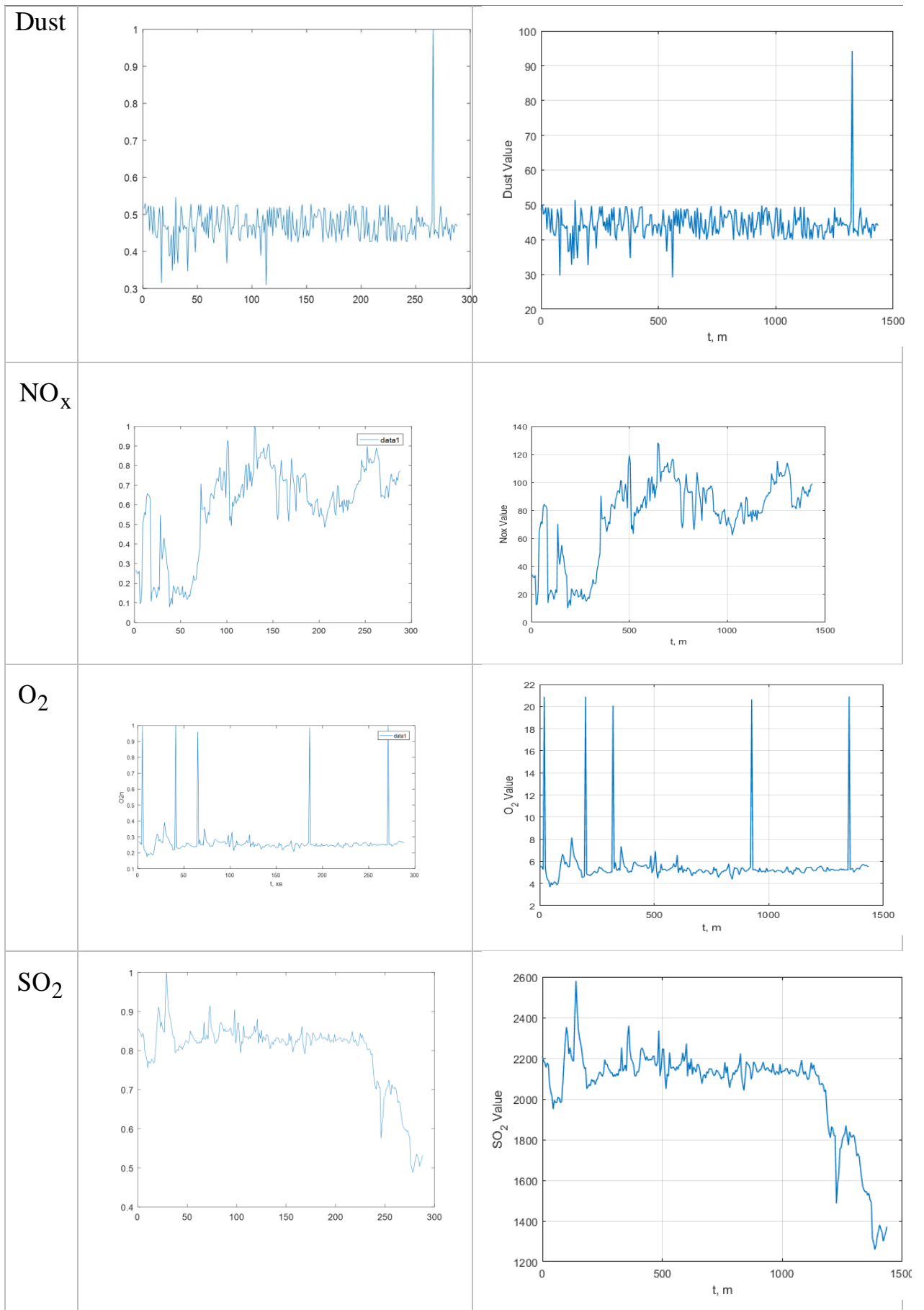
Рисунок 3.5 - Залежність концентрації  $\text{SO}_2$  від часу

Як випливає з цих рисунків, абсолютні значення цих концентрацій істотно відрізняються і для одночасної візуалізації всіх концентрацій шкідливих газів потрібно провести нормування. Нормовані графіки приведені в таблиці 1, причому абсолютні значення часу також пронормовані: часу 1500 с відповідає 300 значень часу на графіку. Для візуалізації багатомірного (п'ятимірного) процесу нормування по двом координатам ніяк не вплине на вид портрету процесу.

Таблиця 2.1 Графіки часових залежностей нормованої концентрації газів



## Завершения таблицы 2.1.



Використаємо ці експериментальні дані для створення візуального зображення (портрету) багатомірного процесу з допомогою нового методу візуалізації, що описано в наступному підрозділі.

### 3.2 Сутність методу узагальненої візуалізації багатомірних процесів

Найпростіший випадок візуалізації - це відображення однієї множини в іншу, зокрема, побудова двомірного чи тримірного графіку. Тут дві множини подаються у вигляді чисел, наприклад, одна множина – дискретні значення часу, а інша – дискретні значення концентрації шкідливого газу. Цифри є дуже важливими для прийняття рішення. Інший вид візуалізації – це відображення сукупності дій в деякий абстрактний образ або, навпаки, відображення абстрактного образу в сукупність дій суб'єкта. Таку візуалізацію будемо називати узагальненою або абстрактною. Приведемо приклади подібних візуалізацій.

Перший приклад узагальненої візуалізації – дорожні знаки. Кожний водій (і не тільки водій) знає, як потрібно діяти при наявності на його шляху узагальненої картинки, наприклад, якогось знаку. Подібних знаків багато в різних галузях людської діяльності, але їх не можна зустріти там, де людей не було, наприклад, на іншій планеті.

Другий приклад - поєднання абстрактних символів (букв) в слова, які несуть визначену інформацію. Правила поєднання та зміст зазначених символів потрібно знати, тобто вивчити відповідну мову, як і вище згадані знаки.

Третій приклад – поєднання абстрактних символів музичних нот в музичний твір. Всі ці приклади свідчать про те, що різні символи є потужним механізмом створення як шедеврів мистецтва (поезії, музики), так і загальних для всіх людей алгоритмів їх дій в конкретних ситуаціях.

В мистецтві існує цілий напрямок – символізм. Людям, що не знайомі з мовою символів, важко зрозуміти твори художників. Крім того, для читання

подібних творів часто потрібно добре знати історію, філософію, релігію тощо, тобто треба бути добре ерудованим і підготовленим. Наприклад, картина Сальвадора Далі “М’який годинник” є символом відносності простору та часу, сюрреалістична медитація художника, що приводить до краху наших традиційних уявлень про навколишній світ.

Символізм використовується практично в усій науці, особливо в математиці, фізиці, хімії, технічних науках. В математиці існують розділи, що мають ознаки високої міри узагальненості, зокрема, функціональний аналіз, топологія, вища алгебра. В технічних науках картинки можуть дуже багато розповісти про стан процесу або системи, наприклад, спектр процесу чи імпульсна характеристика системи.

Велике значення символізм має при прийнятті рішень в технічних системах. Попадання стрілки вимірювального приладу в червону зону може свідчити про небезпеку для системи чи людини. Якщо кількість вимірюваних параметрів процесів та системи досягає великого числа, то контроль цих параметрів істотно ускладнюється. Такий контроль може бути виконаний складною системою обробки вимірювальної інформації з використанням комп’ютерів. Візуальний контроль за короткий час стає неможливим, що для потреб практики часто є неприпустимим. Отже, виникає завдання розроблення відносно простих систем, що дозволяють провести візуалізацію результатів великого числа різнорідних вимірювань.

Для опису принципу можливої візуалізації розглянемо умовний об’єкт, що характеризується різнорідними параметрами. Наприклад, система автономної навігації робота на незнайомій місцевості в кожний момент часу може отримувати різнорідну інформацію від дистанційних датчиків: амплітуди ультразвукового, електромагнітного, лазерного зондування навколишньої місцевості, отримання координат кольоровості з відеокамер тощо. Другим прикладом є вимірювальний канал тиску, що також в кожний момент часу описується багатьма параметрами: амплітудою вихідного сигналу, постійною часу, параметрами функції невизначеності тощо. Третім

прикладом є система дистанційного вимірювання параметрів шкідливих газів на теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Ці гази викидаються в атмосферу і їх концентрації (параметри) повинні контролюватись. Отже, в подальшому будемо розглядати сукупність цих параметрів, що змінюються з часом. Параметри шкідливих газів отримані експериментально і їх кількість  $n$  дорівнює 5. Сутність запропонованого методу не зміниться при іншій кількості газів.

Отже, отримуємо  $n$  нормованих випадкових процесів, на основі яких треба зробити деякі висновки про систему. Кожний процес дискретизується в часі на  $m$  нормованих значень. Кількість цифрових даних становить  $n \times m$ , і це число може бути дуже великим. З великої кількості даних потрібно виявити нові знання про задану систему, наприклад, перехід системи в інший стан, що за зовнішніми ознаками явно себе не проявляє. Ці знання не повинні бути тривіальними, наприклад, обчислення дисперсії чи математичного сподівання процесів. Головними вимогами є корисність знань для практичного використання та їх наочність і простота оброблення великої кількості інформації людиною.

В дискретний момент часу  $k$  маємо числове значення  $i$ -го вимірюваного параметра  $a_{ik}$ , тобто в  $n$ -мірному просторі існує точка  $A_k$ , яка еволюціонує у цьому просторі з часом. Тут виникає ідея візуально простежити за цією точкою за деякий період, щоб зробити деякі висновки про систему. Звичайно цього зробити неможливо, оскільки  $n$ -мірний простір є абстрактним і не піддається спостереженню. Однак, існує можливість розробки опосередкованого методу візуального спостереження за поведінкою багатомірної точки. Опишемо цей метод, починаючи з розгляду найпростішого випадку.

Позначимо значення цих параметрів в початковий момент часу  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , де  $n$  - кількість параметрів. Інші індекси ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) характеризують номер параметра. Сукупність зазначених параметрів можна трактувати як вектор  $a$  з компонентами (проекціями)  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Багатомірний вектор не може наочно зображуватись в якій-небудь системі координат. Його аналіз припускає окреме

вивчення поведінки кожної компоненти вектору  $a_i$ . Інший підхід запропоновано в [1], де пропонується багатомірний вектор розглядати як двомірний образ, використовуючи базис ортонормованих функцій  $\{\psi_i(\tau)\}_{i=0}^{\infty}$ . Зокрема, там пропонується використовувати ортонормовані поліноми Лежандра  $\{l_i(\tau)\}_{i=0}^{\infty}$  на відрізку  $[0, 1]$ , де  $\tau$  є просто параметр, що об'єднує всі інші параметри, від яких залежить стан об'єкту. Отже, як показано в [1], точці (вектору) в багатомірному просторі  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$  можна поставити у відповідність функцію

$$F_A(\tau) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i l_i(\tau), \quad (3.1)$$

яка виконує роль візуалізації багатомірної точки, тобто така точка, яку неможливо уявити, буде представлена графіком на площині. З іншого боку, це такий вид кодування багатомірної інформації.

Ще раз відзначимо, що параметр  $\tau$  не є часом у загальному випадку. На практиці в описаних раніше системах всі параметри є залежними від часу, який ми позначимо як  $t$ . Для візуального аналізу поведінки багатомірної точки можна будувати тримірний графік  $F_a(\tau, t)$  або розглядати поведінку функції  $F_a(\tau)$  в послідовні дискретні моменти часу. Така функція може бути тестовою, тобто визначеною в початковий момент часу з достатньою точністю. Вона буде флюктувати з часом внаслідок змінювання параметрів системи. Наперед незрозуміла її поведінка в ситуаціях, коли значення якого-небудь параметру змінюється стрибком. Невідомо також, як вид ортонормованої функції впливає на поведінку цієї функції. Ще однією особливістю є необхідність врахування розмірності параметра  $a_i$ . Вимогою є однаковість розмірності всіх параметрів, що робить застосування методу безперспективним. Щоб подолати цю проблему, треба зробити перехід від відповідних параметрів до їх нормованих значень. Фактично, це означає, що будь-який параметр  $a_i$  буде набувати значень в діапазоні від 0 до 1.



Таким чином, кожній точці у багатомірному просторі відповідає одна абстрактна крива на площині. Ця точка характеризує сукупність параметрів у визначений момент часу. Якраз це і є візуалізацією точки в багатомірному просторі, який не можна уявити. Перехід до абстрактної кривої означає представлення багатомірної точки у двомірному просторі, який легко можна уявити. Зазначену криву можна вважати символом точки. Якщо деякі координати точки перевищують допустимі, то крива зміниться. Це потребує дослідження, після чого по зовнішньому вигляду можна зразу оцінити, що деякі концентрації шкідливих газів не відповідають вимогам ДСТУ. Однак крива відповідає точці для деякого моменту часу. Для іншого часу буде отримана інша крива, якщо параметри шкідливих газів змінюються. Як наслідок, для деякого діапазону часу буде отримана сукупність кривих, діапазон розкиду яких залежить від багатьох факторів, наприклад, стаціонарності чи нестаціонарності процесу. Замість однієї кривої отримується сукупність багатьох (для приведеного прикладу, п'яти) параметрів, яка на площині зображає портрет стану ТЕЦ з екологічної точки зору. Тепер це вже візуалізація не точки, а всіх результатів вимірювання концентрації шкідливих газів. Отриманий портрет стану ТЕЦ може залежати від точності вимірювання концентрації газів. Оскільки похибки вимірювань є випадковими, то і форма портрету є випадковою, а, значить, може описуватися мовою статистики.

Отже, треба встановити діапазони змінювання кривих  $F_a(\tau)$  внаслідок змінювання параметрів  $A_i$ , при яких можна вважати, що функція  $F_a(\tau)$  залишається близькою до тестового виду, в якому система є в прийнятному стані. Якщо поведінка кривих  $F_a(\tau)$  в різні моменти часу є нестійкою (значно залежною від невеликого змінювання параметрів  $a_i$ ) або, навпаки, дуже стійкою, то потрібно або відмовитися від застосування методу, або шукати інші шляхи, наприклад, використовувати інші ортонормовані функції.

Тепер, нехай, наприклад, в системі істотно змінився один з параметрів  $a_i$ , а інші параметри змінилися мало. Чи можна визначити нове значення цього

параметру по виду нової функції  $F_B(\tau)$ ? Мабуть, можна, якщо мінімізувати відстань у функціональному просторі  $L_2$  між функціями  $F_A(\tau)$  та  $F_B(\tau)$ , тобто

$$J(a_1, a_2, \dots, a_n) = \min \int_{-\infty}^{\infty} (F_A(\tau) - F_B(\tau))^2 d\tau. \quad (3.2)$$

Цю операцію доцільно реалізувати з допомогою генетичного алгоритму.

Може виникнути питання: навіщо знаходити нове значення параметру  $a_i$  за формулою (3.2), якщо його можна безпосередньо визначити з допомогою відповідного сенсора. Це не завжди так, бо припускаємо, що сенсори спочатку були, а тепер вже їх немає, наприклад, не завжди є можливість в процесі експлуатації вимірювати значення постійної часу каналу або параметри функції перетворення вимірювального каналу тиску.

Розглянемо результати візуалізації експериментальних даних на основі запропонованого методу.

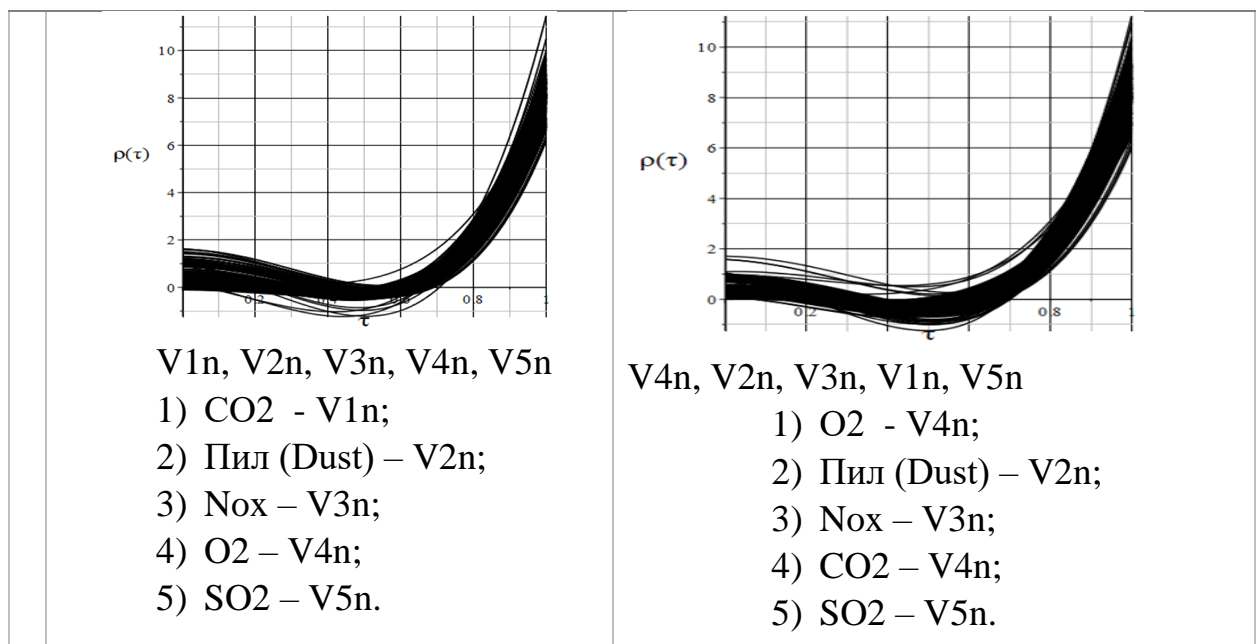
### 3.3 Результати візуалізації випадкових процесів, що описують концентрації шкідливих газів

Візуалізацію проводимо з використанням формули (3.1), тобто отримуємо криву  $F(\tau)$  для кожного дискретного значення часу  $t$ . Сукупність кривих  $F(\tau)$  створює візуальний образ або портрет стану системи, якою в дипломній роботі є екологічний стан ТЕЦ. Цей портрет для фахівця є характеристикою ТЕЦ з екологічної точки зору. Портрет може змінюватись з часом і стан об'єкту легко контролюється оператором. Будемо використовувати декілька термінів: портрет екологічного стану ТЕЦ, характеристичне зображення, візуальний образ.

