

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

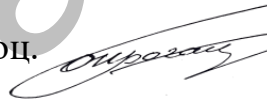
Механічний факультет  
Кафедра метрології та БЖД

## ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц.



А. О. Коваль

Студент гр. ММ-61-22



В. В. Усипенко

Харків – 2023

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
Освітній рівень другий (магістерський)  
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка  
Освітня програма «Інтелектуальні інформаційно-вимірвальні технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

О. І. Богатов

« 11 » жовтня 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Усипенко Володимир Васи́льовичу**

1. Тема роботи: "Дослідження методів оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску".  
Керівник роботи Коваль Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доц.  
Затверджені наказом Вченої ради механічного факультету від "11" жовтня 2023 р. № 130 .
2. Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.
3. Вхідні дані до роботи: 1) ТХ датчиків тиску; 2) Точнісні характеристики датчиків тиску;  
3) Кількість вимірюваних параметрів динамічних характеристик – три.
4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Методика відновлення перехідної та імпульсної характеристики датчиків температури та тиску; 3. Визначення динамічних характеристик вимірвального каналу тиску та температури з використанням методу внутрішнього контролю; 4 Охорона праці і навколишнього середовища; 5. Висновок; 6. Перелік посилань.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): плакати (слайди); 1 Результати досліджень у вигляді схем та графіків.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4	Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання «13» вересня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Методика відновлення перехідної та імпульсної характеристики датчиків температури та тиску	30.09.2023	виконано
3	Дослідження методів оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску	01.10.2023	виконано
4	Розробка схеми навчання нейромережевої моделі датчика	20.10.2023	виконано
5	Охорона праці і навколишнього середовища	01.11.2023	виконано
8	Формулювання висновків	10.11.2023	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2023	виконано
10	Створення презентації на Power Point	27.11.2023	виконано
11	Подання роботи керівнику.	30.11.2023	виконано
12	Подання роботи на рецензію.	01.12.2023	виконано
13	Допуск до захисту.	05.12.2023	виконано

Студент \_\_\_\_\_

Усипенко В. В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Коваль А. О.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 87 с., 36 рис., 5 таблиць, 2 додатки, 43 джерела.

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ, ІМПУЛЬСНА ХАРАКТЕРИСТИКА,  
ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРСТИКА.

Мета роботи – дослідження методів оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску.

Об'єкт дослідження – інтелектуальна вимірювальна інформаційна система технічно складного об'єкту.

Предмет дослідження – методи оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску.

В магістерській роботі проведені дослідження нейромережевих методів оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску. Запропонована методика формування "динамічних портретів" датчиків тиску з різними термінами експлуатації.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Методика відновлення імпульсної та перехідної характеристики датчиків тиску.....	9
1.1 Метод визначення постійної часу вимірювального каналу тиску.....	9
2 Визначення динамічних характеристик датчиків тиску з використанням методу внутрішнього контролю.....	20
2.1 Розробка базової моделі вимірювального каналу тиску.....	31
3 Методика формування "динамічних портретів" давачів тиску з використанням нейронної мережі.....	43
4 Охорона праці і навколишнього середовища.....	49
Висновки.....	60
Перелік посилань.....	62
Додаток А Блок схеми та результати роботи програмної реалізації методу внутрішнього контролю.....	67
Додаток Б Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
АЧХ	Амплітудно-частотна характеристика
БПС	Блок перетворення сигналів
ВЛ	Вимірювальна лінія
ВІС	Вимірювальна інформаційна система
ВК	Вимірювальний канал
ДСТУ	Державний стандарт України
ДХ	Динамічна характеристика
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина
ЗВТ	Засоби вимірювальної техніки
МХ	Метрологічні характеристики
ПФ	Перехідна функція
ПХ	Перехідна характеристика
САУ	Система автоматичного управління
СКВ	Середньоквадратичне відхилення
ТСО	Технічно складний об'єкт
ТУ	Технічні умови
ФП	Функція перетворення
ФЧХ	Фазо-частотна характеристика

## ВСТУП

Динамічні вимірювання посідають значне місце в метрологічній практиці в зв'язку з розширенням областей застосування вимірювань, підвищенням швидкодії та точності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). При цьому важливим є дослідження динамічних властивостей ЗВТ, які описуються та нормуються динамічними характеристиками (ДХ), що дозволяє розв'язувати задачі організації процесу вимірювання (вибір та проектування ЗВТ) змінних величин, динамічних вимірювань фізичних величин, оцінювання та корекції (відновлення вхідного сигналу) динамічних похибок ЗВТ при роботі в динамічному режимі.

Розв'язання зазначених задач здійснюється в рамках теорії динамічних вимірювань, що сформувалася в 80 – 90-х роках минулого століття на стику метрології та теорії систем автоматичного регулювання. Істотний внесок у розвиток теорії динамічних вимірювань зробили вчені Т. Macher, С. С. MacLeod, J. M. Lahnakoski, В. D. Coller, М. Д. Вайсбанд, В. А. Грановський, Г. Н. Солопченко, В. М. Чинков, С. І. Кондрашов, І. П. Захаров, П. Ф. Шапов, Б. Ю. Цветков, та ін. Аналіз робіт цих та інших вчених показав наявність широкого кола досліджень, спрямованих на вдосконалення прямих та непрямих методів визначення ДХ за експериментальними даними та методами математичного моделювання датчиків.

Всі ці дослідження були спрямовані на оцінку та визначення ДХ датчиків з використанням спеціальних стендів та тестових сигналів. Отримані таким чином ДХ відрізняються від реальних ДХ датчиків в процесі експлуатації. Про це свідчать багаторічні дослідження датчиків технологічних процесів, що проведені доктором Х. М. Хашеміаном [1].

Було виявлено, що тестові сигнали не дають можливості в повній мірі відновити характеристики вимірюваного технологічного процесу. Крім того слід мати на увазі, що датчик використовується разом з вимірювальною

лінією, параметри якої в процесі експлуатації також можуть змінюватися [2]. А це в свою чергу приводить до зміни ДХ технологічного вимірювального блоку "вимірювальна лінія + датчик" . Слід також приймати до уваги те, що вимірювальні лінії на атомних електростанціях виготовляються безпосередньо на об'єкті для кожного місця проведення вимірювань індивідуально. Отже ці лінії мають індивідуальні параметри. Як наслідок, для кожної точки вимірювань параметрів технологічного процесу будуть індивідуальні як функція перетворення вимірювального блоку так і його ДХ. В процесі експлуатації об'єктових вимірювальних інформаційних систем з заданою періодичністю здійснюється контроль функції перетворення шляхом калібрування всього вимірювального блоку по контрольним точкам. ДХ ні датчика, ні вимірювального блоку в процесі експлуатації не оцінюються і не контролюються.

Таким чином, виникає завдання метрологічного контролю як ДХ окремих датчиків, так і ДХ вимірювальних блоків в цілому в процесі експлуатації.



# 1 МЕТОДИКА ВІДНОВЛЕННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ТА ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ ТИСКУ

В дипломній роботі запропоновано метод, що ґрунтується на використанні аналітичних виразів, які зв'язують вихідний і вхідний сигнали ВКТ і включають постійну часу каналу. Метод одночасно використовують як експериментальну, так і теоретичну (модельну) інформацію.

## 1.1 Метод визначення постійної часу вимірювального каналу тиску

В реальних умовах на вхід вимірювального каналу тиску подається вхідна дія, що має характер випадкового процесу  $\xi(t)$ . Окрему реалізацію цього процесу запишемо як  $x(t)$ . Вимірювальний канал тиску (ВК) перетворює вхідний випадковий процес  $\xi(t)$  у вихідний  $\zeta(t)$ , а реалізацією останнього є сигнал  $y(t)$ . Перетворення зазначених випадкових процесів опишемо з допомогою оператора системи  $A_t$ , індекс "t" в якому показує, що оператор здійснює перетворення у часі.

Реально з фізичних міркувань можна вважати, що апріорно відомим є характер законів розподілу та загальні характеристики вхідного процесу  $\xi(t)$ . Найчастіше частково відомим є загальний вид оператора ВК  $A_t$ . Існують також метрологічні вимоги до точності визначення характеристик реалізацій вхідного випадкового процесу  $\zeta(t)$ . На основі цього потрібно визначити вид оператора  $A_t$  ВК, що найкращим чином задовольняє заданим вимогам до будь-якої реалізації  $y(t)$ . По суті, вид оператора  $A_t$  буде характеризувати одну з повних метрологічних характеристик ВК. Окрім повних метрологічних характеристик в дипломній роботі розглядаються і окремі (часткові) характеристики, головною з яких є постійна часу [1].