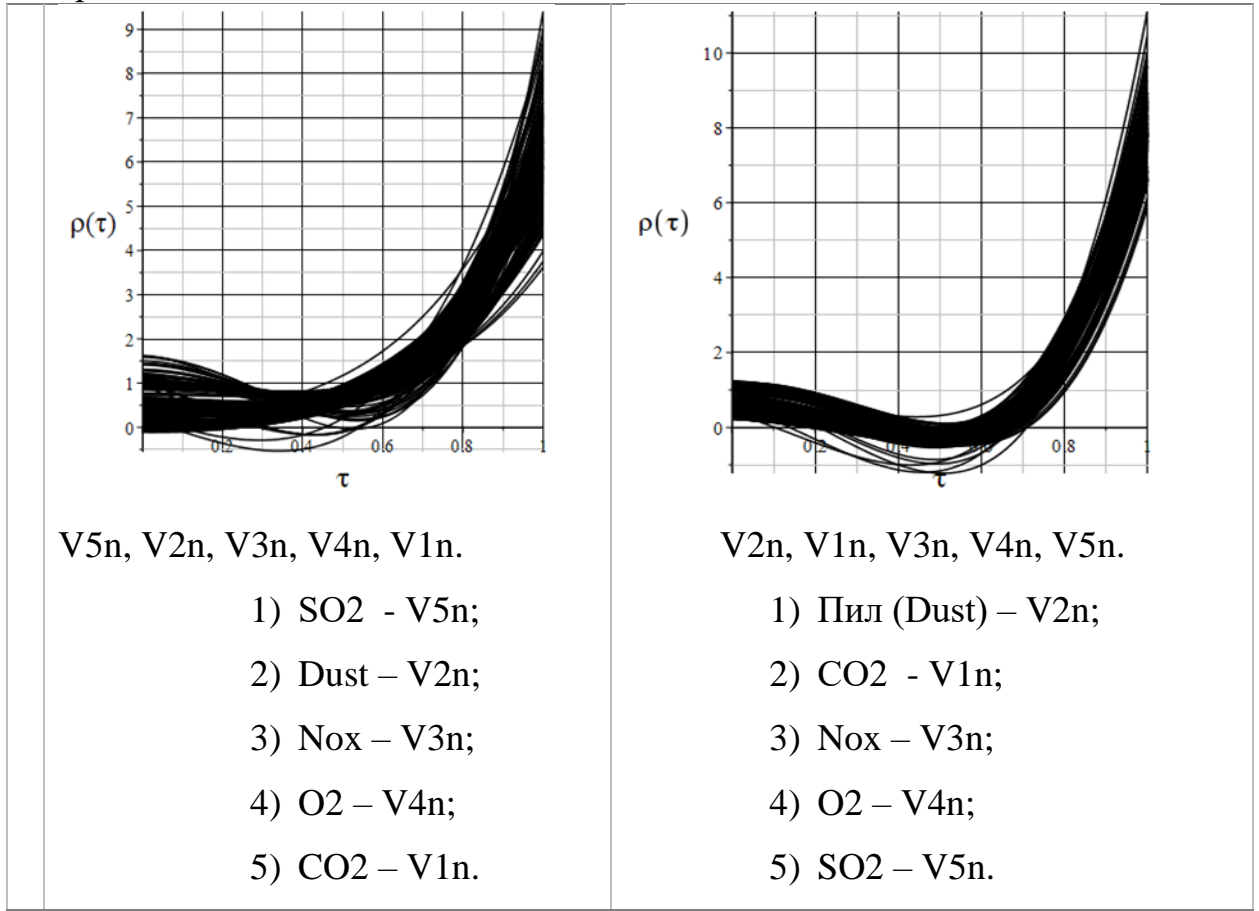
До формули (3.1) входять нормовані експериментальні значення концентрації  $i$ -го шкідливого газу  $a_i$  та відповідні їм ортогональні функції  $l_i(\tau)$ . В роботі використовувались 5 нормованих концентрацій газів і також 5

ортогональних функцій, у яких, однак, нумерація починалась з нуля. Для дослідження використовувалась для кожного набору експериментальних даних одна ортогональна функція, порядок якої визначався кількістю газів, концентрація яких вимірювалась. Метод передбачає застосування будь-яких ортогональних функцій, що змушує провести додаткові дослідження впливу цих функцій на вид візуального образу. Серед багатьох ортогональних функцій виберемо наступні: поліноми Гегенбауера, Ерміта, Лагерра, Лежандра і Чебишева. Далі оцінимо вплив виду ортогональної функцій на візуальні образи екологічного стану ТЕЦ, після чого виберемо одну ортогональну функцію, яка буде використовуватись в дипломній роботі. Крім того, вид портрету стану ТЕЦ залежить і від порядку, в якому використовуються гази в формулі (1). В таблицях 3.1 – 3.6 приведені візуальні образи для різних послідовностей газів, наприклад,  $V1n, V2n, V3n, V4n, V5n$  або  $V4n, V2n, V3n, V1n, V5n$ . Кількість таких перестановок дорівнює факторіалу від числа 5, тобто  $5!=120$ , але в таблицях показано тільки 4. Аналіз показав, що істотних відмінностей від послідовності застосування газів в формулі (3.1) не виявлено. Для поліномів Гегенбауера таблиця портретів має вигляд.

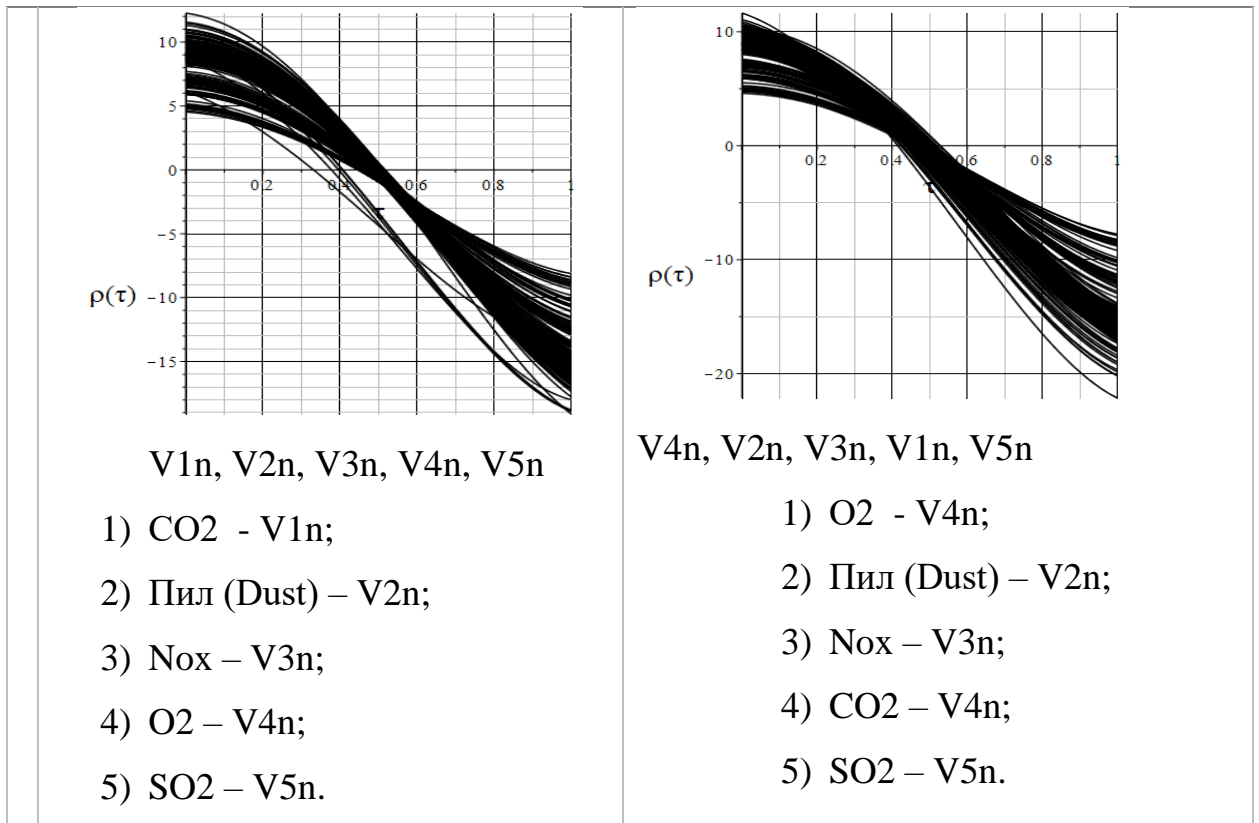
Таблиця 3.2 Використання ортогональних поліномів Гегенбауера



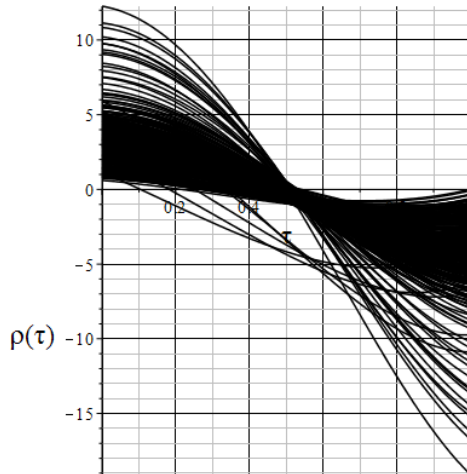
## Завершення таблиці 3.2



## Таблиця 3.3 Використання ортогональних поліномів Ерміта

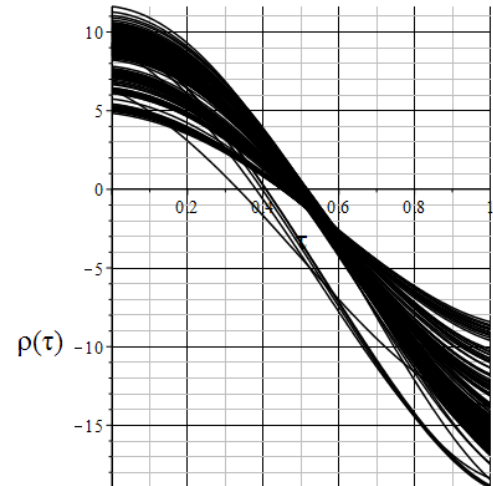


## Завершення таблиці 3.3



V5n, V2n, V3n, V4n, V1n.

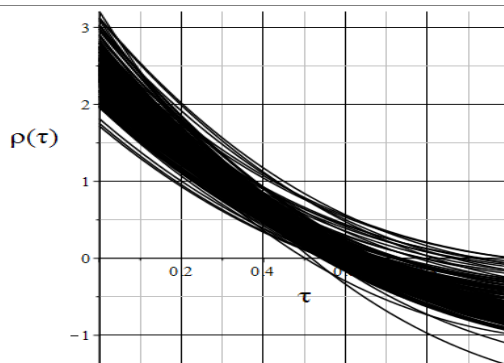
- 1) SO<sub>2</sub> - V5n;
- 2) Dust - V2n;
- 3) Nox - V3n;
- 4) O<sub>2</sub> - V4n;
- 5) CO<sub>2</sub> - V1n.



V2n, V1n, V3n, V4n, V5n.

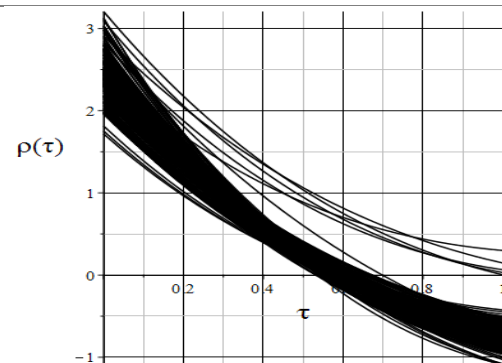
- 1) Пил (Dust) - V2n;
- 2) CO<sub>2</sub> - V1n;
- 3) Nox - V3n;
- 4) O<sub>2</sub> - V4n;
- 5) SO<sub>2</sub> - V5n.

## Таблиця 3.4 Використання ортогональних поліномів Лагерра:



V1n, V2n, V3n, V4n, V5n

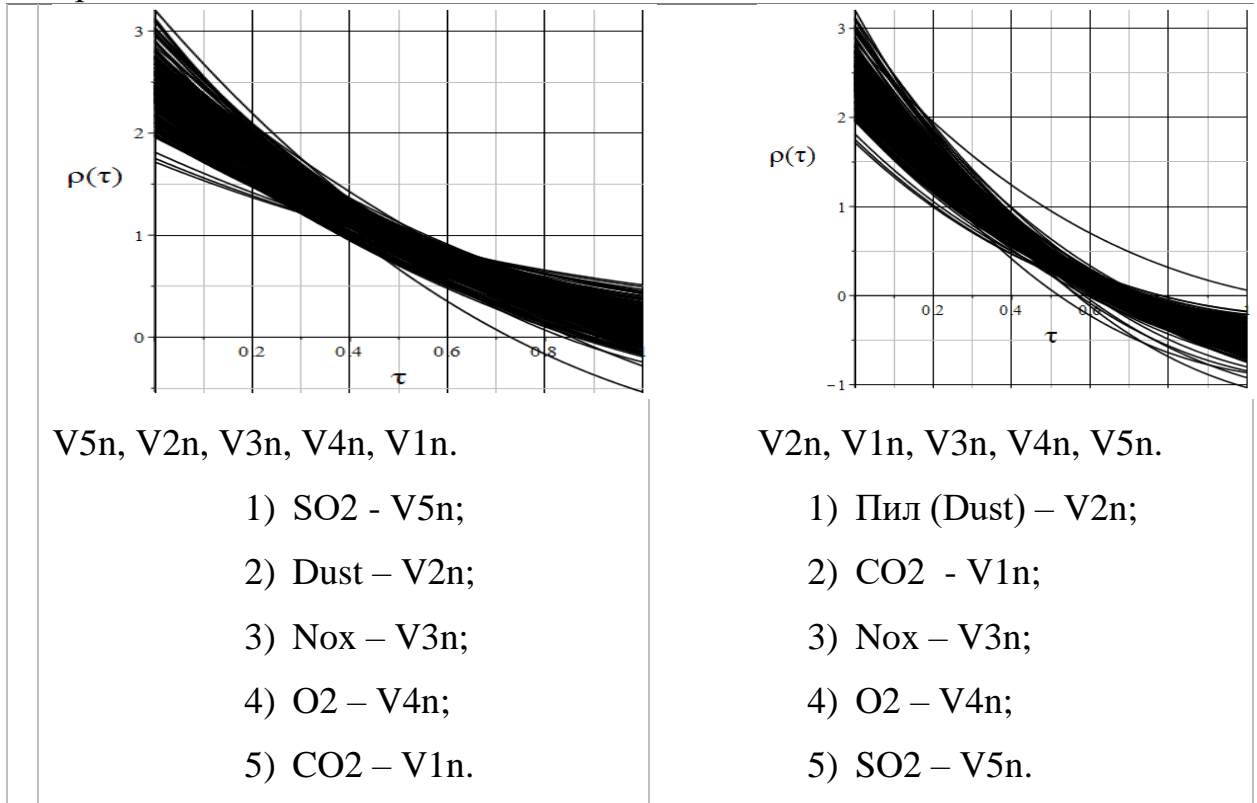
- 1) CO<sub>2</sub> - V1n;
- 2) Пил (Dust) - V2n;
- 3) Nox - V3n;
- 4) O<sub>2</sub> - V4n;
- 5) SO<sub>2</sub> - V5n.



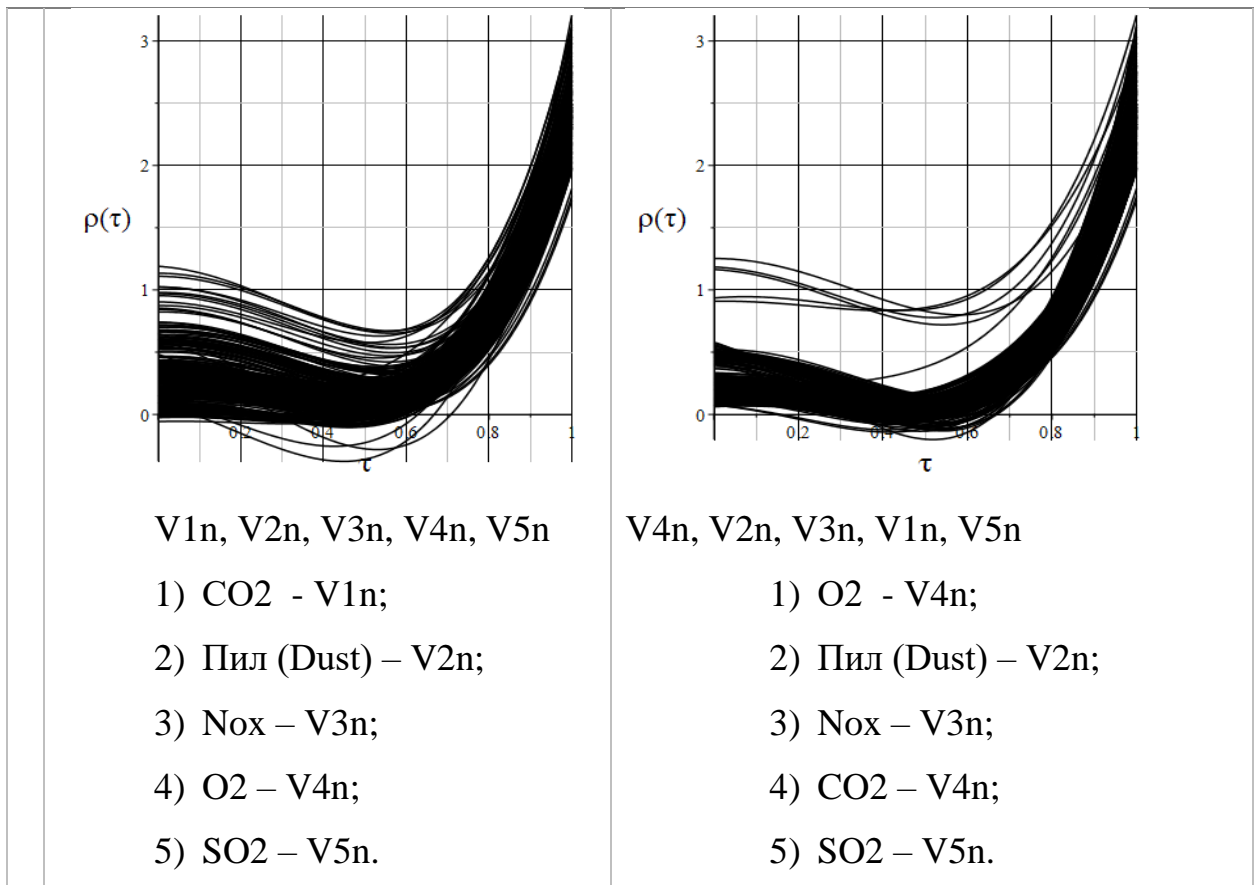
V4n, V2n, V3n, V1n, V5n

- 1) O<sub>2</sub> - V4n;
- 2) Пил (Dust) - V2n;
- 3) Nox - V3n;
- 4) CO<sub>2</sub> - V1n;
- 5) SO<sub>2</sub> - V5n.