Вид оператора  $A_t$  значно залежить від динамічних властивостей ВК. Це

вимагає розглянути ВК як динамічну систему, що складається з підсистем: вимірвальна лінія (ВЛ), датчиків тиску, температури та пристрій обробки і передачі вимірвальної інформації. Останній, як показали дослідження, незважаючи на наявність у ньому енергонакопичуючих елементів, зокрема, конденсаторів, індуктивностей тощо, має постійну часу, що на порядки менше постійних часу перших двох елементів ВК (ВЛ і датчики тиску). Отже, в подальшому будемо розглядати ВК як систему, що складається з двох вище зазначених елементів.

Вимірвальна лінія, як правило, є металевою трубою складної форми, що наповнена рідиною. Якщо рідина є ідеальною, тобто має властивість ізотропності, нестискаємості при відсутності теплопровідності і теплопередачі, то тиск від труби основного технологічного процесу передається по ВЛ з затримкою, що дорівнює довжині ВЛ поділеній на швидкість поширення акустичної хвилі (звуку) в рідині. Постійна часу вимірвальної лінії, яка повністю заповнена рідиною, дорівнює нулю, оскільки в такій ідеальній лінії немає перехідних процесів. Ця лінія також має велику ширину смуги пропускання і є неспотворюючою.

Вид математичної моделі ВК, яку потрібно побудувати, істотно залежить від співвідношення між динамічними властивостями самого ВК та вхідного випадкового процесу. Якщо постійна часу ВК  $\tau_{вк}$  є істотно меншою, ніж час кореляції вхідної дії  $\tau_x$ , тобто  $\tau_{вк} \ll \tau_x$ , то ширина смуги пропускання ВК буде значно перевищувати ширину спектра вхідної дії і тому форма реалізації вихідного сигналу  $y(t)$  буде повністю повторювати форму реалізації вхідної дії  $x(t)$ . При таких умовах неможливо визначити ДХ ВК, оскільки значення постійної часу  $\tau_{вк}$  ніяк не впливають на вид сигналу  $y(t)$ . З математичної точки зору ВКТ є нелінійною неінерційною ланкою. Існує також проміжна ситуація, коли ВК є неінерційною системою тільки для основних гармонік спектру вхідної дії і це дозволяє визначити апріорний вид реалізацій вхідної дії.

Нелінійність всього ВК визначає вимірювальна лінія, а датчики тиску в більшості випадків можна вважати лінійною інерційною ланкою [5]. Тому в [6] запропоноване штучне розділення в математичній моделі динамічної системи функцій нелінійності та інерційності системи. Перевірка роботи подібної моделі, що проведена в [8], довела її працездатність. Отже, модель має наступну структуру (рисунок 1.1).

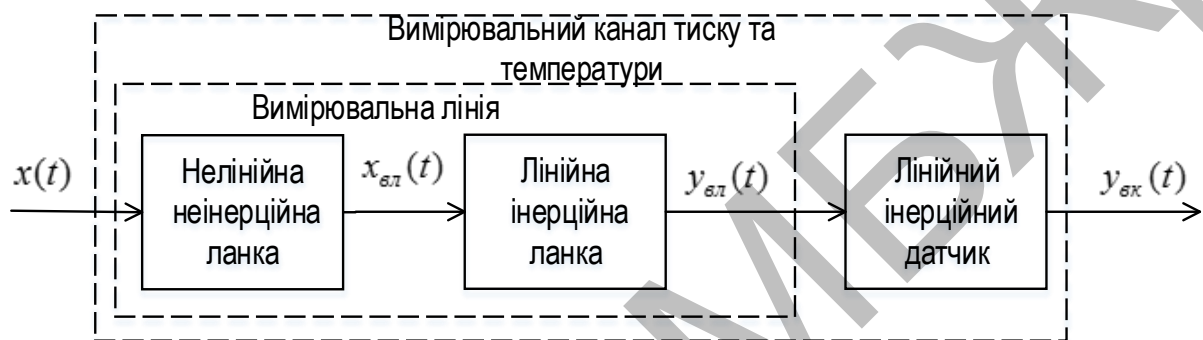


Рисунок 1.1 – Структура моделі вимірювального каналу тиску

Модель містить послідовно з'єднані лінійні інерційні ланки, які об'єднати в одну в загальному випадку не завжди доцільно, оскільки їх ДХ, як правило, відрізняються. Технічно складніше це зробити для ВЛ, особливо з урахуванням нелінійної ланки. В [9] приведений вираз для перехідної характеристики, аналіз якого свідчить про коливальний вид цієї характеристики, але при наявності демпфуючих властивостей лінії та датчика перехідна характеристика ВК наближається до такої, що є властивою, які описуються рівняннями типу

$$\tau_{вк} \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t), \quad (1.1)$$

де  $y(t)$  - вихідний сигнал ВК;

$k$  - постійний коефіцієнт, що використовується при моделюванні;

$x(t)$  - вхідна дія ВК.

Отже, обидві лінійні інерційні ланки моделі вимірювального каналу (рисунок 1.1) будемо описувати диференціальним рівнянням першого порядку, в якому постійні часу датчика  $\tau_{\partial}$  та ВЛ  $\tau_{вл}$  відрізняються. У такому випадку можна використовувати один і той же метод для визначення постійної часу ВЛ. Сумарне значення постійної часу ВК приблизно дорівнює сумі  $\tau_{\partial}$  і  $\tau_{вл}$ . При вибраних умовах лінійності та інерційності ВК зв'язок вхідної реалізації з вихідною виражається рівнянням згортки [10]:

$$y(t) = \int_0^T H_{вк}(t) \cdot x(t-\tau) d\tau, \quad (1.2)$$

де  $H_{вк}(t)$  є імпульсною характеристикою каналу тиску.

Залежність (1.2) є математичною моделлю вимірювального каналу тиску. Модель справедлива для всіх лінійних інерційних систем, що при умові виконання обмежень, які використовуються в роботі, дозволяє використовувати цю модель для практично важливих ситуацій. Відзначимо, що модель описує тільки систему, яка складається з лінійної інерційної ланки ВЛ та лінійного інерційного датчика (рисунок 1.1).

В роботах [14, 15, 16, 20] показано, що строгі методи розв'язання задачі вимірювань втрачають свою цінність внаслідок наявності похибок визначення вихідного сигналу ВК  $y(t)$ , наявності шумів на вході та виході динамічної системи і відсутності достовірної апріорної інформації про  $H_{вк}(t, \tau_{вк})$  та  $x(t)$ . Для цієї умови з рівняння (1.2) можна визначити імпульсну характеристику  $H_{вк}(t)$ . Якщо ж відомою є  $H_{вк}(t)$ , то можна визначити  $x(t)$ . При цьому до всіх функцій в рівнянні (1.2) висуваються дуже жорсткі вимоги щодо точності їх визначення на стендах [15]. І навіть при таких умовах інтегральне рівняння (1.2) часто вимагає регуляризації для забезпечення стійкості рішення, а іноді взагалі не може бути розв'язано точно.

В реальних умовах точність визначення  $H(t)$  або  $x(t)$  не є достатньою для того, щоб рівняння (1.2) розв'язувалось точно.

В рівнянні (1.2) відомою є тільки реалізація вихідного сигналу  $y(t)$  ВК на часовому інтервалі  $[0, T]$ . При таких обставинах інтегральне рівняння (1.2) взагалі не може бути розв'язане навіть наближено. Отже, виникає необхідність наявності відомостей або про імпульсну характеристику  $H_{вк}(t)$  ВК, або про його вхідну дію  $x(t)$ , що в процесі експлуатації каналу на ТСО є практично неможливим. Ось чому в роботі запропоновано використання неповних відомостей як про вхідну дію  $x(t)$ , так і про імпульсну характеристику каналу тиску  $H_{вк}(t)$ . В [14, 15] був запропонований наближений підхід до розв'язання рівняння (1.2) і визначення математичної функції  $x(t)$ , що описує реалізацію вхідної дії, та встановлені метрологічні вимоги до всіх функцій, які входять в (1.2). При цьому статистичне моделювання проведене при добре відомій імпульсній характеристиці динамічної системи. В нашому випадку, навпаки, потрібно визначити  $H_{вк}(t, \tau_{вк})$ , але це можна, зрозуміло, зробити при повністю відомій вхідній дії  $x(t)$  і за таких умов не існує можливості строгого визначення ДХ ВК.

Для наближеного розв'язання інтегрального рівняння (1.2) використовувались:

– часова вибірка квазістаціонарного вихідного сигналу ВК, один з прикладів якого на інтервалі часу від 0 до 10 хвилин описується виразом

$$y(t) = 15 + 2 \cdot [\text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot 0.2 \cdot t)]^2 + 3.8 \cdot \text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot 0.76 \cdot t + 0.8) + ; \quad (1.3) \\ + 0.7 \cdot \text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot t) + 0.5 \cdot \text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot 5.8 \cdot t - 1.2)$$

– імпульсна характеристика нових каналів тиску, яка визначена методом диференціювання перехідної характеристики ВК

$$H(t) = \frac{U_0}{\tau_{\text{вк}}} e^{-\frac{t}{\tau_{\text{вк}}}}, \quad (1.4)$$

де  $U_0$  – амплітудне значення перехідної характеристики;

$\tau_{\text{вк}}$  – постійна часу ВК.

Для інших ВК можливі інші моделі перехідної та імпульсної характеристик.

Отже, рівняння згортки (1.2) має вигляд

$$y(t) = \int_0^T \frac{U_0}{\tau_{\text{вк}}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{\text{вк}}}} \cdot \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t-\tau) d\tau \quad (1.5)$$

і описує теоретичний вихідний сигнал ВК  $y(t)$ . Невідомими в формулі (1.5) є коефіцієнти  $a_i$ ,  $U_0$  та постійна часу  $\tau_{\text{вк}}$ .

В ідеальному випадку функції, що описують експериментальний і теоретичний сигнали, тобто  $y(t)$  та  $y_{\text{вк}}(t)$ , при правильно визначених параметрах  $a_i$ ,  $U_0$ ,  $\tau_{\text{вк}}$ , повинні співпадати або бути близькими. В функціональному просторі з квадратичною метрикою відстань між вихідним сигналом  $y(t)$ , що описується формулою (1.5), та вихідним експериментальним сигналом ВКТ  $y_{\text{вк}}(t)$  є деяким числом  $J$  або функціоналом [10, 18]

$$J = \int_0^T \left[ y_{\text{вк}}(t) - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U_0}{\tau_{\text{вк}}} e^{-\frac{t}{\tau_{\text{вк}}}} \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t-\tau) d\tau - n(t) \right]^2 dt, \quad (1.6)$$

де  $n(t)$  – білий шум, спектральна щільність якого використовувалась при моделюванні.

Дана метрика потребує мінімізації шляхом варіацій  $a_i$ ,  $U_0$ ,  $\tau_{ек}$  на інтервалі тривалості часової вирізки реалізації квазістаціонарного вихідного сигналу ВК  $y_{ек}(t)$ .

На рисунку 1.2 приведена структурна схема наближеного методу для визначення постійної часу ВК.

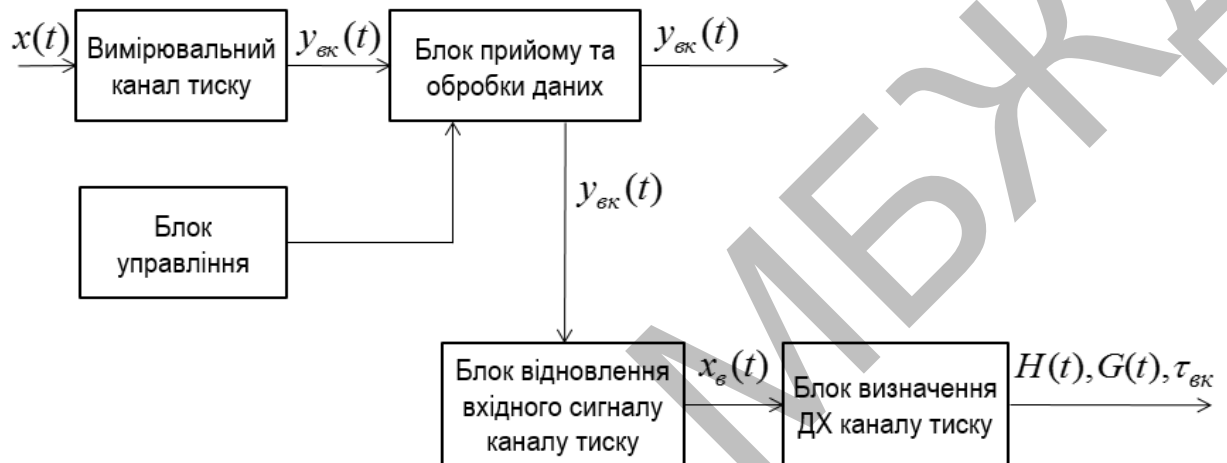


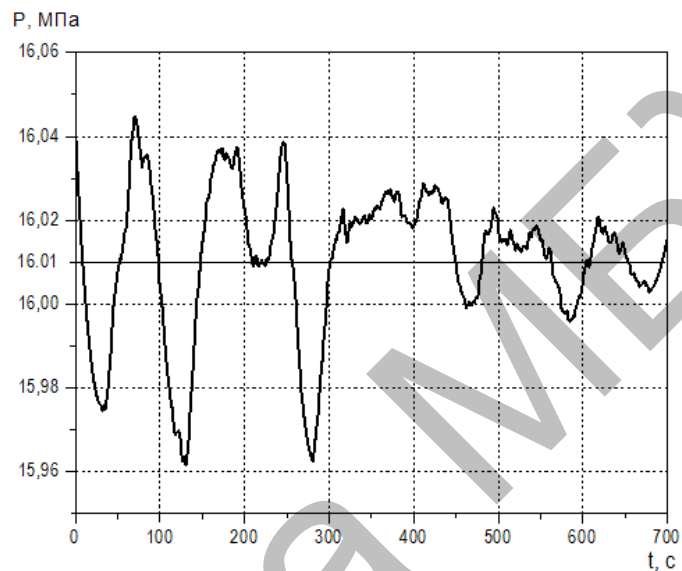
Рисунок 1.2 – Структурна схема наближеного методу розв'язання задачі вимірювань

Мінімізація функціоналу (1.6) здійснювалась з використанням відомого методу глобального випадкового пошуку екстремуму – генетичного алгоритму [18, 19]. В результаті пошуку отримувались значення  $a_i$ ,  $U_0$ ,  $\tau_{ек}$ , причому два останні значення використовувались для побудови імпульсної характеристики ВК. Основною метою було визначення постійної часу  $\tau_{ек}$ , але і значення коефіцієнтів  $a_i$  використовувались для відновлення сигналів вхідної дії, які поповнювали базу даних опорних сигналів.

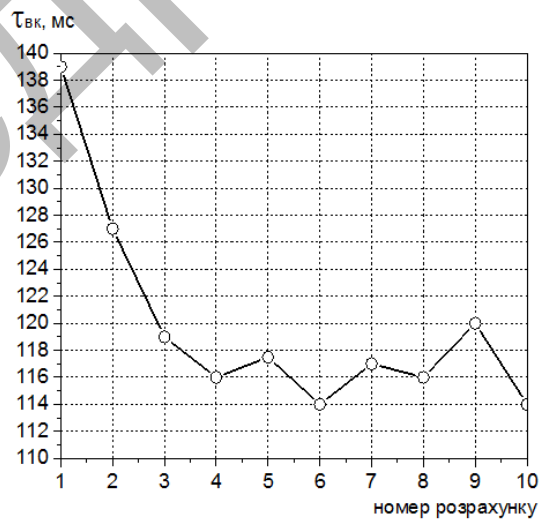
При мінімізації функціоналу (1.6) отримувалось значення постійної часу  $\tau_{ек}$ , причому для кожної реалізації вихідного сигналу тиску, приклад якої приведений на рисунку 1.3а, генетичний алгоритм знаходив, як правило, інше значення  $\tau_{ек}$  (рисунок 1.3б). Такі відмінності є властивістю методів випадкового пошуку. Після усереднення визначалось середнє значення постійної часу ВКТ, яке дорівнювало 113 мс і на 4% відрізнялось від

експериментального значення (108 мс).