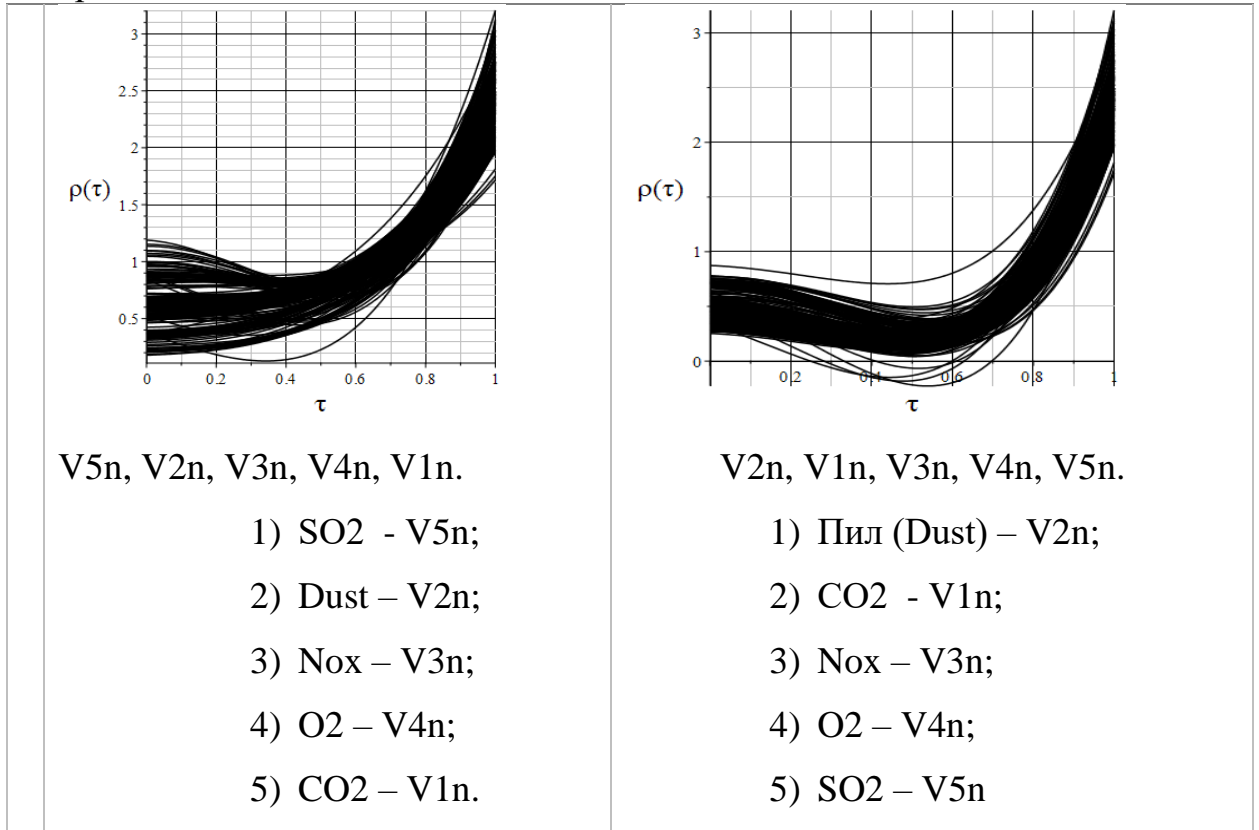
## Завершення таблиці 3.4



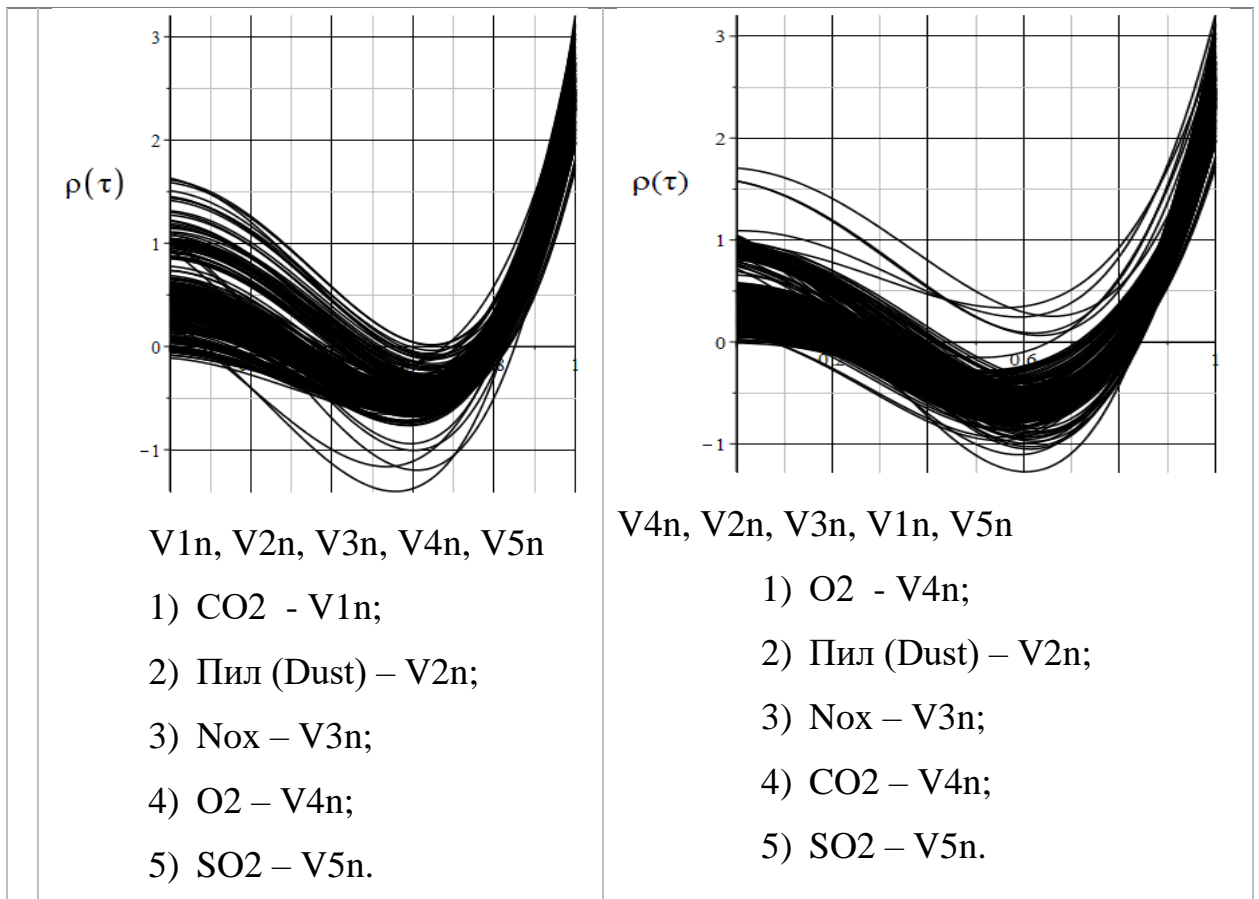
## Таблиця 3.5 Використання ортогональних поліномів Лежандр



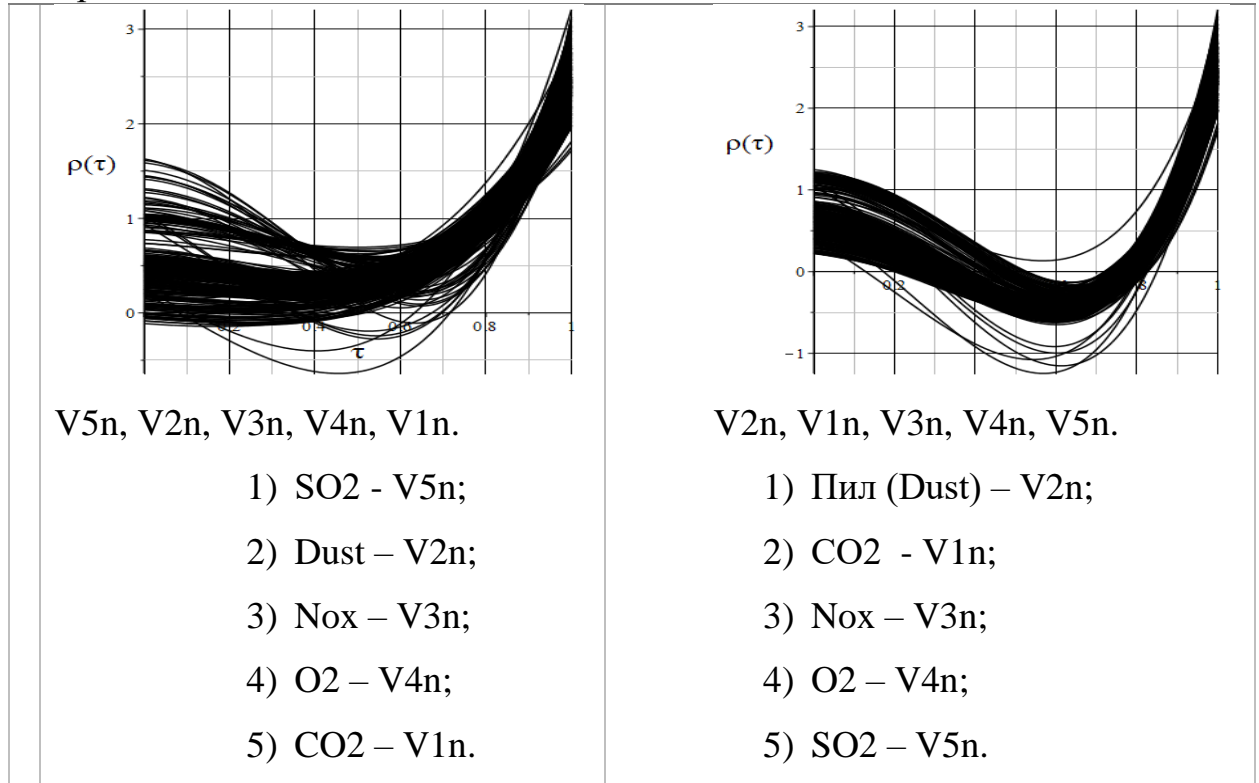
## Завершення таблиці 3.5



## Таблиця 3.6 Використання ортогональних поліномів Чебишева



## Завершення таблиці 3.6



Критерієм вибору ортогональної функції візьмемо її розкид по вертикальній координаті, що характеризує чутливість до часових залежностей концентрацій газів. Аналіз всіх характеристичних зображень  $\rho(\tau)$  на вище приведених рисунках показує, що найбільший розкид зображення по вертикалі спостерігається при використанні поліномів Чебишева П. Л. Крім того, це єдині поліноми серед розглянутих, для яких зазначений розкид є характерним при будь-якій послідовності нормованих концентрацій газів. Однак, надто великий розкид з серією окремих кривих ліній на зображенні може затьмарити можливі стрибки концентрації газів. Тому виберемо таку ортогональну функцію, де розкид характеристичного зображення по вертикальній координаті є великим, але криві лінії створюють більш компактний портрет. Цим вимогам в найбільшій мірі відповідають ортогональні функції Лежандра, які в подальшому будуть використовуватись в роботі. Вид перших чотирьох функцій Лежандра показано на рисунку 3.6.



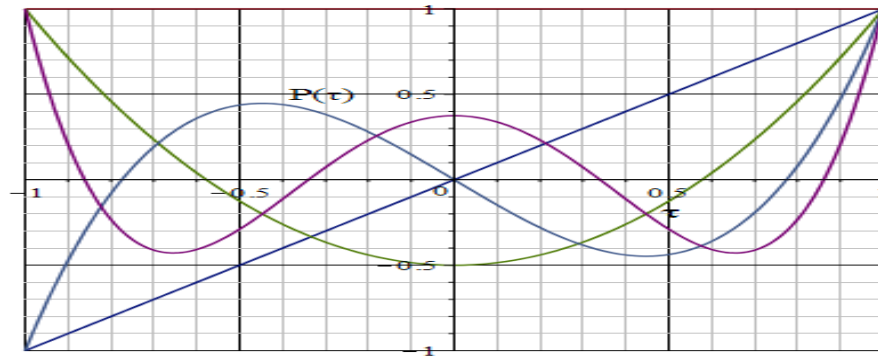


Рисунок 3.6 Перші чотири функцій Лежандра

Завданням візуалізації є створення портрету стану ТЕЦ, по виду якого можна зробити висновок, що об'єкт є справним з екологічної точки зору. При появленні стрибків концентрації одного з газів портрет повинен змінюватись. На рисунку 3.7 приведено характеристичне зображення  $p(\tau)$  для однієї з реальних ситуацій, яка спостерігалась в експерименті. Часові залежності двох шкідливих газів містили в собі стрибки концентрації.

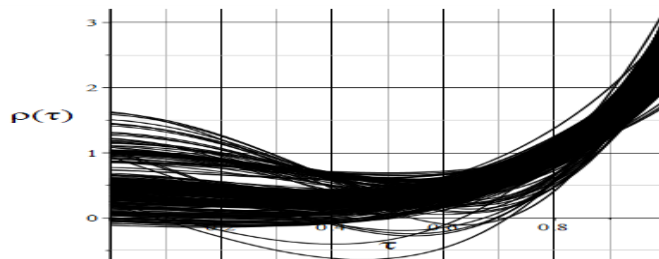
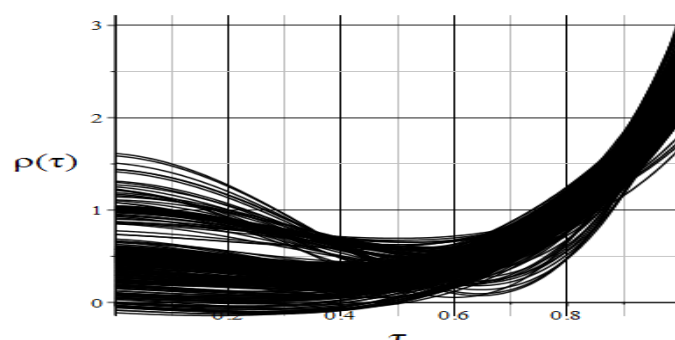


Рисунок 3.7 Характеристичне зображення  $p(\tau)$  для реальної ситуації

Після вилучення стрибків концентрації пилу та  $O_2$  візуальний образ змінився (рисунок 3.8 ).



### Рисунок 3.8 Характеристичне зображення для ситуації з вилученими стрибками концентрації пилу та $O_2$

Як видно, на рисунку 3.8 вже відсутні від'ємні коливання елементів характеристичного зображення, тобто інтуїтивно зрозуміло, що стрибки концентрації газів змінюють зображення  $p(\tau)$ . Необхідно знайти середню залежність  $p_{\text{сер}}(\tau)$  і паралельно з нею провести дві криві  $p_{\text{вер}}(\tau)$  та  $p_{\text{ниж}}(\tau)$ , що символізують межі, в яких приймається рішення про нормальні викиди ТЕЦ. Потім можна оцінити чисельні значення цих меж.

#### 3.4 Висновки по третьому розділу

Отже, для оцінювання стрибків були вибрані реальні експериментальні дані. При інших даних портрет може істотно змінитись. У розділі було розглянуто метод при якому до кожної точки у багатомірному просторі відповідає одна абстрактна крива на площині. Ця точка характеризує сукупність параметрів у визначений момент часу. Якраз це і є візуалізацією точки в багатомірному просторі, який не можна уявити. Перехід до абстрактної кривої означає представлення багатомірної точки у двомірному просторі, який легко можна уявити. Зазначену криву можна вважати символом точки. Якщо деякі координати точки перевищують допустимі, то крива зміниться. Це потребує дослідження, після чого по зовнішньому вигляду можна зразу оцінити, що деякі концентрації шкідливих газів не відповідають вимогам нормативних документів. Обґрунтування цього методу розглянемо у четвертому розділі дипломної роботи.

## 4. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ НА ТЕЦ

### 4.1 Загальні підходи до дослідження

Під час проведення дослідження метрологічних вимог формуються за критерієм візуального сприйняття стрибків концентрацій шкідливих газів. Слід очікувати, що по виду портрету можна візуально (приблизно) оцінити стан об'єкту (справний – несправний), а використовуючи формулу (2) вже можна визначити, який параметр вийшов за межі допуску. При цьому доцільно використовувати теорію статистичних гіпотез, щоб оцінити ймовірність правильного рішення щодо стану об'єкту, зокрема ТЕЦ. Для проведення досліджень цієї проблеми необхідно мати опорну модель: графічну для візуального (грубого) оцінювання стану та математичну для проведення точного контролю концентрації шкідливих газів. Опорних моделей може бути багато в залежності від того, яке завдання ставиться перед дослідником. Серед них можуть бути ідеалізовані моделі. Розглянемо деякі з них.

1. Всі параметри  $a_i$  є незмінними в часі. Треба отримати портрети стану ТЕЦ для різних ортогональних функцій. Окремим випадком є  $a_i = a = \text{const}$ .

2. Всі параметри  $a_i$  є незмінними в часі, але один з них на деякому інтервалі часу змінюється стрибком. Треба отримати портрети стану ТЕЦ для різних стрибків цього параметру, які відрізняються по амплітуді та ширині стрибка. Моделлю стрибка може бути гауссоїда з різною дисперсією. Далі можна побудувати два стрибка в різні моменти часу або по одному стрибку різних параметрів, причому стрибки можуть відбуватись в один чи різні моменти часу.

3. Всі параметри  $a_i$  є незмінними в часі, але один з них змінюється по синусоїдальному закону.

4. Всі параметри  $a_i$  є незмінними в часі, але один з них являє собою білий шум різної інтенсивності.

5. Всі параметри  $a_i$  є випадковими і в часі створюють стаціонарний випадковий процес, причому ні один з параметрів не виходить за межі допуску.

6. Всі параметри  $a_i$  є випадковими і в часі створюють стаціонарний випадковий процес, причому один параметр вийшов за межі допуску, однак його стаціонарність не порушена.

7. Поведінка одного з параметрів є нестаціонарною, тобто його середнє значення і дисперсія змінюються з часом.

Далі будуються портрети стану ТЕЦ для реальних експериментальних даних і порівнюються з такими портретами для опорних моделей.

#### 4.2 Аналіз характеристичних зображень опорних моделей

Раніше характеристичне зображення описувалось узагальненою функцією  $p(\tau)$ . Якщо така функція відноситься до опорної моделі, то будемо її позначати як  $F(\tau)$ . Перший ідеальний випадок – всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом. Логічно, що портрет стану ТЕЦ являє собою одну характерну лінію (рисунок 4.1). Якщо ортогональна функція буде іншою, то вид цієї лінії зміниться,

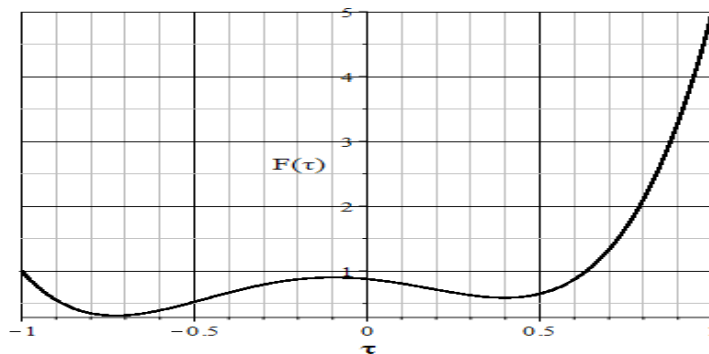


Рисунок 4.1 – Узагальнена функція у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом

З рисунку 4.1 випливає, що при малих змінах концентрації газів візуальний образ екологічного стану ТЕЦ є близьким до однієї лінії. При появленні стрибка (викиду) концентрації одного з газів (для випадку, що розглядається, другого) виникають вже дві лінії. Додаткова лінія внаслідок стрибка концентрації представлена штрих-пунктирною кривою на рисунку 4.2

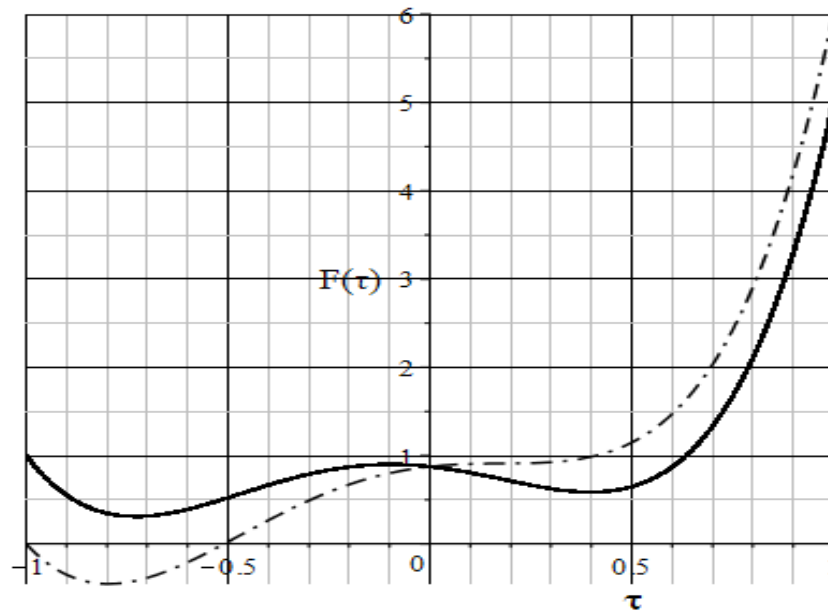


Рисунок 4.2 – Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом, а концентрація другого параметру в один момент часу збільшується в два рази стрибком (штрих-пунктирна лінія)

Чим більше амплітуда стрибка, тим значніше суцільна та штрих-пунктирна лінії розбігаються між собою, що показано на подальших двох рисунках для різних амплітуд стрибка.

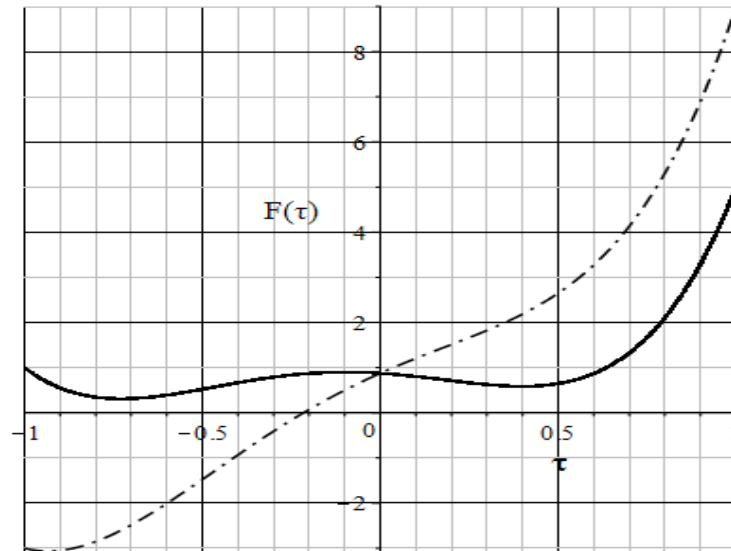


Рисунок 4.3 – Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом (суцільна лінія), а концентрація другого параметру в один момент часу збільшується в 5 разів стрибком (штрих-пунктирна лінія)

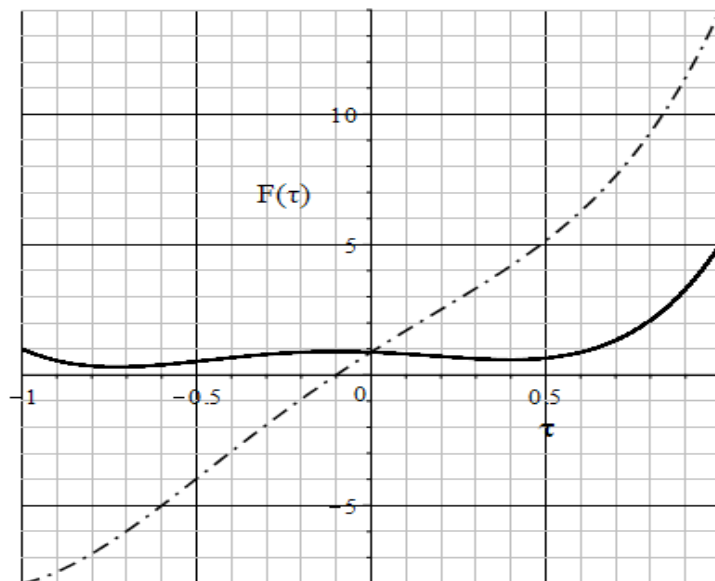


Рисунок 4.4 – Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом (суцільна лінія), а концентрація другого параметру в один момент часу збільшується в 10 разів стрибком (штрих-пунктирна лінія)

З рисунків 4.1 – 4.4 випливає, що збільшення амплітуди стрибків концентрації шкідливого газу приводить до істотного змінювання узагальненої функції  $F(\tau)$ . При  $\tau = 0.5$  залежність приросту функції  $F(\tau)$  від амплітуди дуже короткого в часі стрибка (при моделюванні стрибок відбувся в деякий момент часу і його тривалість дорівнювала нулю) має вигляд (рисунок 4.6).

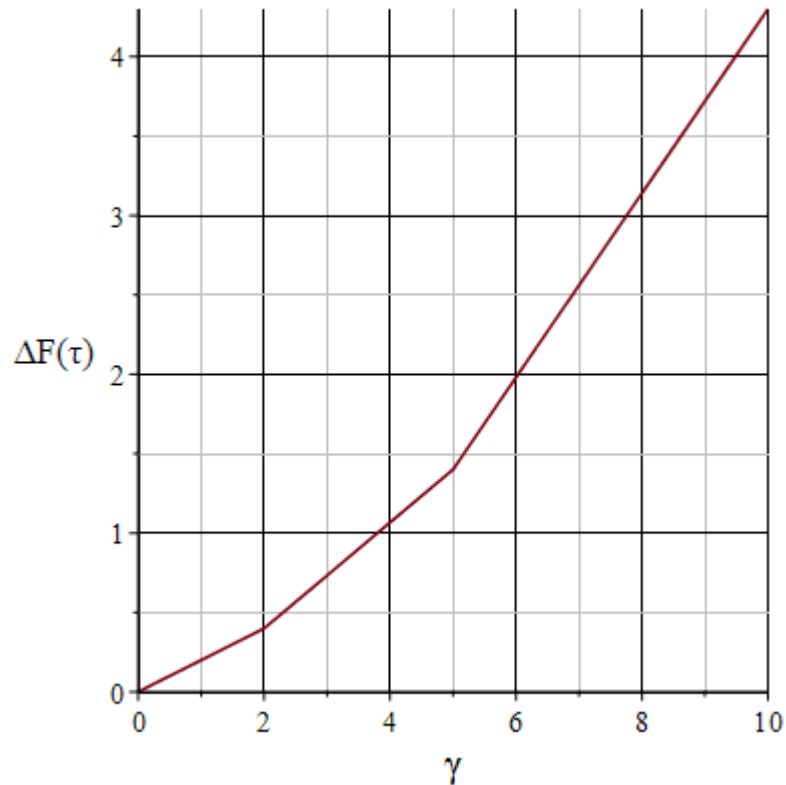


Рисунок 4.5 – Залежність приросту функції  $F(\tau)$  при  $\tau = 0.5$  від числа, що показує в скільки разів  $\gamma$  збільшився стрибок концентрації другого газу

Графік (рисунок 4.5) побудований по декільком точкам, а в цілому, має вигляд близький до лінійної залежності. Якщо наперед вибрати поріг узагальненої функції  $F(\tau)$  при деякому значенні  $\tau$ , то перевищення порогу буде свідчити про виявлення стрибка концентрації одного з шкідливих газів. Це є ознакою для прийняття рішення про екологічну небезпеку ТЕЦ. Визначення типу газу може здійснюватися при мінімізації функціоналу (2) за створеною заздалегідь програмою.

З математичної точки зору, причиною істотного змінювання виду функції  $F(\tau)$  є не стільки короточасний стрибок концентрації газу, а нормування всіх концентрацій до максимального значення, яке відраховується від максимального значення стрибка. Якщо, наприклад, стрибок концентрації одного з газів  $a_i$  збільшується в 10 разів, то всі її значення в інші моменти часу зменшуються на порядок і тому, як видно з формули (1), вид функції  $F(\tau)$  може змінитися. Однак, навіть, якщо не нормувати концентрацію газів при наявності стрибка, змінювання функції  $F(\tau)$  легко побачити. Якщо ширина стрибка концентрації в газі збільшується, тобто стрибок спостерігається при декількох суміжних значеннях часу, істотної різниці по узагальненій функції немає. Стрибки концентрації двох газів не змінюють суттєво картину (рисунок 4.7).

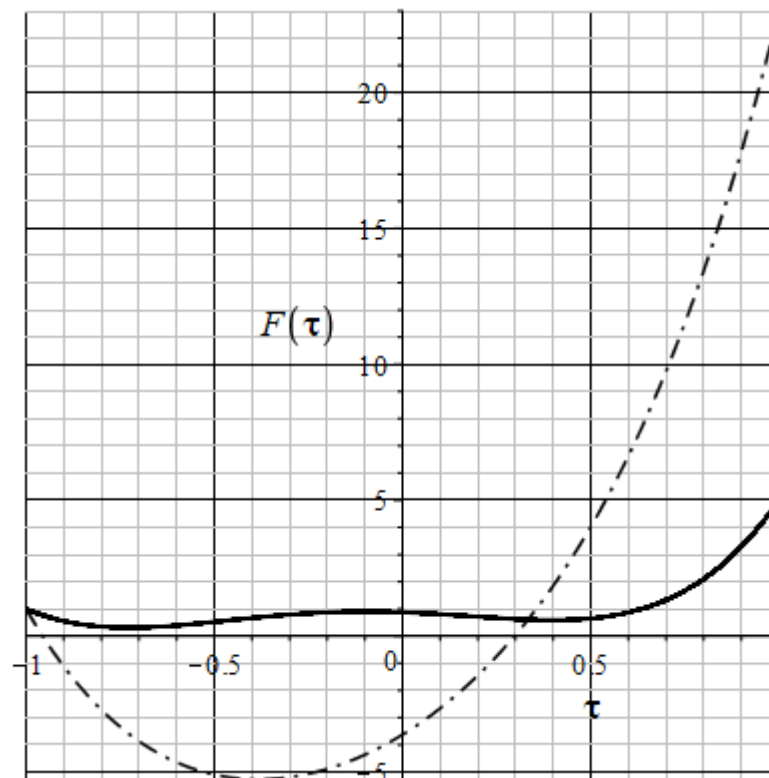


Рисунок 4.7 – Узагальнена функція у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом (суцільна лінія), а концентрація другого та третього газу в один і той же момент часу збільшується в 10 разів стрибком (штрих-пунктирна лінія)



До цього часу розглядалися стрибкоподібні змінювання концентрації одного газу. Якщо концентрації всіх газів змінюються по гармонічному закону з різним періодом, то замість однієї лінії отримуємо сімейство ліній  $F(\tau)$ , що створюють портрет стану об'єкта (ТЕЦ), який показано на рисунку 4.8

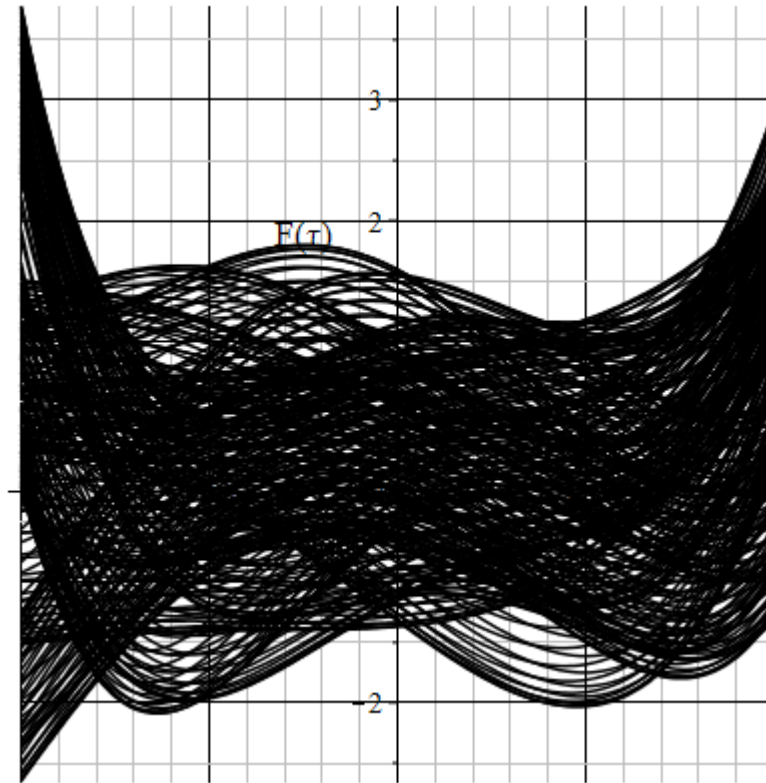


Рисунок 4.9 – Узагальнені функції (портрет стану ТЕЦ) у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів змінюються з часом по гармонічному закону з різними періодами

На рисунку 4.9 ми маємо, на перший погляд, хаотичну картину, але при детальному її вивченні можуть бути знайдені важливі для практики візуального аналізу закономірності. Якщо відносна концентрація одного з газів домінує над іншими, то з'являється деяка детермінованість в картині, що продемонстровано на рисунку 4.10.

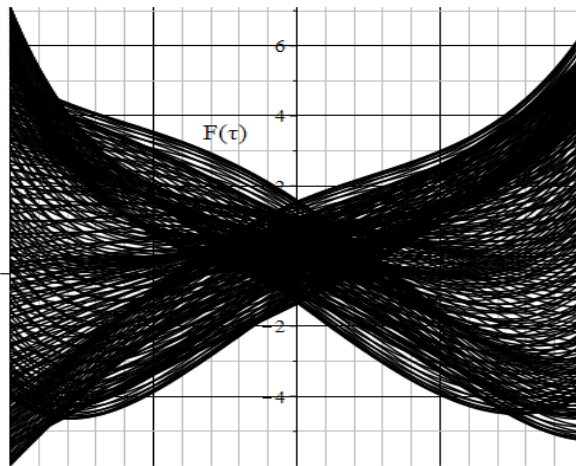


Рисунок 4.10 – Узагальнена функція у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів змінюються з часом по гармонічному закону з різними періодами, а відносна концентрація другого газу більше в 5 разів, ніж концентрації інших газів

Якщо ж концентрація більшості газів змінюється з часом слабо, а концентрація одного з них (в даному випадку, другого) за гармонічним законом, то візуальний образ є вузьким, що також є ознакою для розпізнавання ситуації (рисунок 4.9). При появленні стрибка концентрації з отриманого портрету вистрибує одна лінія, яка і є ознакою стрибка (рисунок 4.10).

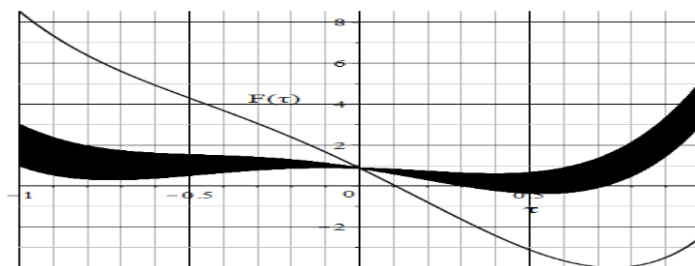


Рисунок 4.11 Узагальнені функції у випадку, коли концентрації першого, третього – п'ятого шкідливих газів є постійними, концентрація другого газу змінюються з часом по гармонічному закону, а в один момент часу в концентрації другого газу відбувається стрибок, що в 10 разів перевищує середнє значення

При великих стрибках концентрації одного з газів завжди з сімейства візуального образу виділяється одна крива лінія (рисунок 4.12 ). Якщо ж спостерігаються стрибки концентрації інших газів великої амплітуди, то таких ліній може бути декілька і вони легко виявляються візуально. При малих амплітудах стрибків портрет стану ТЕЦ є компактним. Нижче приведені рисунки демонструють вплив стрибків на портрет стану об'єкту, що розглядається.