Результати визначення  $\tau_{вк}$  (рисунок 1.3б) були отримані для  $y_{вк}(t)$  тривалістю 12 хвилин (рисунок 1.3а) при відношенні сигнал/шум  $q = 20$  дБ. Кількість членів  $a_i$  ряду Карунена-Лоева для даної реалізації  $y_{вк}(t)$  становила  $N = 40$ .



а)



б)

Рисунок 1.3 – Вихідний сигнал (а) та постійні часу каналу (б)



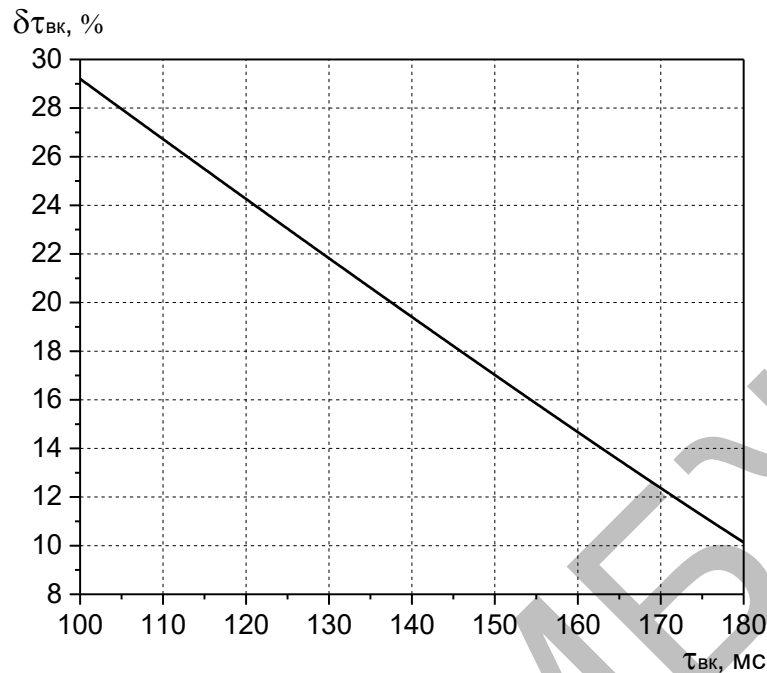


Рисунок 1.4 – Залежність відносної похибки  $\delta\tau_{вк}$  від постійної часу  $\tau_{вк}$

В процесі досліджень також було проведено 50 розрахунків для різних реалізацій вихідних сигналів ВК. Розкид значень постійної часу каналів тиску був обумовлений особливостями запропонованого методу, тобто наближеним розкладанням в ряд вхідної дії  $x(t)$  та оптимізацією функціоналу (1.7) за допомогою методу глобального випадкового пошуку. Результати визначення постійної часу ВК  $\tau_{вк}$  залежать від його терміну експлуатації (рисунок 1.4). Це пояснюється зміною імпульсної характеристики ВК внаслідок "старіння", а також тим, що вплив інерційності ВК на вихідний сигнал  $y_{вк}(t)$  більше проявляється при високих значеннях  $\tau_{вк}$ . Визначена постійна часу  $\tau_{вк}$  становила 100 мс, тобто є близькою до експериментально визначеного середнього значення (98 мс). Оскільки час роботи генетичного алгоритму при розв'язанні задач такого типу найчастіше не перевищує кілька десятків секунд, то на визначення  $\tau_{вк}$  потрібно на порядки менше часу, ніж в методі аналізу шумів.

В оптимізаційній задачі, що розглядається, існує деяка ймовірність отримання "фантомних" рішень. При відсутності апріорних даних про вид вхідного сигналу та діапазон значень постійної часу ймовірність "фантомних" рішень збільшується. Для зменшення або виключення таких рішень необхідно задавати приблизний діапазон, в якому знаходиться вхідна дія та постійна часу. Цей діапазон на практиці є відомим. Генетичний алгоритм здійснює пошук мінімуму функціоналу в області, що задається дослідником, і тоді "фантомні" рішення практично виключаються. В процесі розв'язання поставленої задачі вимірювань визначається наявність достовірної апріорної інформації про вид вхідної дії та форму імпульсної характеристики вимірювального каналу і вона є малою, якщо така інформація є. Але в процесі експлуатації внаслідок "старіння" елементів ВК його імпульсна характеристика змінюється. Її форма спотворюється і вона буде описуватися у вигляді ряду, що в деяких випадках може ускладнити оптимізацію функціоналу (1.7).

Спочатку треба в'яснити, чи взагалі створені умови для використання методу. Якщо постійна часу ВК є малою (або смуга пропускання каналу є широкою), то сигнал на виході ВК практично повністю повинен повторити поведінку вхідної дії в математичному сенсі, хоча їхні розмірності відрізняються. При збільшенні  $\tau_{вк}$  (звуженні смуги пропускання каналу) між відносними значеннями  $y(t)$  та  $x(t)$  з'являється різниця  $\delta$ , залежність максимального значення якої у відсотках від постійної часу каналу  $\tau_{вк}$  для приведеного вище прикладу вихідного сигналу показана на рис. 1.5, причому при  $\tau_{вк}$ , що не перевищують приблизно одну секунду, залежність  $\delta(\tau_{вк})$  є майже лінійною.

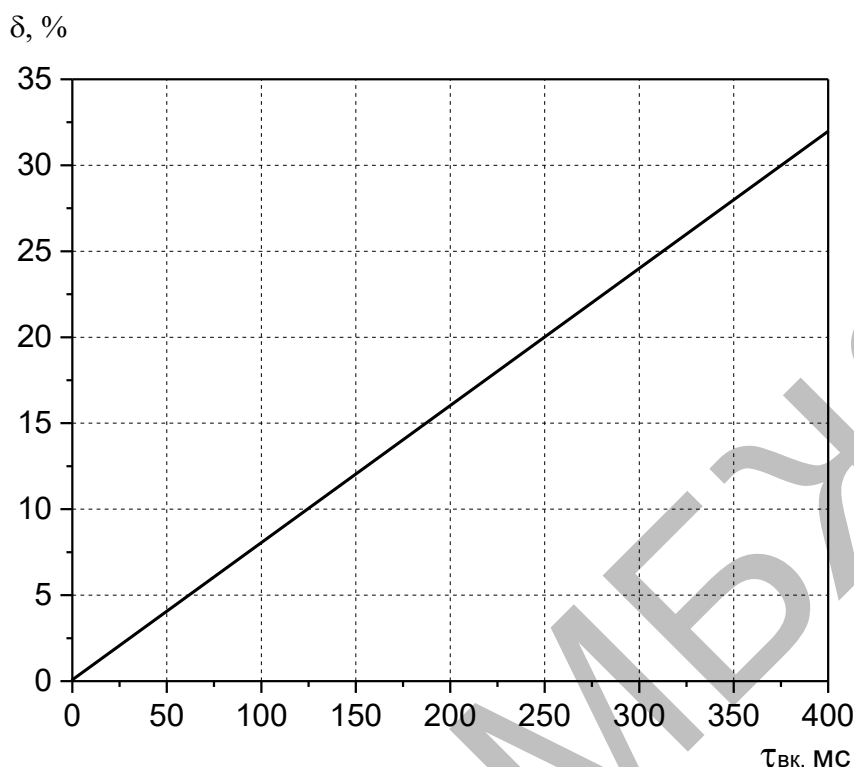


Рисунок 1.5 – Приклад залежності відносної різниці між вхідною дією та вихідним сигналом від постійної часу вимірювального каналу тиску

Нормування зазначеної різниці здійснювалось до максимального значення вихідного сигналу на інтервалі спостереження сигналу 10 с. Аналогічні залежності отримані для інших моделей вихідних сигналів ВК. З них випливає, що вже при  $\tau_{вк} \approx 100$  мс відносні зазначені різниці наближаються до 10 %, тобто проявляються інерційні властивості каналу. При великих  $\tau_{вк}$  спотворення вхідної дії може бути значним і це також є обмеженням методу, але такий випадок немає ніякого практичного значення, бо ВК з подібними інерційними властивостями буде видавати недостовірну інформацію, а вихідний сигнал не підлягає відновленню на вхід [11]. Все це свідчить, що для більшості практичних випадків запропонований метод може застосовуватись у повному обсязі.