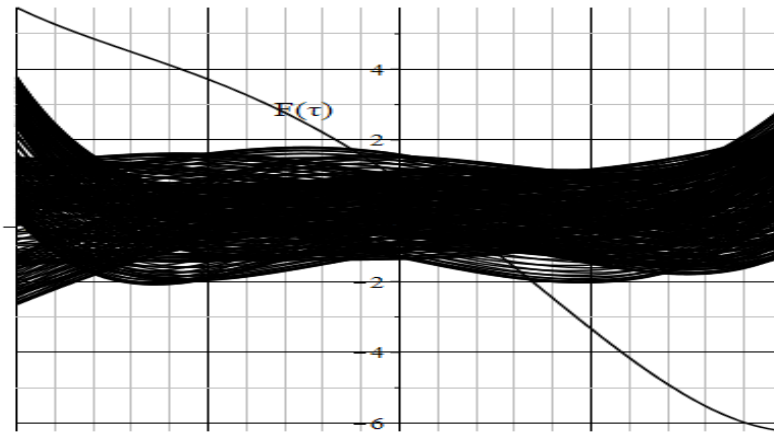


Рисунок 4.13 Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів змінюються з часом по гармонічному закону з різними періодами, а в один момент часу в концентрації другого газу відбувається стрибок, що в 10 разів перевищує середнє значення

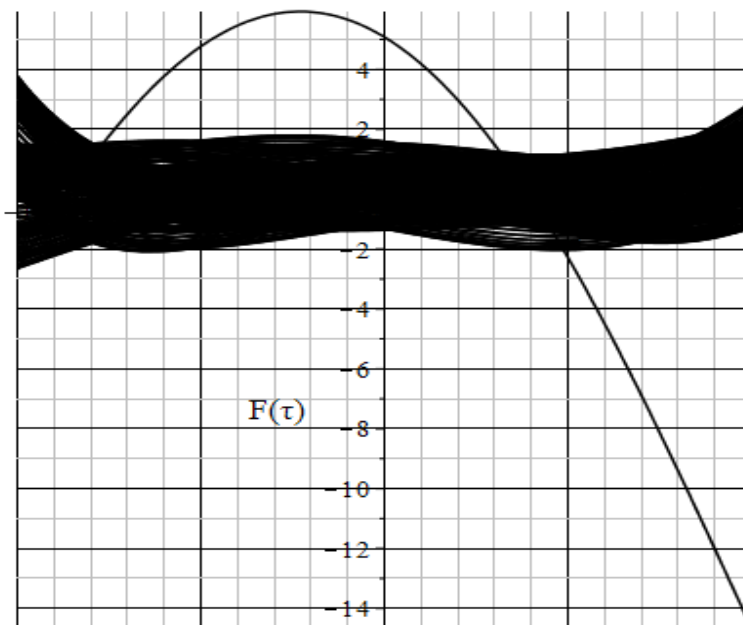


Рисунок 4.14 Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів змінюються з часом по гармонічному закону з різними періодами, а в один і той же момент часу в концентрації другого та третього газів відбувається стрибок, що в 10 разів перевищує середні значення

Часова залежність концентрації газу з низькою кореляцією (при моделюванні це білий шум) не спотворює знайдені закономірності (рисунок 4.15 ).

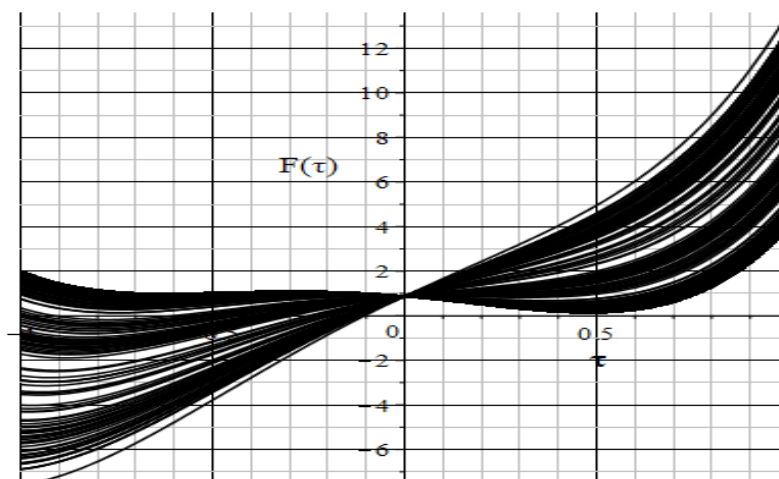


Рисунок 4.16 - Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом (суцільна лінія), а концентрація другого газу є білим шумом інтенсивністю 50% від максимуму концентрації

Часові залежності концентрації газу з високою кореляцією створюють вузький портрет, якщо концентрації інших газів майже не змінюються (рисунок 4.17).

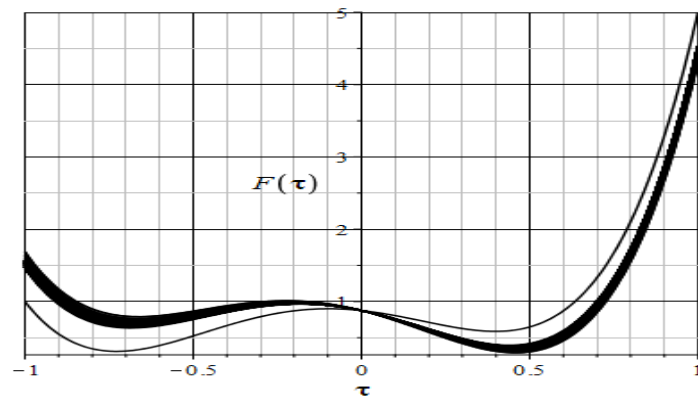


Рисунок 4.17 - Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом, а концентрація другого газу отримана з експериментальних даних

При зменшенні кількості газів, в яких концентрація майже не змінюється, ширина портрету збільшується (Рисунки 4.18-4.20).

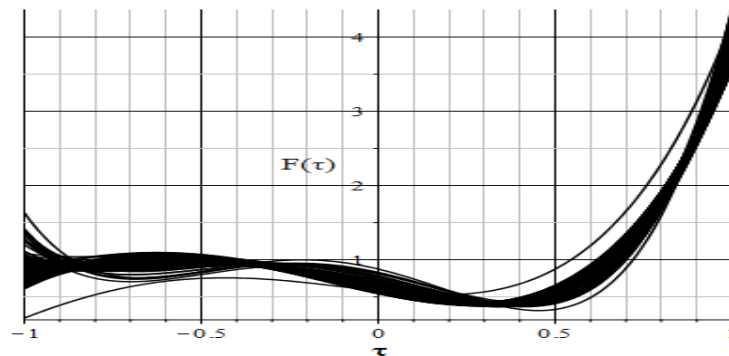


Рисунок 4.18 - Узагальнені функції у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом, а концентрації першого та другого газів отримані з експериментальних даних

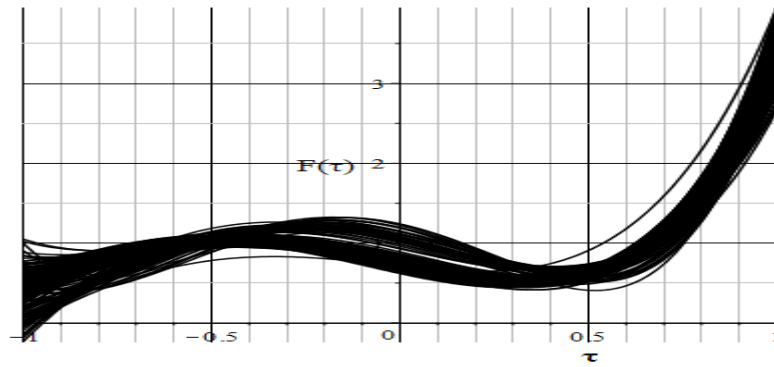


Рисунок 4.19 - Узагальнені функції у випадку, коли концентрації четвертого і п'ятого шкідливих газів не змінюються з часом, а концентрації першого, другого та третього газів отримані з експериментальних даних

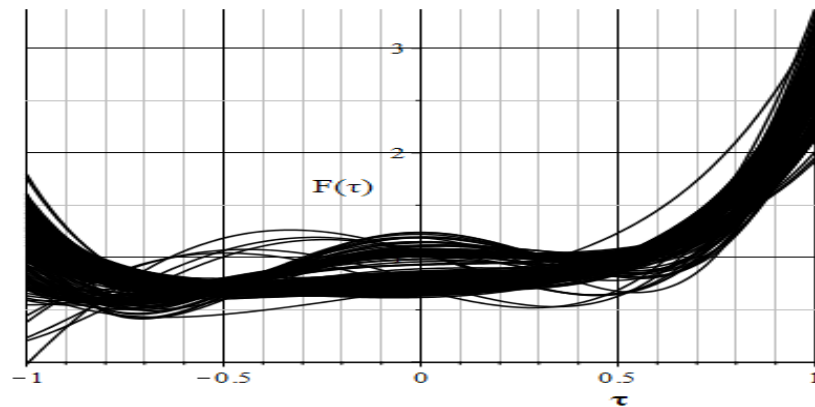


Рисунок 4.20 - Узагальнена функція у випадку, коли концентрація п'ятого шкідливого газу не змінюється з часом, а концентрації всіх інших газів отримані з експериментальних даних

Нарешті, при змінюванні в часі всіх концентрацій газів портрет стану ТЕЦ набуває своєї форми для вимірних експериментальних даних (рисунок 4.21).

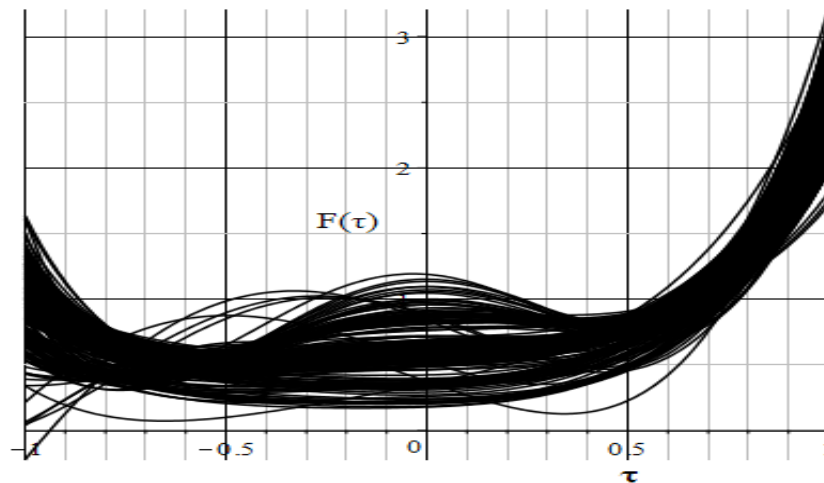


Рисунок 4.21 - Узагальнена функція у випадку, коли всі концентрації шкідливих газів отримані з експериментальних даних

В цілому, оператору без якісної підготовки важко візуально діагностувати екологічний стан ТЕЦ. Стрибки концентрації газу, якщо вони відбуваються в реальних умовах нестационарних випадкових процесів, що описують ці концентрації, не завжди чітко виділяються. Залежність виду візуального образу від амплітуди стрибка отримати не просто. Потрібний інший підхід, що створить умови для якісного візуального аналізу і дасть можливість розробити метрологічні вимоги до точності вимірювань концентрації шкідливих газів.

#### 4.3 Метрологічні вимоги до точності вимірювань концентрації шкідливих газів

В дипломній роботі складно коректно оцінити точність вимірювання концентрації газів, оскільки при проведенні експериментів таке завдання не ставилось. Основна проблема – необхідність спрощення візуального образу екологічного стану ТЕЦ. Для цього для реальних експериментальних даних розраховувалось сімейство узагальнених функцій  $F_1(\tau)$  без стрибків концентрацій всіх газів, а потім функцій  $F_2(\tau)$  зі стрибком або стрибками.

На рисунках 4.22 – 4.26 показана різниця сімейств функцій  $x(\tau) = F_1(\tau) - F_2(\tau)$  для різних амплітуд стрибків.

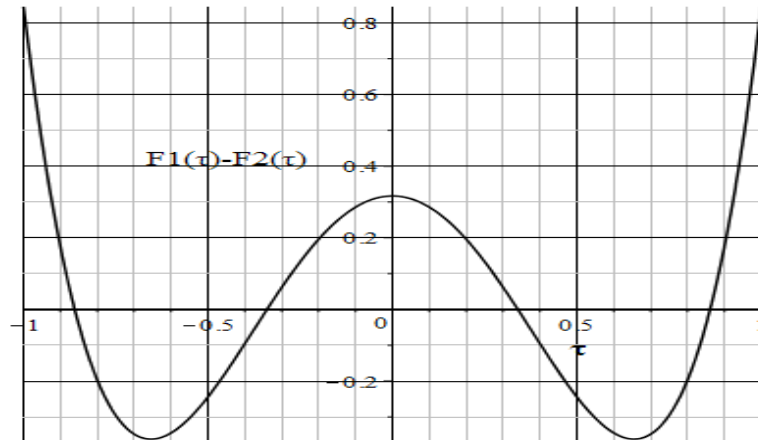


Рисунок 4.22 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в першому газі в один із моментів часу з'явився стрибок з 0.1548 до одиниці

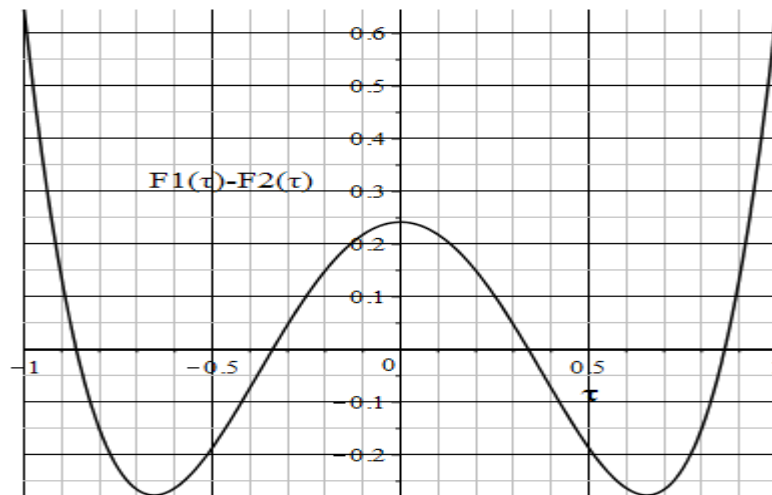


Рисунок 4.23 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в першому газі в один із моментів часу з'явився стрибок з 0.1548 до 0.8



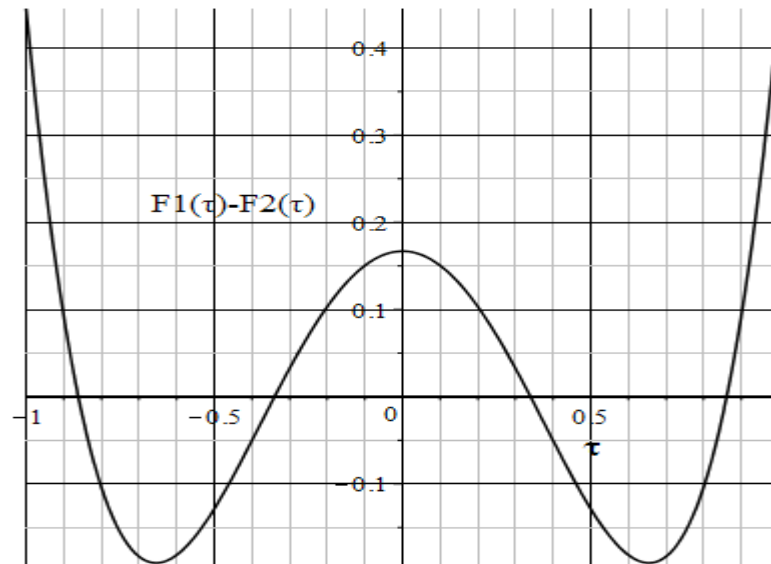


Рисунок 4.24 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в першому газі в один із моментів часу з'явився стрибок з 0.1548 до 0.6

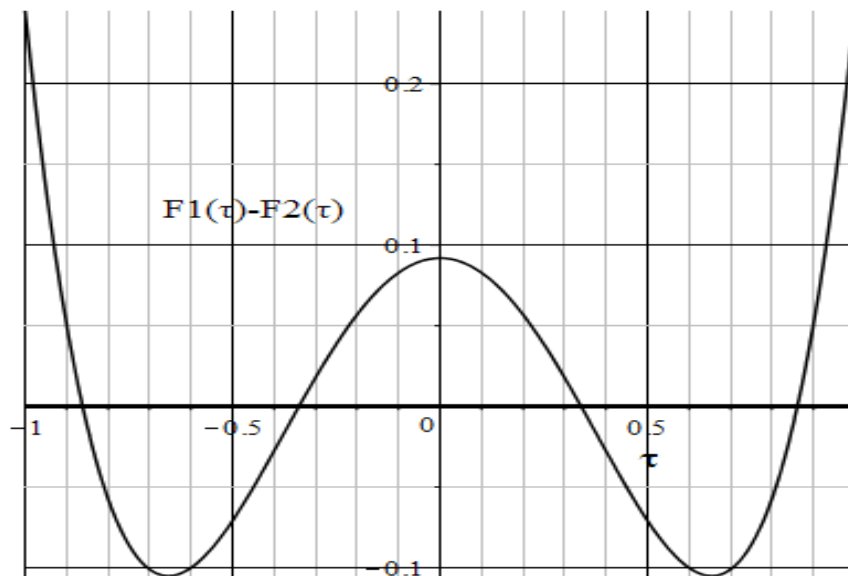


Рисунок 4.25 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в першому газі в один із моментів часу з'явився стрибок з 0.1548 до 0.4

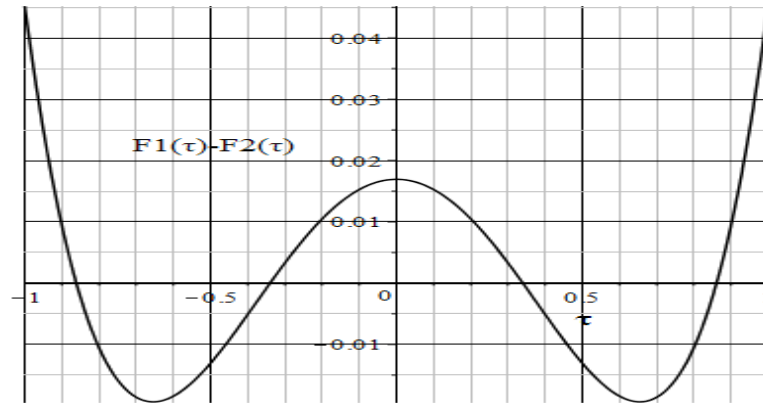


Рисунок 4.26- Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в першому газі в один із моментів часу з'явився стрибок з 0.1548 до 0.2

Аналіз рисунків 4.22 – 4.26 показує, що вид функції  $x(\tau)$  практично однаковий для всіх амплітуд стрибків, однак числові значення на цих рисунках різні і для вибраного значення  $p = 0$  можна побудувати залежність показника  $x$  від відносного значення стрибка концентрації будь якого газу (рисунок 4.27). При моделюванні вибрано перший газ, а показник тепер вже не залежить від  $\tau$ , оскільки це значення зафіксоване ( $\tau = 0$ ).

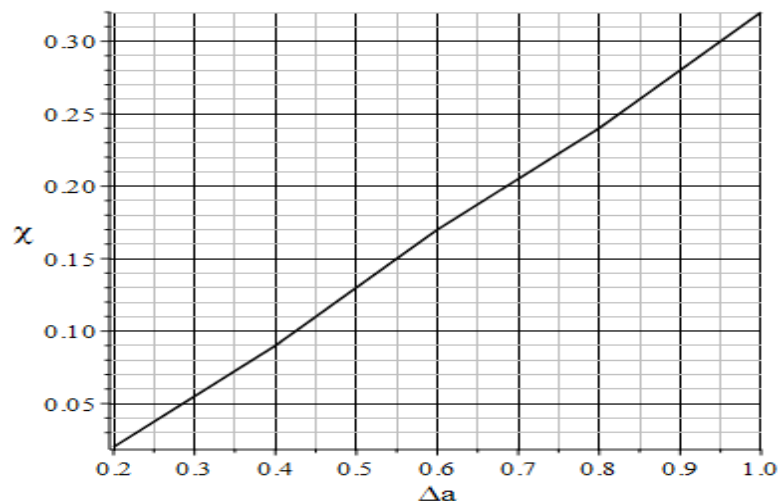


Рисунок 4.27 Залежність різниці  $x = F_1(\tau) - F_2(\tau)$  при  $\tau = 0$  від величини стрибка концентрації першого газу  $\Delta a_1$

Неважко бачити, що при виборі порогу  $x$  завжди можна оцінити візуально амплітуду стрибка і швидко перерахувати його в реальну концентрацію конкретного газу, а потім порівняти її з вимогами ДСТУ.

Як впливає з попереднього аналізу, перехід від складних портретів стану ТЕЦ до простих у вигляді однієї кривої лінії дає можливість істотно спростити процедуру візуального оцінювання. Крім того, це створює відносно прості умови для визначення впливу похибок вимірювань на вид функції  $\Delta F_1 = \Delta F_1(\tau) - F_2(\tau)$  (рисунки 4.28 – 4.30).

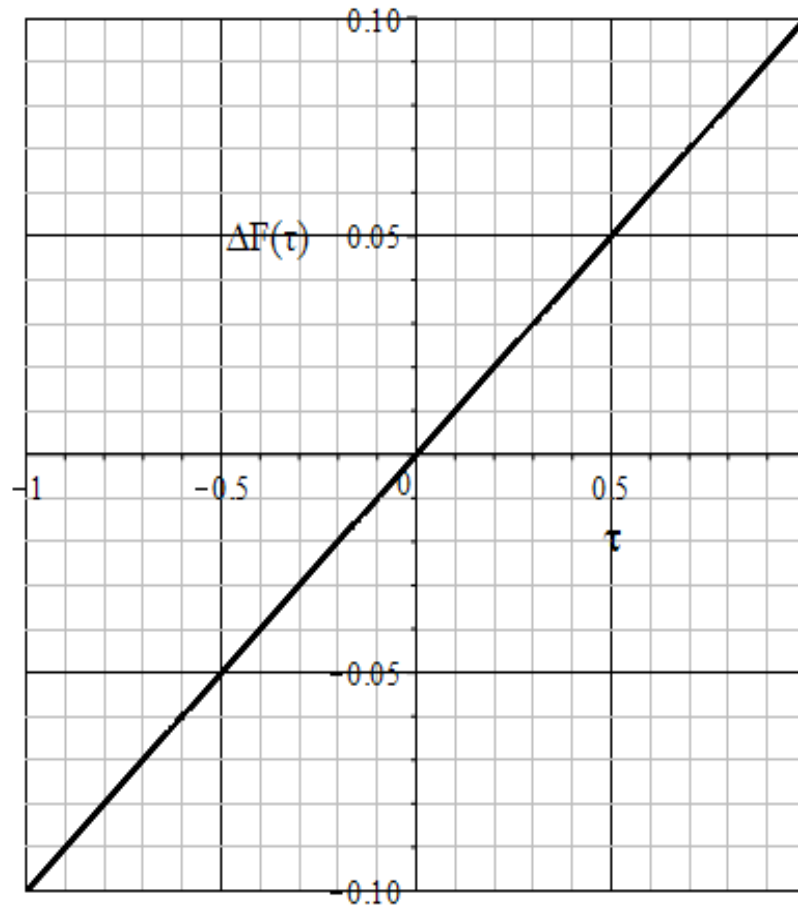


Рисунок 4.28 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом і функції для випадку, коли при вимірюванні концентрації другого газу спостерігається систематична похибка 10 %

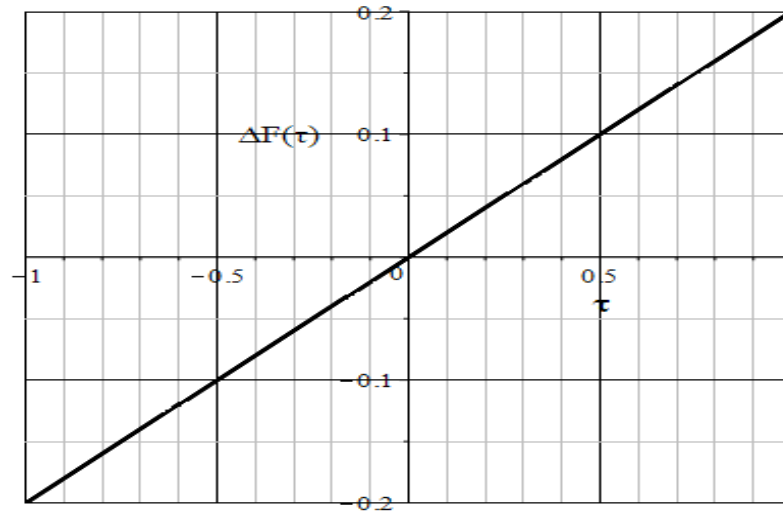


Рисунок 4.29 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом і функції для випадку, коли при вимірюванні концентрації другого газу спостерігається систематична похибка 20 %

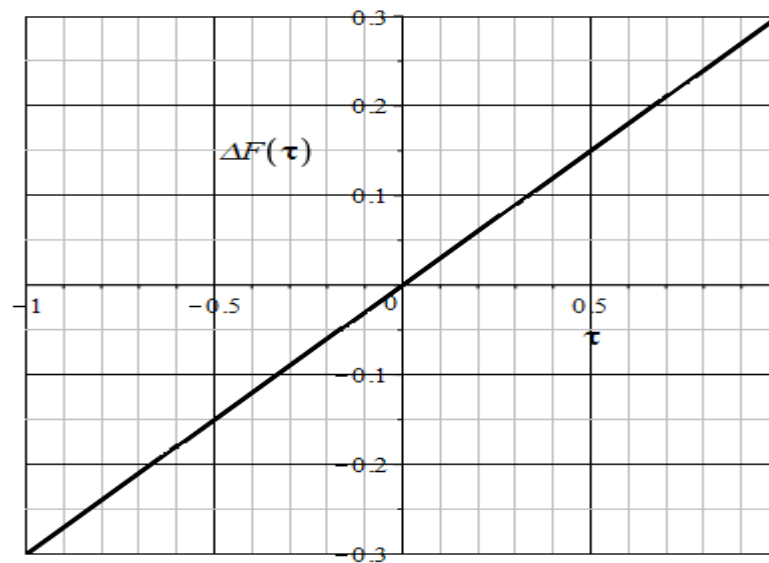


Рисунок 4.30 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом і функції для випадку, коли при вимірюванні концентрації другого газу спостерігається систематична похибка 30 %

З урахуванням результатів, що приведені на цих рисунках, легко побудувати залежність функції  $\Delta F(\tau)$  при фіксованому значенні параметра  $\tau$

від відносного значення систематичної похибки вимірювання стрибка концентрації газів (рисунок 4.31).

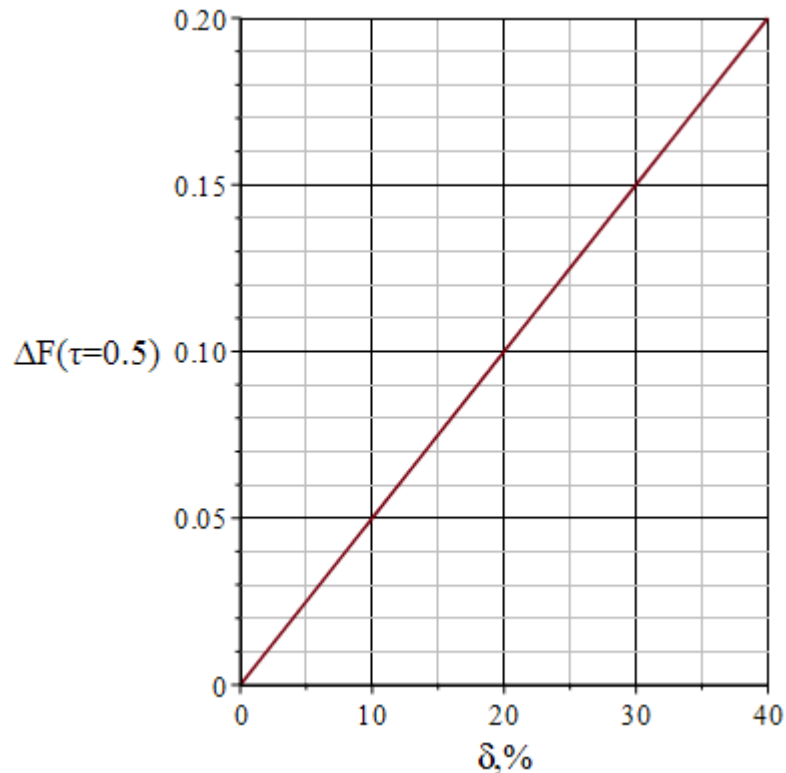


Рисунок 4.31 – Залежність різниці узагальнених функцій у випадках однакової концентрації всіх газів і наявності систематичної похибки вимірювання концентрації другого газу від значення відносної похибки вимірювання цього газу

Як і раніше, при встановленні максимального значення похибки вимірювання концентрації газів можна визначити допустиме значення різниці  $\Delta F(\tau)$  і проводити візуальне оцінювання стану ТЕЦ тільки при умові, що максимальні похибки не перевищують цього допустимого значення. В найпростіших умовах, коли всі концентрації шкідливих газів є незмінними, але вимірювання супроводжується відносними похибками 20 %, то портрет стану ТЕЦ є близьким до деякої кривої лінії (рисунок 4.32).

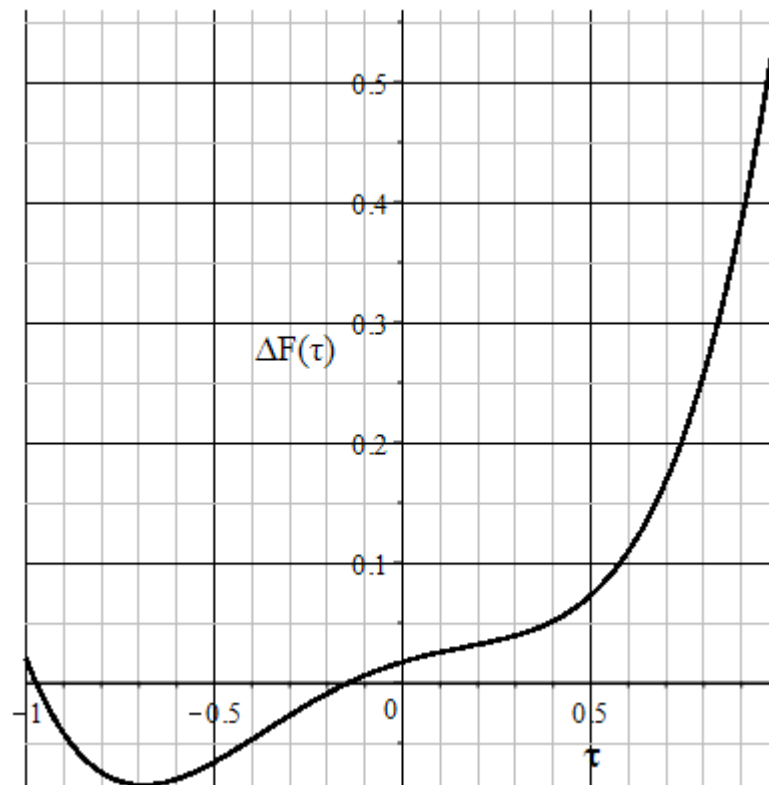


Рисунок 4.32 - Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції, коли всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом і функції для випадку, коли при вимірюванні концентрації всіх газів спостерігаються систематичні похибка в межах до 20 %

#### 4.4 Висновки по четвертому розділу

Метрологічне забезпечення вимірювань в інтересах забезпечення якісної візуалізації випадкових процесів концентрацій газів складається з встановлення вимог щодо максимальних похибок вимірювання цих концентрацій і подальшого визначення різниці  $\Delta F(\tau)$ . Для проведення досліджень цієї проблеми необхідно мати опорну модель: графічну для візуального (грубого) оцінювання стану та математичну для проведення точного контролю концентрації шкідливих газів. У розділі було чітко зазначено, що при збільшенні амплітуди стрибків концентрації шкідливого газу приводить до істотного змінювання узагальненої функції  $\Delta F(\tau)$ . При  $\tau = 0,5$  залежність приросту функції  $\Delta F(\tau)$  від амплітуди дуже короткого в часі

стрибка (при моделюванні стрибок відбувся в деякий момент часу і його тривалість дорівнювала нулю) має вигляд (рисунок 4.6). Якщо наперед вибрати поріг узагальненої функції  $\Delta F(\tau)$  при деякому значенні  $\tau$ , то перевищення порогу буде свідчити про виявлення стрибка концентрації одного з шкідливих газів. Це є ознакою для прийняття рішення про екологічну небезпеку ТЕЦ.

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ТЕЦ

Навіть розуміючи відносну безпечність роботи саме метролога – аналітика, маю зазначити важливість дотримання всіх вимог охорони праці, для забезпечення максимальної безпеки всього персоналу на об'єктах дослідження.

Для початку, зазначу одну з основних ЧП, які можуть виникнути на об'єкті дослідження - пожежа. Основними причинами, які сприяють виникненню й розвитку пожеж, є порушення правил застосування й експлуатації приладів і встаткування з низьким протипожежним захистом; використовувані при будівництві в ряді випадкових матеріалів, які не відповідають вимогам пожежної безпеки; відсутність ефективних засобів боротьби з вогнем. Експлуатаційні заходи передбачають правильну експлуатацію системи та своєчасний огляд і ремонт. Технічними заходами є дотримання протипожежних норм в побудові електричних мереж системи і в процесі експлуатації. Забороняється проводити електрогазозварювальні та вогняні роботи в небезпечній близькості від розміщення елементів системи. Доцільне вживання запобіжників в мережах живлення системи.

Пожежно-технічна комісія не рідше 1 рази на місяць зобов'язана проводити ретельне обстеження по дотриманню протипожежного режиму у всіх виробничих і службових приміщеннях. Вона повинна контролювати виконання розпоряджень Державної служби України з питань праці й витрат, відпущених на ці заходи.

На кожному робочому місці відповідно до робочого матеріалу та приладів повинні знаходитись необхідний тип та марка вогнегасника.

Приклади типу, марки вогнегасників:

- вуглекислотний ОУ;
- порошковий ОП-2;
- хладонів ОХ-2.

Далі, виходячи з пожежних застережень, потрібно зазначити безпеку головного чинника для комфортної роботи працівника – це навколишнє середовище. Гігієнічні норми мікроклімату припускають забезпечення умов для роботи теплообмінної системи і її регулюючих центрів в організмі людини без якого-небудь навантаження.

Температура навколишнього середовища повинна бути в межах від 18 °С до 22 °С, а швидкість руху повітря від 0,1 м/с до 0,2 м/с.

Для покращення та створення комфортного мікроклімату для користувачів ПК є створення механічної вентиляції. Механічна вентиляція здійснюється в результаті переміщення повітря силами, які створюються вентиляторами. Механічну вентиляцію використовують у випадках, коли необхідно постійно вентилувати приміщення не залежне від зовнішніх метеорологічних умов, а також, коли в приміщеннях незначні тепловиділення.

Найкращим рішенням для створення вентиляції було б установити повне кондиціонування повітря, що забезпечить сталість параметрів мікроклімату (температури, вологості, рухливості й чистоти повітря) у незалежності від зовнішніх умов.



## ВИСНОВКИ

Метою дипломної роботи була розробка методу візуалізації багатомірних випадкових процесів та формування вимог щодо точності вимірювання параметрів реалізацій цих процесів. Базуючись на висновках третього розділу була розглянута важливість узагальненої візуалізації багатомірних процесів та формування опорної моделі для системи оцінювання стану концентрації шкідливих газів на ТЕЦ.

Далі в четвертому розділі використовуючи узагальнену візуалізацію розроблений метод при якому до кожної точки у багатомірному просторі відповідає одна абстрактна крива на площині. Якщо деякі координати точки перевищують допустимі, то крива зміниться і це буде ознакою для аналізу та виявленню перевищень допустимих значень.