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ

В першому розділі було досліджено вплив "старіння" елементів ВК на його ДХ і, зокрема, на постійну часу. Отримано також аналітичні вирази, які описують цей вплив. Комбінуючи постійні часу для певного стану вимірювальної лінії та датчиків тиску, можна визначити постійну часу ВК з урахуванням його складових для будь-якого терміну експлуатації. Особливо треба відзначити важливу роль даних, що були визначені відносно ВК, в якому вимірювальна лінія не має пустот, витоків, запорів і датчик тиску є новий. Динамічні характеристики такого ВК відповідають каналу з нульовим терміном експлуатації, тобто в ньому відсутні чинники "старіння". Цей ВК в подальшому приймемо за базовий. Слід враховувати, що в силу специфіки конструкції вимірювальної лінії та типу датчиків тиску ДХ будуть різнитись для кожного ВК. Таким чином, виникає задача визначення ДХ для будь-якого каналу тиску. Ця задача може бути вирішена шляхом створення окремих математичних моделей каналів тиску на основі загальної моделі базового ВК, що побудована за результатами експериментальних досліджень для ВК без "старіння". У випадку, коли кожному терміну експлуатації буде відповідати своя окрема модель ВК, такі моделі приймемо за опорні моделі ВК.

Опорна модель ВК отримується шляхом зміни параметрів базових моделей каналів тиску і температури, та контролю за критерієм мінімуму різниці між перехідними, амплітудно-частотними (АЧХ) та фазочастотними характеристиками (ФЧХ) опорної та базової моделей.

В метрологічній практиці, як показали дослідження [1, 2, 3, 4, 5], при відновленні спотворених датчиком сигналів для оцінки амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної характеристик (ФЧХ) частіше використовується імпульсна ніж перехідна характеристика датчика. Тому наступним етапом дослідження був аналіз імпульсних характеристик датчиків тиску.

Експериментальні дослідження датчиків тиску свідчать про те, що з ростом терміну експлуатації їх імпульсні характеристики  $H(t)$  спотворюються (рисунок 2.2б). Вони розширюються і деформуються, а їх амплітуда зменшується.

З метою забезпечення відтворення експериментально отриманих імпульсних характеристик датчиків з різним терміном експлуатації в наступних дослідженнях при створенні моделей як датчиків тиску, так і ВК ці характеристики апроксимувались аналітичними виразами. Найбільш прийнятним за критерієм мінімуму залишкової похибки апроксимації став метод апроксимації імпульсної характеристики з використанням функцій Лоренца (Лоренціан), які зображені на рисунку 2.7 та описуються виразом [8, 9]:

$$H(t, \bar{p}) = p_0 + \frac{p_1}{\pi} \cdot \frac{p_2}{2 \cdot (t - p_3)^2 + p_2^2}, \quad (1.7)$$

де  $\bar{p}$  – параметри функції Лоренца;

$p_0$  – базис Лоренціани;

$p_1$  – ордината максимального значення Лоренціани;

$p_2$  – коефіцієнт ширини;

$p_3$  – абсциса максимуму Лоренціани.

Результуюча апроксимаційна крива (рисунок 2.14) описується сукупністю функцій Лоренца:

$$H(t, \bar{p}) = H_1(t, \bar{p}) + H_2(t, \bar{p}) + \dots + H_n(t, \bar{p}). \quad (1.8)$$

В загальному випадку вираз (1.8) може бути записаний як:

$$H(t, \bar{p}) = \sum_{i=1}^n \left( p_{0i} + \frac{p_{1i}}{\pi} \cdot \frac{p_{2i}}{2 \cdot (t - p_{3i})^2 + p_{2i}} \right), \quad (1.9)$$

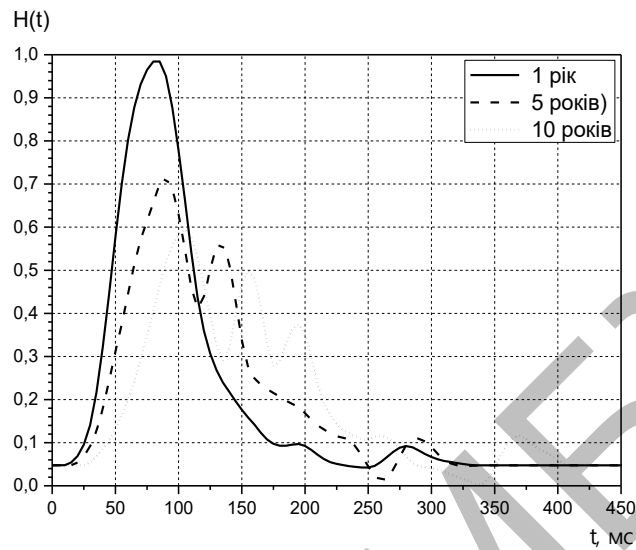


Рисунок 2.6 – Вплив "старіння" датчиків тиску на їх імпульсну характеристику  $H(t)$

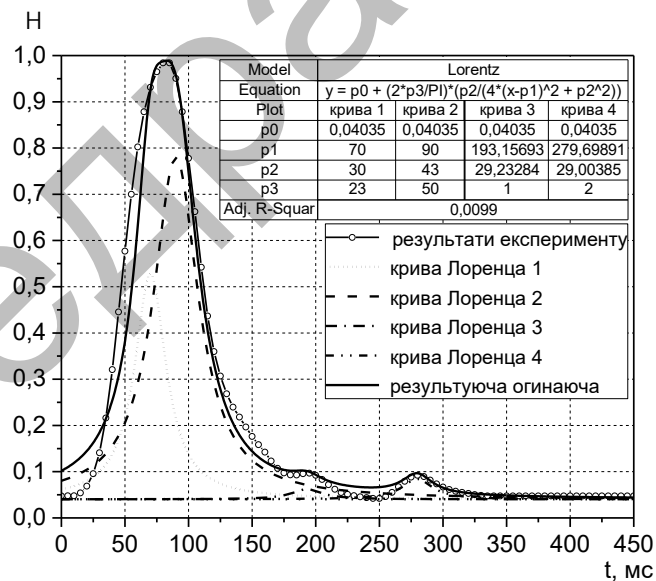


Рисунок 2.7 – Апроксимована функціями Лоренца  $H(t, \bar{p})$  імпульсна характеристика  $H(t)$  датчика тиску з терміном експлуатації 1 рік

Кількість функцій Лоренца  $n$ , необхідних для досить точної апроксимації імпульсної характеристики залежить від терміну експлуатації

датчика, що коливається в межах від одного до 8...10 років експлуатації. За результатами експериментальних досліджень датчиків тиску були отримані емпіричні залежності кількості апроксимуючих функцій від терміну експлуатації  $n(t)$ :

$$n(t) = 1 + 2.2 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{0.3}\right)\right) + 12 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{16}\right)\right), \quad (1.10)$$

На рисунку 2.15 зображена отримана за результатами експериментальних досліджень функція  $n(t)$  згідно виразу (1.10). Результати апроксимації оформлювались у вигляді графіків рисунки 2.9...2.13. Апроксимовані імпульсні характеристики датчиків тиску, які описуються виразом (1.14) з врахуванням параметрів функцій Лоренца відповідно для терміну експлуатації 1 рік –  $H_1(t)$ , 5 років –  $H_5(t)$ , 10 років –  $H_{10}(t)$ , описуються виразами:

$$H_1(t) = 0.16 + \frac{439}{4 \cdot (t-70)^2 + 900} + \frac{1369}{4 \cdot (t-90)^2 + 1849} + \frac{18.6}{4 \cdot (t-193)^2 + 854.6} + \frac{37}{4 \cdot (t-280)^2 + 841}, \quad (1.11)$$

$$H_5(t) = 0.258 - \frac{305.6}{4 \cdot (t-17)^2 + 3600} + \frac{2567}{4 \cdot (t-87)^2 + 3969} + \frac{140}{4 \cdot (t-138)^2 + 484} + \frac{2447}{4 \cdot (t-200)^2 + 21360} - \frac{128}{4 \cdot (t-274)^2 + 4474} - \frac{326}{4 \cdot (t-285.5)^2 + 16.28}, \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned}
 H_{10}(t) = & 0.344 - \frac{153}{4 \cdot (t-25)^2 + 3600} + \frac{1662}{4 \cdot (t-100)^2 + 3047} + \\
 & + \frac{126}{4 \cdot (t-156)^2 + 400} + \frac{4858}{4 \cdot (t-207)^2 + 1697} - \frac{3920}{4 \cdot (t-207.8)^2 + 1568} - \\
 & - \frac{5.48}{4 \cdot (t-296)^2 + 273} - \frac{142}{4 \cdot (t-338)^2 + 1814}
 \end{aligned} \quad (1.13)$$

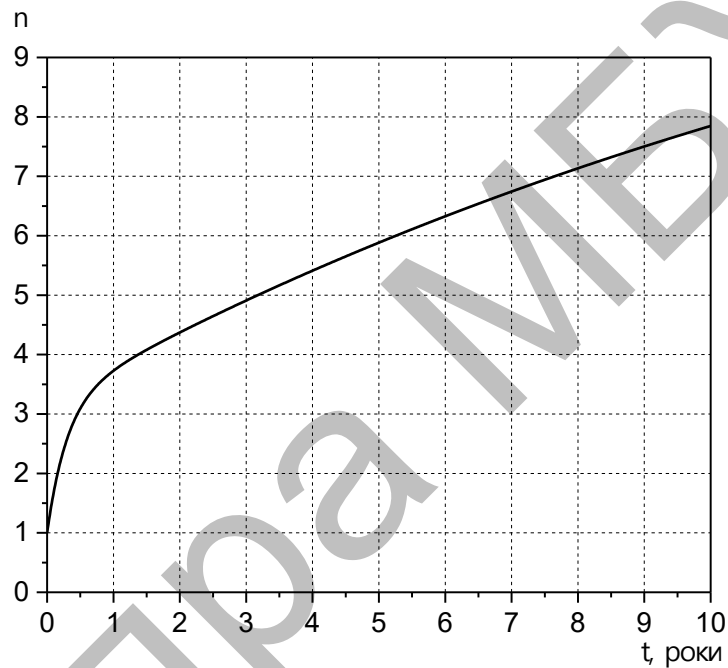


Рисунок 2.8 – Залежність кількості  $n$  апроксимаційних функцій від терміну експлуатації  $t$  датчиків тиску

При знаходженні апроксимаційного виразу для імпульсної характеристики датчиків тиску  $H(t)$  в якості критерію достовірності був вибраний мінімум відносної похибки апроксимації:

$$\delta_H(t) = \frac{H_e(t) - H_a(t)}{H_e(t)}, \quad (1.14)$$

де  $H_e(t)$  – експериментальна імпульсна характеристика датчика;



$H_a(t)$  – апроксимована імпульсна характеристика датчика.

На рисунках 2.9, 2.11, 2.13 приведені графіки апроксимованих усереднених імпульсних характеристик  $H(t)$  датчиків тиску з термінами експлуатації відповідно 1, 5 та 10 років, які побудовані за виразами (1.11), (1.12) та (1.13). Відносні похибки апроксимації  $\delta_H(t)$  усереднених імпульсних характеристик  $H(t)$  датчиків тиску зображені на рисунках 2.10, 2.12, 2.14. Встановлено, що похибка апроксимації носить як суб'єктивний, так і об'єктивний характер та не перевищує  $\pm 7\%$ . Її величина залежить від декількох факторів. Так, чим більше членів апроксимаційного поліному вибрано, тим менша похибка  $\delta_H(t)$ , але при цьому значно зростає час необхідний для апроксимації, оскільки ця операція здійснюється оператором вручну з використанням спеціалізованих пакетів прикладних програм.

Таким чином, експериментально визначені і наближено аналітично описані імпульсні характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з різним терміном експлуатації дозволяють створити базу даних датчиків тиску, яка дозволить розробляти моделі ВК, що є адаптивними до його "старіння".

Відновлені за експериментальними імпульсними характеристиками АЧХ датчиків приведені на рисунку 2.15. Внаслідок "старіння" датчиків зменшується амплітуда АЧХ.

Суттєвим є те, що за аналогією з тривалістю переднього фронту ПХ датчика це зменшення від  $A_{\max}$  до  $0.632 \cdot A_{\max}$  проходить в перші 5 років експлуатації. Ширина смуги пропускання АЧХ датчика  $\Delta f_{0.7} = 11$  Гц, на протязі досліджуваного терміну експлуатації залишається незмінною, а амплітуда АЧХ в смузі від 18 Гц до 40 Гц (рисунок 2.15) зменшується в залежності від рівня "старіння" датчика майже в 2 рази.

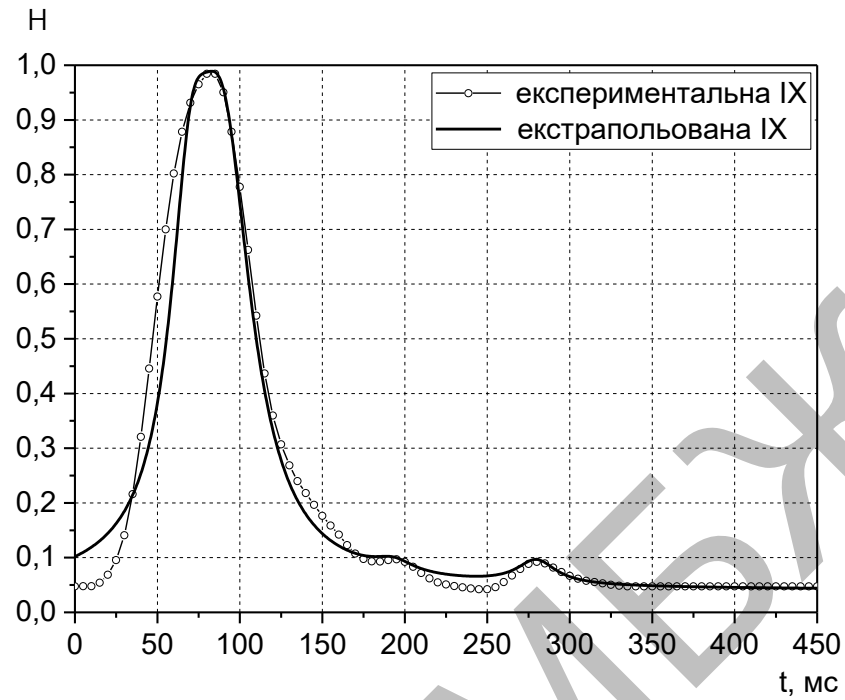


Рисунок 2.9 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$   
датчиків тиску з терміном експлуатації 1 рік

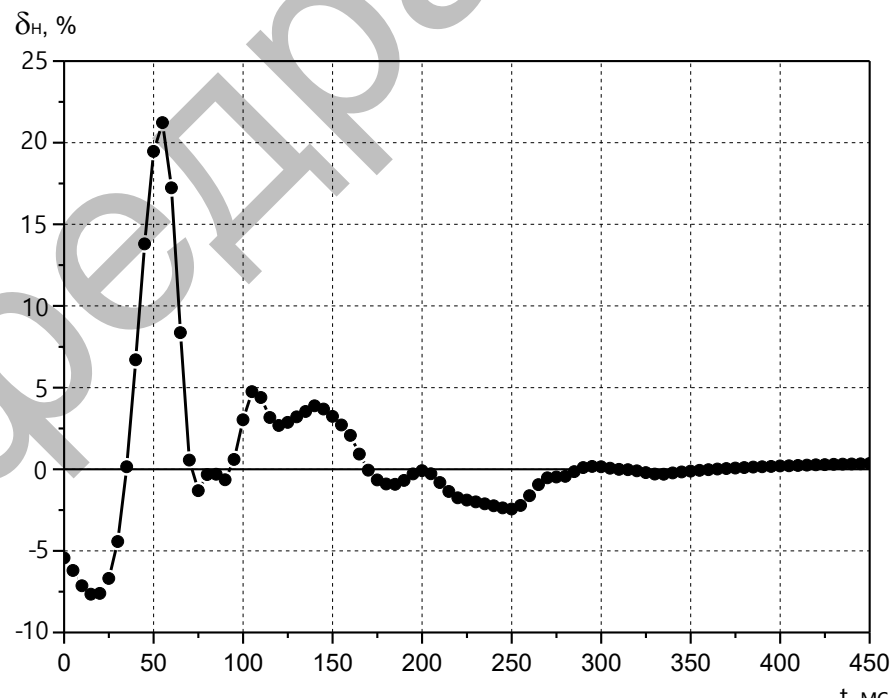


Рисунок 2.10 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної  
характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 1 рік