Виходячи з результатів цього дослідження можна сказати, що метод, який представлений в дипломній роботі, з метрологічної точки зору є ефективним та універсальним. Він переважає методи візуалізації та обробки даних, що розглядалися в роботі, в плані фінансових затрат, бо математичні розрахунки не потребують дорогоцінного обладнання. Також метод символізму дає змогу ефективно та швидко проаналізувати вхідні дані та зробити виконавши статистичні і математичні операції з вхідними даними.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. О. Г. Берестнева, В. А. Воловоденко, К. А. Шаропин, О. М. Гергет. Визуализация экспериментальных многомерных данных на основе обобщенных графических образов. – 2011. -С. 3-18.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян [и др.]. - СПб. БХВ-Петербург, 2004. – С. 45- 92.
3. Методы интеллектуального анализа данных при создании баз знаний / В. С. Аbruков [и др.] // Вестн. Чуваш. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 140–146.
4. Демченко А. А. Использование OLAP-технологий при обработке данных // Решетневские чтения. Информационно-управляющие системы. - 2014. - С. 185-186.
5. Демченко А. А., Молоков В. В. OLAP-технология анализа данных // Секция «Информационно-управляющие системы». - 2014. - № 2/2. - С. 332-333.
6. Кокоулин А. Н., Южанинов Р. И. Многомерный анализ данных по обращаемости в лечебные учреждения с помощью средств Oracle Olap // Вестник ПНПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2015. - № 13. - С. 5-14.
7. Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Представление и применение знаний о кубах –концептах для поддержки адаптации манипулирования объектами анализа OLAP// Вестник СибГАУ. - № 30 (49). - 2013. - С. 51-57.
8. Терещенко О. В., Курилович Н. В., Князева Е. И. Многомерный статистический анализ данных в социальных науках : учеб. пособие. – Минск : БГУ, 2012. 239 с. : ил.
9. Шешукова Т. Г. Многомерный анализ данных: теория и практика // Экономический анализ: теория и практика. – № 17 (75). – 2006. – С. 8–13
10. Эргашев А.А. Bigdata: Бугунги салмоқли маълумотлар таҳлили. //«Инновацион ғоялар, ишланмалар ва уларни ишлаб чиқариш ҳамда таълимда

қўллашнинг замонавий муаммолари» халқаро илмий-амалий конференция. 2019 йил 15 апрель, Андижон.

11. Эргашев А.А. Выбор паттерна проектирования автоматизированной// информационной системы. // Журнал Проблемы науки. -2021 - 6`65. -С 17

12. Codd E. F. Providing OLAP to user-analysts: An IT mandate : technical report. San Jose : Codd and Date, 1993.

13. Data Cube: A Relational Aggregation Operator Generalizing Group-By, Cross-Tab, and Sub-Totals / J. Gray, A. Bosworth, A. Layman, H. Priahesh // Proc. of the 12th Intern. Conf. on Data Engineering. IEEE, 1995. P. 152–159.

14. Ergashev A.A., Eshankulov H.I. Bilimlarni tasvirlashda freymli modellardan foydalanish.// Buxoro davlat universiteti Ilmiy Axboroti jurnali. - 2019/4. 92-b.

15. Korobko A., Penkova T. OLAP-modeling of municipal procurement automation support problem // Proc. Intern. Conf. on Conceptual Structures (ICCS'09). 2009. P. 87–91

16. Andrews, David F. (1972). «Plots of High-Dimensional Data». International Biometric Society 18 (1): 125–136. JSTOR 2528964.

17. Аналитика больших данных Главацкий С.Т., Бурыкин И.Г., Айдагулов Р.Р.

18. Gorban A. et al. Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, LNCSE 58, Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2007.

19. Bondarev A.E., Galaktionov V.A. Analysis of Space-Time Structures Appearance for Non-Stationary CFD Problems // Proceedings of 15-th International Conference On Computational Science ICCS 2015 Rejkjavik, Iceland, June 01-03 2015, Procedia Computer Science, Volume 51, 2015, Pages 1801–1810.

20. Bondarev A.E., Galaktionov V.A. Multidimensional data analysis and visualization for time-dependent CFD problems // Programming and Computer Software, 2015, Vol. 41, No. 5, pp. 247–252, DOI: 10.1134/S0361768815050023.

21. Bondarev A.E., Galaktionov V.A. Multidimensional data analysis and visualization for time-dependent CFD problems // Programming and Computer Software, 2015, Vol. 41, No. 5, pp. 247–252, DOI: 10.1134/S0361768815050023.
22. Bondarev A.E., Bondarenko A.V., Galaktionov V.A., Klyshinsky E.S. Visual analysis of clusters for a multidimensional textual dataset / Scientific Visualization. V.8, № 3, pp.1-24, 2016, URL: <http://sv-journal.org/2016-3/index.php?lang=en>
23. Niedoba T., Multi-parameter data visualization by means of principal component analysis (PCA) in qualitative evaluation of various coal types, Physicochemical Problems of Mineral Processing, vol. 50, iss. 2, pp. 575-589, 2014.
24. Rocha Neto A., Barreto G., 2009. On the Application of Ensembles of Classifiers to the Diagnosis of Pathologies of the Vertebral Column: A Comparative Analysis, IEEE Latin America Transactions, 7(4):487-496.
25. Эргашев А.А., Садикова Ф.С. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНОГО БАЗЫ ДАННЫХ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 12(93). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12865> (дата обращения: 20.11.2022).
26. Барсегян, А. А. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 512 с.
27. Макарова Н.В. Информатика: Учебник для вузов / Макарова Н.В., Волков В.Б. – СПб.: Питер, 2015. – 576 с.
28. Krzysztof J. Cios, Data Mining: A Knowledge Discovery Approach, Springer 2007
29. Jure Leskovec, Anand Rajaraman, Jeffrey D. Ullman. Mining of Massive Datasets. © 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 Anand Rajaraman, Jure Leskovec, and Jeffrey D. Ullman. Stanford Univ., USA.
30. Wil M. P., van der Aalst. Process Mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. ISBN: 978-3-642-19344-6 (Print) 978-3-642-19345-3 (Online).

31. Hasso Plattner. A Course in In-Memory Data Management. The Inner Mechanics of In-Memory Databases. ISBN: 978-3-642-55269-4 (Print) 978-3-642-55270-0 (Online).
32. MongoDB Data Modeling. Focus on data usage and better design schemas with the help of MongoDB. Wilson da Rocha França. 2015, Packt Publishing. ISBN 978-1-78217-534-6.
33. Зиновьев А. Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000.
34. Яу Н. Искусство визуализации в бизнесе. Как представить сложную информацию простыми образами / пер. с англ. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 352 с.
35. Parallel Coordinates Class [Электронный ресурс]. URL: <http://root.cern.ch/root/html532/TParallelCoord.html> (дата обращения: 13.05.2014).
36. Gantz John, Reinsel David. <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-thedigital-universe-in-2020.pdf>
37. Juha Juselius. Advanced condition monitoring methods in thermal power plants. 2018 21-26с.

ДОДАТОК А  
ДАНЫ 3 ПРОГРАМИ MAPLE

restart;

with(orthopoly);

V1n := [.4292, .4292, .4418, .4332, .4647, .4436, .4140, .4306, .3856, .3241,  
.3781, .3588, .3650, .3875, .3525, .3246, .3547, .4471, .5830, .7189, .8826,  
.8563, .7335, .7613, .7084, .6469, .6180, .8273, 1.0000, .8256, .6913, .6223,  
.5812, .4261, .2372, .1722, .1623, .1570, .1689, .1979, .2302, .2887, .3170,  
.3291, .3400, .3703, .3992, .4463, .4710, .2956, .2305, .2158, .2536, .2789,  
.3039, .3123, .3252, .3373, .3554, .3589, .3677, .3707, .3854, .3759, .4001,  
.4001, .5225, .5096, .5217, .5243, .4056, .3575, .2366, .2049, .1934, .1953,  
.2119, .2119, .2309, .2577, .2696, .2806, .3089, .3136, .3029, .2953, .2978,  
.3171, .3246, .3303, .3373, .3460, .3555, .3755, .3755, .3794, .3973, .4848,  
.3350, .3810, .4302, .4241, .3219, .2845, .3172, .3237, .3954, .3559, .3653,  
.3770, .3772, .3820, .3968, .3928, .4089, .4249, .4254, .4579, .4354, .4508,  
.5303, .3835, .4281, .4193, .4453, .3748, .3872, .3938, .3975, .4776, .5044,  
.4860, .4101, .3671, .3862, .3636, .3245, .3205, .3152, .3251, .3354, .3277,  
.3221, .3145, .3180, .2930, .2730, .2635, .2657, .2740, .2964, .3051, .3486,  
.3081, .3030, .2664, .2570, .2986, .3158, .2585, .1635, .1193, .1134, .1281,  
.1364, .1683, .1533, .1542, .1488, .1681, .1790, .1857, .2028, .2146, .2094,  
.2271, .2520, .2423, .2357, .2408, .2038, .1572, .1297, .1297, .1458, .1489,  
.1489, .1669, .1757, .1778, .1885, .1919, .2137, .2047, .2077, .2173, .2173,  
.2172, .2377, .2299, .2289, .2289, .2371, .2415, .2464, .2548, .2469, .2529,  
.2688, .2733, .2759, .2688, .2629, .2627, .2776, .3012, .3234, .3045, .3062,  
.3114, .2967, .2719, .2681, .2673, .3082, .3039, .3302, .3169, .3136, .2959,  
.2661, .2768, .2962, .3118, .3308, .3460, .3552, .3552, .3427, .3291, .3147,  
.2541, .1799, .1382, .1322, .1411, .1497, .1515, .1530, .1569, .1627, .1805,  
.1771, .1797, .1816, .1914, .1983, .1963, .2022, .2043, .2058, .2047, .2056,

.2084, .2084, .2158, .2105, .2199, .2315, .2413, .2454, .2480, .2480, .2595,  
 .2431, .2509, .2574, .1846, .1568, .1464, .1548, .1637, .1737, .1818, .1896,  
 .1987, .2028, .2079]);

V2n := [.5159, .5297, .5021, .5074, .5233, .4564, .5233, .4999, .4458, .5201,  
 .4564, .4405, .4363, .4639, .5180, .4883, .3153, .5222, .4692, .4702, .4639,  
 .4586, .4681, .3874, .3917, .4448, .3482, .4681, .3662, .5456, .4235, .3683,  
 .4692, .4501, .5222, .4968, .4586, .4702, .4617, .4660, .3471, .4596, .4893,  
 .5275, .4692, .4522, .4670, .3980, .4755, .4904, .5254, .4957, .5265, .4649,  
 .4798, .4522, .4925, .4458, .5031, .4363, .5201, .4830, .5244, .4384, .4225,  
 .4692, .4713, .5222, .4798, .4511, .4670, .4936, .5254, .5244, .4978, .4352,  
 .3683, .5201, .4936, .4596, .4448, .4660, .4628, .4861, .5222, .5233, .5254,  
 .4363, .4278, .4586, .4702, .4702, .4681, .5010, .5010, .4363, .4692, .4702,  
 .4681, .4437, .4734, .4681, .4341, .4702, .5169, .4660, .4670, .3885, .4692,  
 .4989, .4501, .4872, .3099, .5116, .4681, .5201, .4649, .5159, .4426, .5201,  
 .4872, .4639, .5169, .4893, .5169, .5169, .4808, .4586, .4978, .4543, .4426,  
 .5127, .4320, .5222, .4777, .4256, .5074, .4617, .4522, .4416, .4872, .4246,  
 .4405, .4660, .5042, .5265, .4373, .4713, .4968, .4426, .4575, .4416, .4586,  
 .5275, .4883, .4617, .5021, .4936, .4915, .4978, .5137, .5106, .4999, .4777,  
 .4246, .5180, .5127, .4575, .4458, .4352, .4670, .5095, .4394, .4883, .4766,  
 .4564, .4246, .5021, .4861, .4469, .5095, .4299, .4586, .4564, .4819, .5095,  
 .5053, .4384, .5286, .4702, .5074, .5193, .5232, .4671, .5118, .4822, .4734,  
 .4343, .4267, .4717, .5217, .5210, .4342, .4607, .5192, .4415, .4783, .4260,  
 .4268, .4280, .4481, .4850, .4293, .4458, .4248, .4722, .5254, .4685, .4807,  
 .4927, .4823, .5247, .4422, .4280, .5247, .4422, .4280, .4932, .4834, .4261,  
 .4566, .4261, .4674, .4771, .4675, .4680, .4293, .4685, .4681, .4701, .4295,  
 .4258, .4502, .4469, .4634, .4908, .4454, .4464, .4695, .4300, .5227, .4788,  
 .4932, .4675, .4696, .4929, .4661, .4781, .4717, .4691, .4707, .4665, .4363,  
 .4697, .4802, 1.0000, .4453, .4591, .4502, .4521, .4346, .4895, .5228, .4728,  
 .4401, .4675, .4590, .4929, .4713, .4459, .4622, .4293, .4717, .4713, .4502,  
 .4719, .4735, .4675]);

V3n := [.2609, .2647, .2501, .2501, .2618, 0.954e-1, .1042, .1738, .5043, .5341, .5617, .5479, .6370, .6590, .6487, .6473, .6305, .1074, .1557, .1600, .1805, .1676, .1550, .1263, .1508, .1826, .1638, .5482, .3704, .3212, .3747, .4304, .3799, .3588, .3045, .2703, .2597, 0.785e-1, .1053, .1251, 0.928e-1, .1875, .1779, .1578, .1477, .1695, .1815, .1683, .1395, .1470, .1461, .1863, .1279, .1317, .1569, .1331, .1170, .1276, .1393, .1322, .1663, .1887, .2023, .2398, .2154, .2154, .2217, .2906, .3150, .3554, .3832, .7063, .5764, .5763, .5801, .5893, .5378, .5043, .5341, .5617, .5479, .6370, .6590, .6487, .6473, .6305, .6832, .7032, .7313, .7336, .7190, .7898, .7881, .6810, .6727, .7248, .7718, .7291, .6353, .8744, .9293, .8864, .5186, .5419, .4929, .6143, .5918, .6149, .6451, .6070, .6251, .6223, .6569, .6369, .6736, .6915, .7049, .6349, .6911, .7879, .8056, .6743, .7737, .8124, .7178, .7715, .6922, .7389, .7658, 1.0000, .9907, .8715, .7817, .8404, .8404, .8404, .8687, .8650, .8668, .8911, .8376, .8342, .8535, .8907, .9107, .8987, .8053, .7931, .7836, .7907, .8048, .7925, .7559, .5643, .5252, .5614, .7215, .7594, .8270, .7453, .7222, .7277, .7206, .7309, .7261, .5781, .5155, .5856, .7145, .8363, .7808, .7295, .6984, .6492, .5665, .7501, .7487, .7022, .6601, .7344, .7371, .7501, .7434, .7605, .7546, .7286, .6157, .6186, .6008, .6103, .5909, .6054, .5533, .5477, .5810, .6175, .6170, .6313, .5750, .5376, .5586, .5856, .5472, .5478, .5278, .4854, .5105, .5310, .5609, .5807, .5864, .6206, .6267, .6415, .6686, .6310, .5618, .5463, .6155, .6983, .6880, .5874, .5986, .5912, .6197, .5591, .6267, .5989, .5896, .6255, .5697, .6256, .6088, .6082, .6092, .6093, .6310, .6568, .6796, .6889, .7058, .7031, .7233, .7186, .7307, .8291, .7955, .7963, .7664, .7842, .7743, .8981, .8330, .8117, .8367, .8308, .8107, .8198, .8152, .8363, .8609, .8891, .8668, .8446, .8211, .7350, .6394, .6495, .6453, .6444, .6318, .6719, .6963, .6832, .6356, .6869, .7275, .7567, .7365, .7179, .7298, .7098, .7006, .7396, .7241, .7627, .7694, .7730]);

V4n := Vector[row](288, [.2697, .2645, .2626, .2516, .9986, .2578, .2205, .2085, .2013, .1760, .1956, .1860, .1913, .1994, .1951, .1851, .1927, .2229,



.2635, .2960, .3185, .3061, .2740, .2850, .2721, .2635, .2640, .3319, .3902,  
.3405, .3099, .2979, .2908, .2774, .2597, .2501, .2501, .2171, .2186, .2219,  
.9990, .2329, .2286, .2291, .2243, .2310, .2334, .2410, .2444, .2391, .2377,  
.2463, .2635, .2573, .2587, .2492, .2463, .2439, .2415, .2367, .2386, .2372,  
.2415, .2396, .9598, .2544, .2826, .2501, .2487, .2573, .2477, .3525, .3190,  
.2836, .2659, .2611, .2578, .2415, .2396, .2453, .2415, .2563, .2812, .2850,  
.2783, .2736, .2673, .2697, .2664, .2649, .2669, .2664, .2716, .2721, .2573,  
.2573, .2635, .3118, .2367, .2516, .2836, .3314, .2463, .2138, .2429, .2382,  
.2759, .2501, .2525, .2539, .2501, .2458, .2516, .2501, .2573, .2578, .2630,  
.2783, .2630, .2669, .3147, .2377, .2587, .2496, .2697, .2377, .2525, .2482,  
.2439, .2597, .2554, .2511, .2358, .2238, .2386, .2386, .2339, .2453, .2453,  
.2525, .2511, .2506, .2420, .2382, .2425, .2496, .2468, .2444, .2391, .2310,  
.2353, .2353, .2626, .2463, .2554, .2315, .2176, .2296, .2339, .2434, .2415,  
.2492, .2458, .2511, .2597, .2764, .2372, .2233, .2095, .2396, .2611, .2563,  
.2573, .2496, .2296, .2410, .2587, .2587, .2530, .2449, .2434, .2487, .2496,  
.2573, .2616, .9866, .2496, .2516, .2525, .2477, .2477, .2406, .2587, .2444,  
.2410, .2458, .2439, .2396, .2578, .2434, .2463, .2458, .2482, .2506, .2506,  
.2420, .2420, .2468, .2492, .2468, .2453, .2463, .2377, .2406, .2444, .2549,  
.2645, .2458, .2396, .2458, .2377, .2305, .2501, .2453, .2621, .2525, .2568,  
.2487, .2415, .2386, .2367, .2391, .2525, .2606, .2611, .2616, .2621, .2606,  
.2501, .2468, .2482, .2477, .2559, .2611, .2626, .2669, .2635, .2554, .2468,  
.2453, .2429, .2626, .2530, .2458, .2530, .2530, .2525, .2492, .2477, .2496,  
.2487, .2487, .2525, .2549, .2496, .2539, .2496, .2501, .2511, .2496, 1.0000,  
.2516, .2544, .2563, .2406, .2458, .2520, .2578, .2559, .2530, .2635, .2697,  
.2740, .2721, .2683, .2707, .2664, .2635]);

V5n := Vector[row](288, [.8555, .8476, .8440, .8350, .8438, .8399, .8005,  
.7881, .7801, .7559, .7728, .7678, .7683, .7784, .7764, .7677, .7704, .8037,  
.8460, .8832, .9118, .8986, .8604, .8729, .8571, .8492, .8469, .9352, 1.0000,  
.9478, .9061, .8899, .8795, .8641, .8436, .8333, .8346, .7946, .7985, .8028,  
.8001, .8123, .8087, .8104, .8024, .8105, .8139, .8232, .8264, .8219, .8182,

.8261, .8501, .8414, .8411, .8324, .8305, .8244, .8255, .8177, .8216, .8182,  
 .8238, .8196, .8319, .8285, .8730, .8279, .8319, .8399, .8284, .8939, .9148,  
 .8675, .8509, .8467, .8392, .8191, .8191, .8273, .8259, .8384, .8683, .8722,  
 .8668, .8593, .8490, .8559, .8489, .8499, .8499, .8499, .8562, .8574, .8411,  
 .8381, .8466, .9052, .8187, .8360, .8695, .8705, .8265, .7945, .8227, .8185,  
 .8636, .8340, .8340, .8362, .8331, .8290, .8366, .8313, .8397, .8399, .8466,  
 .8632, .8466, .8564, .8805, .8182, .8447, .8311, .8522, .8215, .8360, .8322,  
 .8258, .8407, .8403, .8321, .8162, .8042, .8179, .8218, .8147, .8269, .8239,  
 .8326, .8320, .8324, .8241, .8195, .8216, .8300, .8280, .8240, .8200, .8128,  
 .8167, .8152, .8450, .8246, .8370, .8128, .7962, .8105, .8130, .8252, .8213,  
 .8297, .8269, .8346, .8411, .8618, .8185, .8026, .7914, .8176, .8461, .8418,  
 .8399, .8335, .8128, .8211, .8456, .8418, .8351, .8264, .8265, .8305, .8305,  
 .8377, .8454, .8335, .8296, .8338, .8344, .8290, .8293, .8253, .8429, .8269,  
 .8210, .8277, .8256, .8213, .8414, .8244, .8279, .8285, .8289, .8330, .8330,  
 .8254, .8226, .8305, .8305, .8265, .8291, .8271, .8190, .8194, .8257, .8378,  
 .8491, .8283, .8215, .8280, .8199, .8119, .8135, .8270, .8443, .8315, .8401,  
 .8288, .8219, .8191, .8194, .8031, .8024, .8050, .8014, .7892, .7925, .7553,  
 .7259, .7097, .7015, .7224, .7183, .7055, .7055, .5763, .6137, .6326, .6800,  
 .6830, .6990, .7046, .7095, .7244, .7034, .6872, .7125, .7044, .7021, .7066,  
 .7026, .6874, .6667, .6707, .6653, .6446, .6246, .6074, .6017, .5980, .5983,  
 .5919, .5957, .5835, .5780, .5096, .5013, .4884, .4961, .5130, .5233, .5351,  
 .5280, .5218, .5041, .5121, .5208, .5320]);

$f := \rightarrow V1n[j] \cdot P(0, \tau) + V2n[j] \cdot P(1, \tau) + V3n[j] \cdot P(2, \tau) + V4n[j] \cdot P(3, \tau) +$   
 $V5n[j] \cdot P(4, \tau);$

$Vf := vector(288, f);$

$plot(Vf, \tau = 0..1, color = black);$

$P(j, \tau)$  є поліномами Лежандра  $j$ -го порядку. Інші поліноми в Maple:

$T(j, \tau)$  - поліноми Чебишева;

$L(j, \tau)$  - поліноми Лагерра;

$H(j, \tau)$  - поліноми Ерміта;

$G(j, 1, \tau)$  - поліноми Гегенбауера першого роду.

ДОДАТОК Б  
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України

1

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра «Метрології та безпеки життєдіяльності»

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

магістра

НОРМУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОМІРНИХ  
ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ЇХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, професор

О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент

М. В. Москаленко

Керівник, канд. техн. наук, доцент

О. В. Полярус

Студент гр. ММ - 61 - 21

Е. І. Гулієв

Харків - 2022

# МЕТА, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

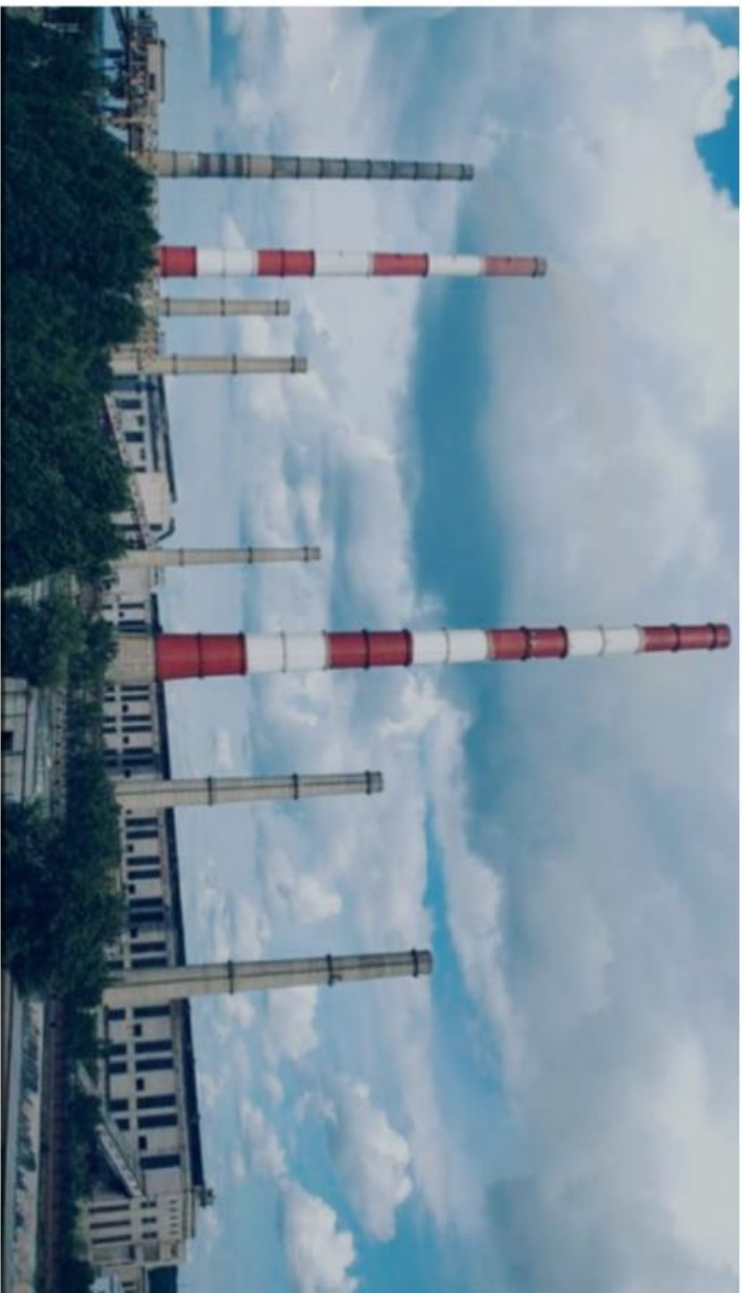
2

- **Мета роботи** – розробка методу візуалізації багатомірних випадкових процесів, що отримані вимірювальними інформаційними системами, та формування вимог щодо точності вимірювання параметрів реалізації цих процесів.
- **Об'єкт дослідження** – багатомірні випадкові процеси концентрації шкідливих газів на теплоелектроцентралі, що отримані вимірювальною інформаційною системою.
- **Предмет дослідження** – формування метрологічних вимог до вимірювання параметрів багатомірних випадкових процесів для їх візуалізації.

**В метрології часто використовується візуалізація для прийняття рішення обслуговуючим персоналом. Наприклад, кінцевий елемент вимірювальних інформаційних систем на атомних станціях – манометр призначений для прийняття рішення щодо величини тиску.**

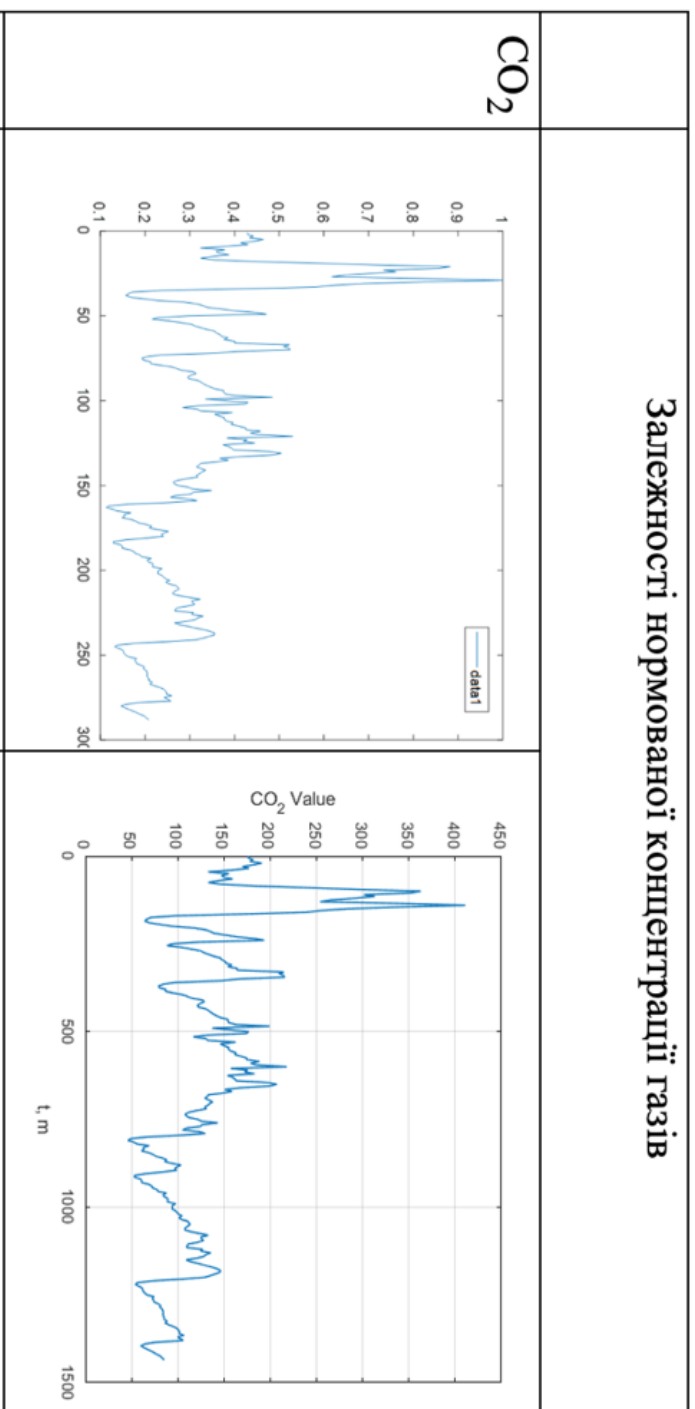


**В дипломній роботі використані результати експериментів з вимірювання концентрації шкідливих газів на однієї з ТЕЦ України. Вимірювання проводились дистанційним методом з допомогою ультразвукової вимірювальної системи, що встановлювалась на трубі, з якої продукти згорання виходили в атмосферу.**

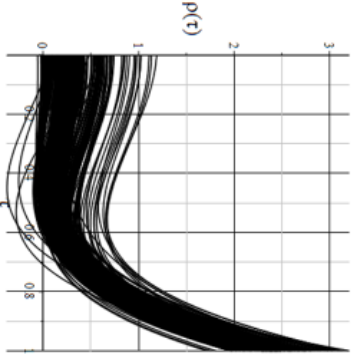
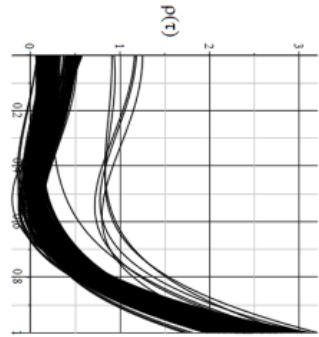




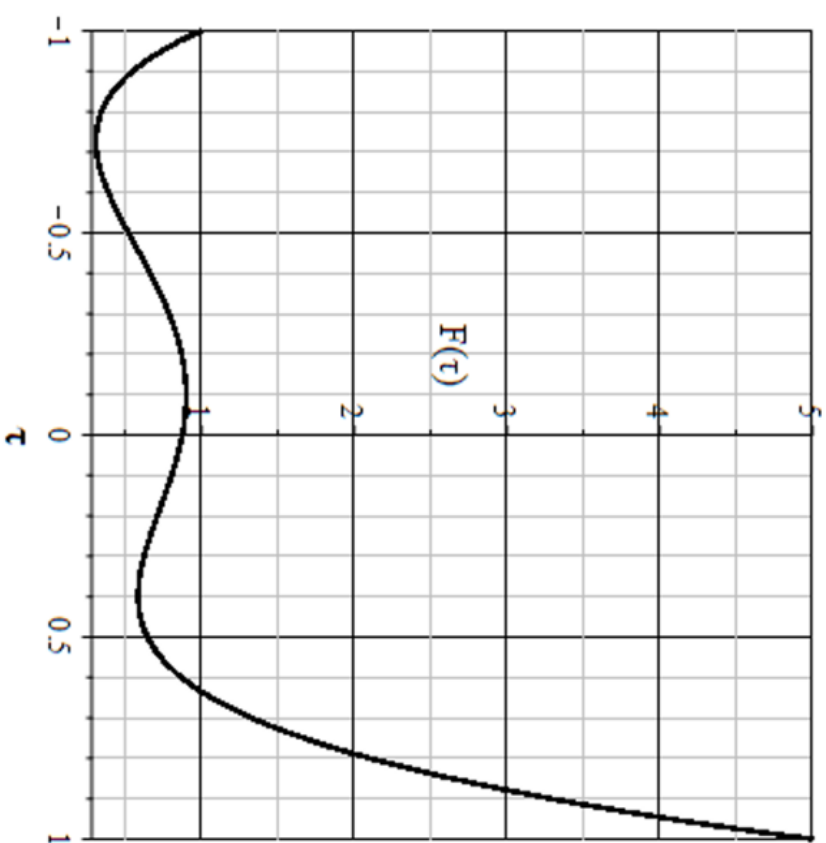
Оскільки абсолютні значення концентрацій різних газів в експериментах значно відрізняються, а, крім того, і розмірності не є однаковими, то спільний аналіз зазначених випадкових процесів є недоцільним. В зв'язку з цим, всі концентрації нормувались до максимального значення концентрації конкретного газу, що створювало можливість для подальшої візуалізації всіх процесів (рисунок нижче, приклад залежності нормованої концентрації газу  $\text{CO}_2$ ).



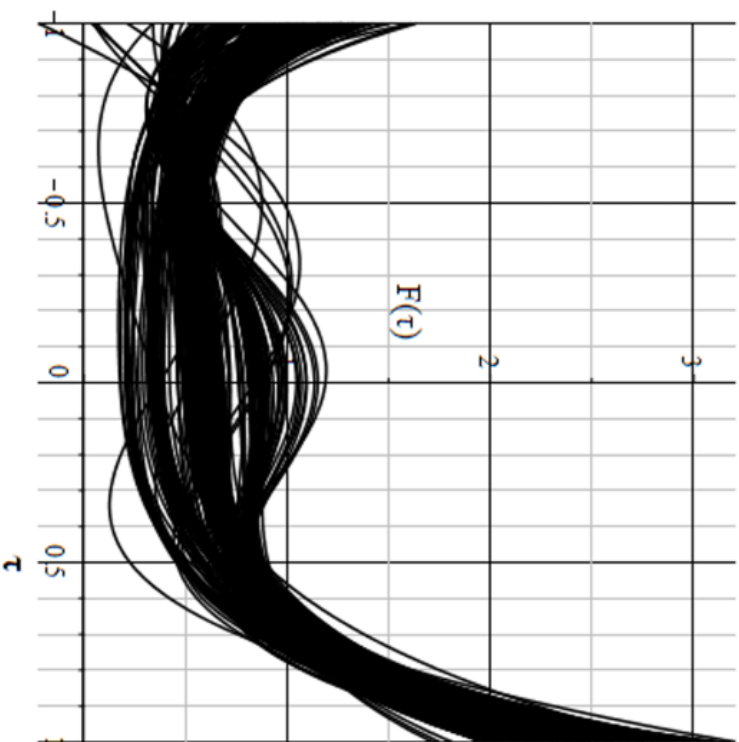
В дипломній роботі проаналізовано вплив різних ортогональних функцій (поліномів Гегенбауера, Ерміта, Лагерра, Лежандра і Чебишева). Для дослідження вибрано поліноми Лежандра, які є найбільш чутливими до змінювання експериментальних даних.

Використання ортогональних поліномів Лежандра	
 <p><math>\rho(t)</math></p> <p><math>t</math></p> <p>V1n, V2n, V3n, V4n, V5n</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) CO2 - V1n;</li> <li>2) Пил (Dust) – V2n;</li> <li>3) <u>NOx</u> – V3n;</li> <li>4) O2 – V4n;</li> <li>5) SO2 – V5n.</li> </ol>	 <p><math>\rho(t)</math></p> <p><math>t</math></p> <p>V4n, V2n, V3n, V1n, V5n</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) O2 - V4n;</li> <li>2) Пил (Dust) – V2n;</li> <li>3) <u>NOx</u> – V3n;</li> <li>4) CO2 – V4n;</li> <li>5) SO2 – V5n.</li> </ol>

Раніше характеристичне зображення описувалось узагальненою функцією . Якщо така функція відноситься до опорної моделі, то будемо її позначати як . Перший ідеальний випадок – всі концентрації шкідливих газів не змінюються з часом. Логічно, що портрет стану ТЕЦ являє собою одну характерну лінію. Якщо ортогональна функція буде іншою, то вид цієї лінії зміниться,



В цілому, оператору без якісної підготовки важко візуально діагностувати екологічний стан ТЕЦ. Стрибки концентрації газу, якщо вони відбуваються в реальних умовах нестаціонарних випадкових процесів, що описують ці концентрації, не завжди чітко виділяються. Залежність виду візуального образу від амплітуди стрибка отримати не просто. Потрібний інший підхід, що створить умови для якісного візуального аналізу і дасть можливість розробити метрологічні вимоги до точності вимірювань концентрації шкідливих газів.



# ВИСНОВКИ

9

- Метою дипломної роботи була розробка методу візуалізації багатомірних випадкових процесів та формування вимог щодо точності вимірювання параметрів реалізації цих процесів.
- Була розглянута важливість узагальненої візуалізації багатомірних процесів та формування опорної моделі для системи оцінювання стану концентрації шкідливих газів на ТЕЦ.
- Використовуючи узагальнену візуалізацію розроблений метод при якому до кожної точки у багатомірному просторі відповідає одна абстрактна крива на площині. Якщо деякі координати точки перевищують допустимі, то крива зміниться і це буде ознакою для аналізу та виявленню перевищень допустимих значень.
- Основним недоліком методу є кваліфікація оператора, який має володіти всіма даними для коректного аналізу ситуації. Але в майбутньому вирішенням цієї проблеми стане нейрона мережа, яка буде самонавчатися.