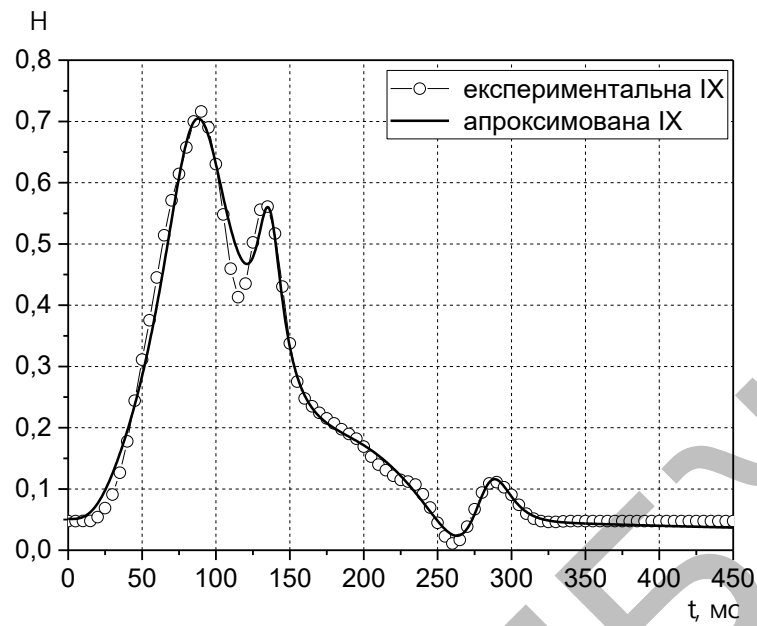


Рисунок 2.11 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$   
датчиків тиску з терміном експлуатації 5 років

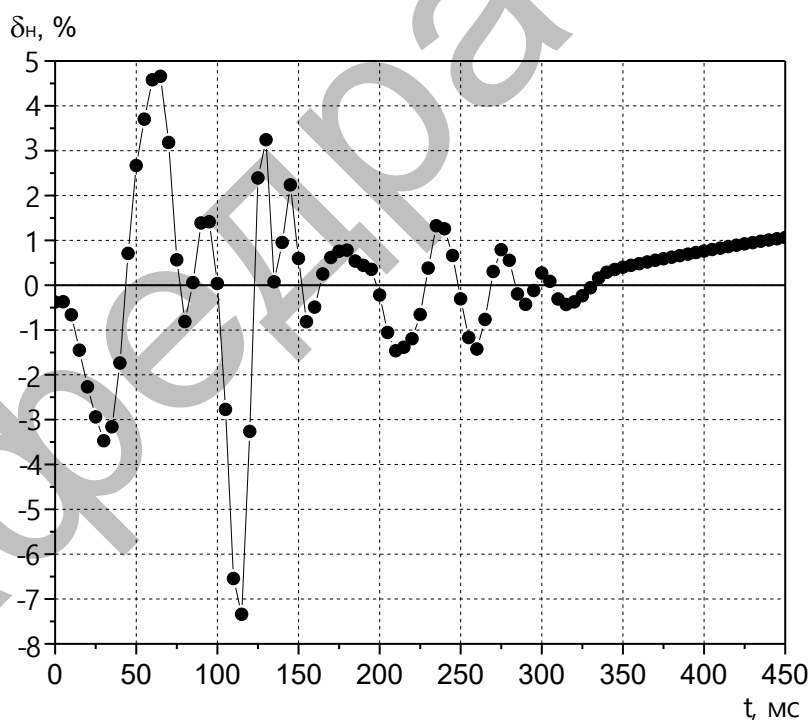


Рисунок 2.12 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної  
характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 5 років

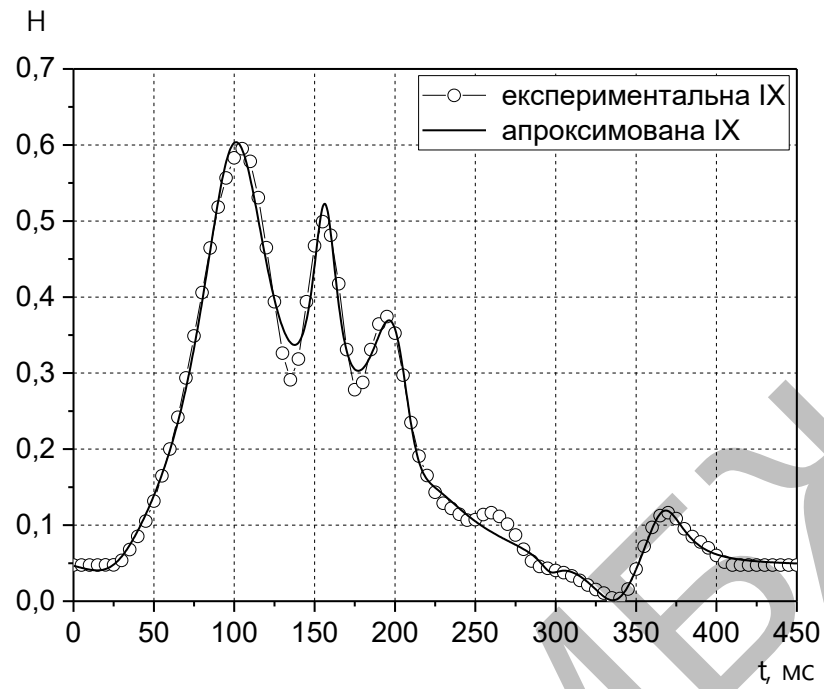


Рисунок 2.13 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$

датчиків тиску з терміном експлуатації 10 років

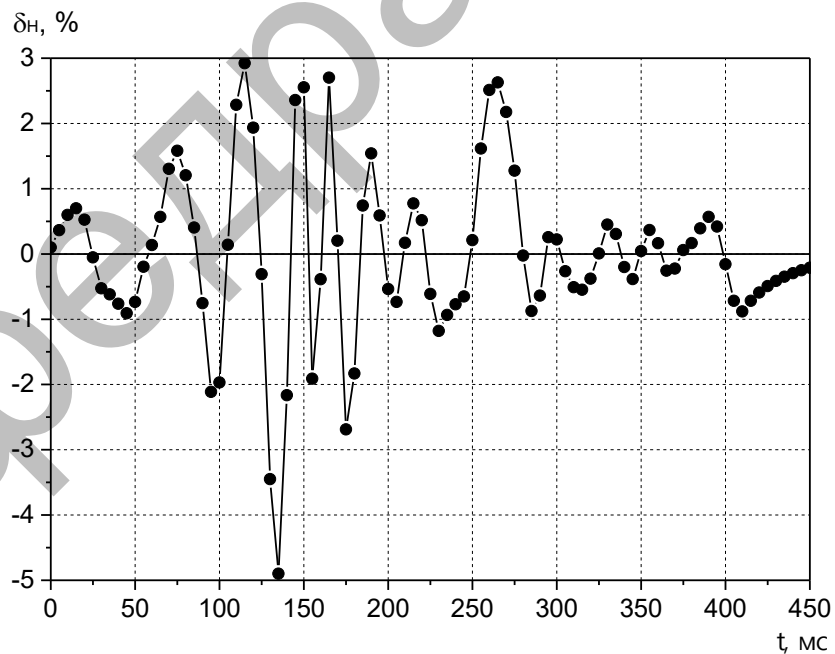


Рисунок 2.14 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної

характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 10 років

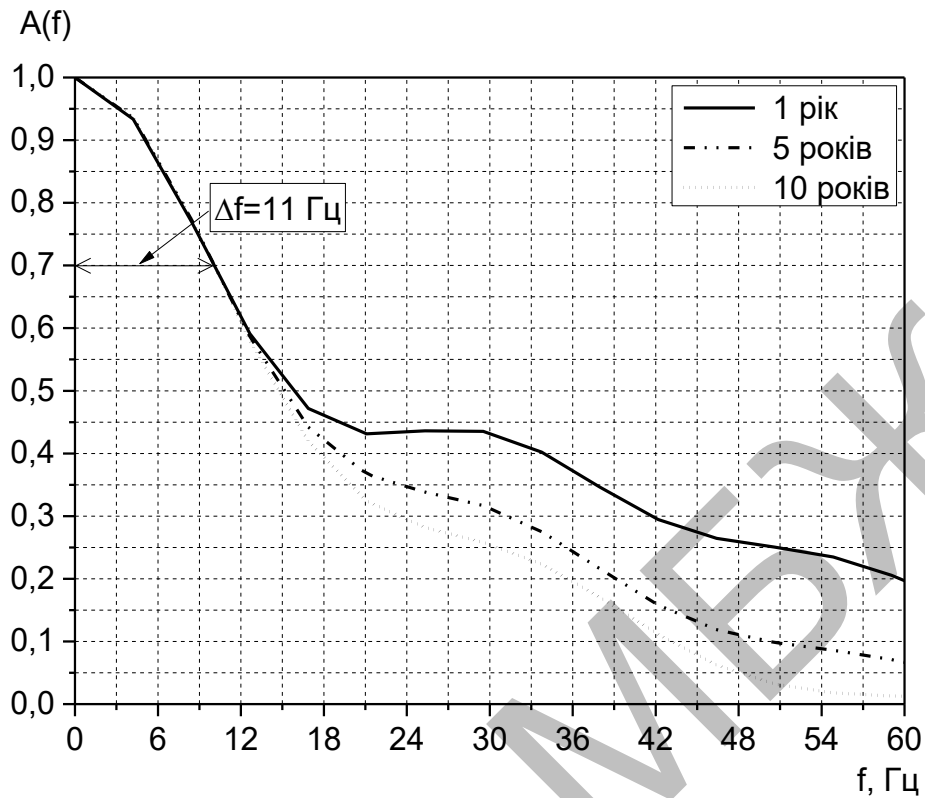


Рисунок 2.15 – Нормовані амплітудно-частотні характеристики  $A(f)$  датчиків тиску

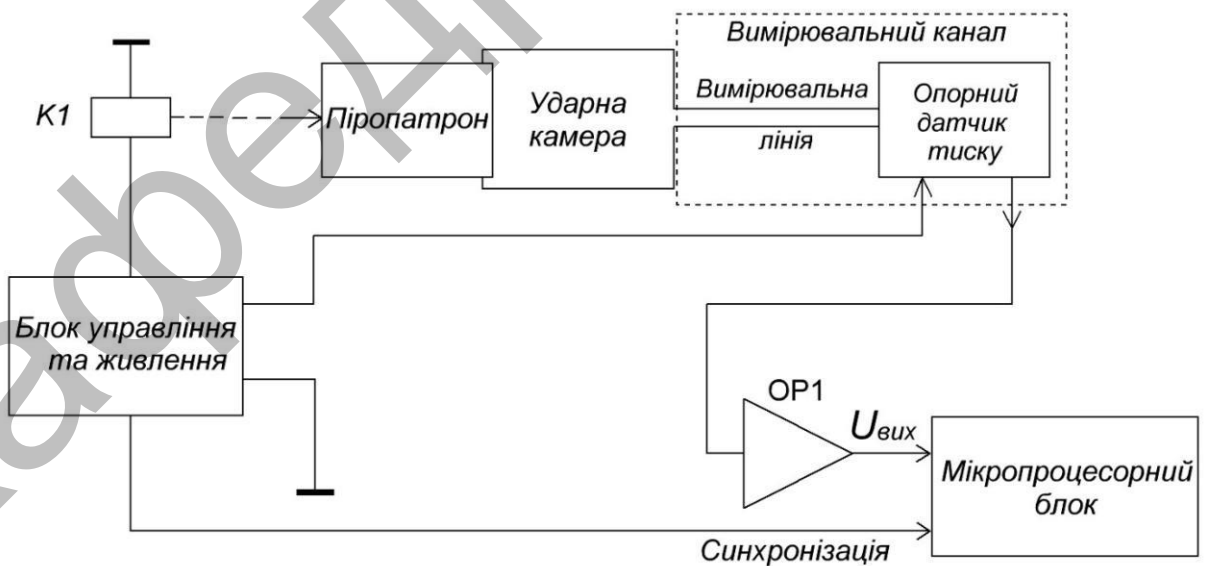


Рисунок 2.16 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії

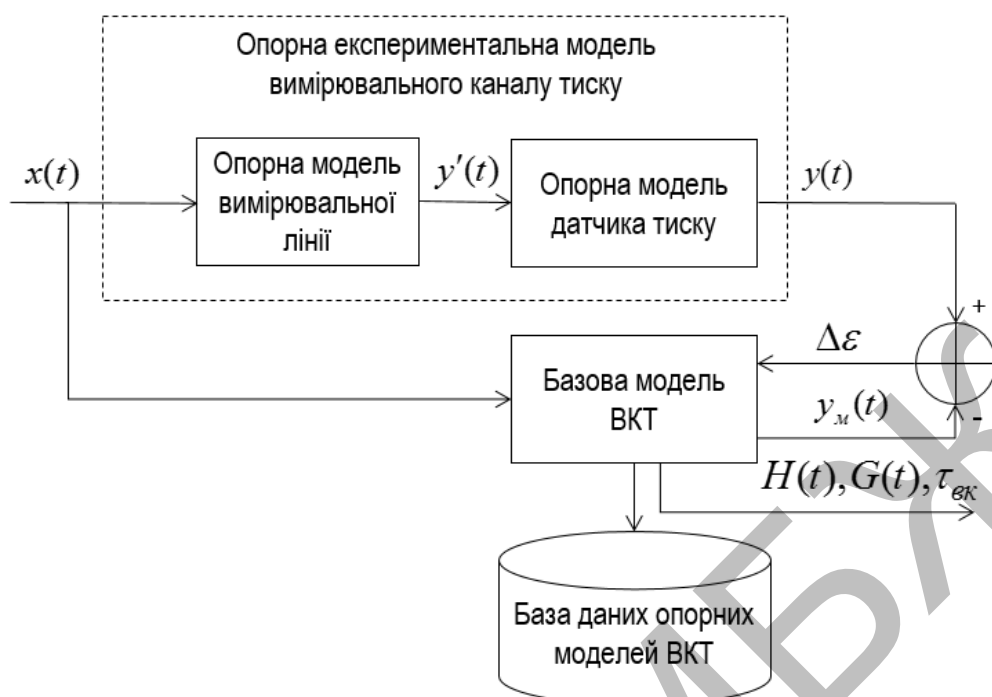


Рисунок 2.17 – Структурна схема реалізації методу внутрішнього контролю

Для цього в розділі був розроблений метод визначення ДХ ВК з використанням внутрішнього контролю параметрів базової моделі ВК. Реалізація методу внутрішнього контролю стосовно визначення ДХ ВК (рисунок 2.17) зводиться до порівняння реакцій моделей на одну і ту ж вхідну дію  $x(t)$  типу "сходінка". За різницею реакцій  $\Delta\varepsilon$  здійснюється вибір коефіцієнтів низькочастотного цифрового фільтра, який покладено в основу побудови базової моделі ВК. Ця модель вже враховує "старіння" елементів ВК і його динамічні властивості, що є важливим для практики. Розглянута вдосконалена модель ВК на основі методу внутрішнього контролю реалізована в програмному середовищі LabView.

Запропонований метод визначення ДХ ВК з використанням внутрішнього контролю на відміну від відомих дозволяє компенсувати час затримки передатної функції (ПФ) теоретичної моделі ВК, здійснювати фільтрацію різниці між експериментальною ПФ ВК та її базовою моделлю, компенсувати зміщення ПФ в стаціонарному режимі, візуально контролювати роботу моделі ПФ ВК, постійно контролювати її амплітудно-частотну та

фазочастотну характеристики. Модифікована базова модель зберігається в базі даних опорних моделей ВК.

## 2.1 Розробка базової моделі вимірювального каналу тиску

Метою досліджень, проведених в процесі виконання дипломної роботи, була розробка системи внутрішнього контролю для визначення ДХ вимірювального каналу тиску за рахунок фільтрації різниці між ПФ опорної та базової моделей ВК. В дослідженнях в якості опорної моделі ВК була модель, що побудована за апроксимованими імпульсними характеристиками згідно з виразами.

Як відомо [9, 17], модель каналу не може в повній мірі повторити оригінал. Це пов'язано як з ентропією вимірюваного процесу на вході датчика, так і з певною ентропією динамічних характеристик датчика. Ентропія динамічних характеристик датчика обумовлюється як режимами роботи датчика, так і "старінням" елементів датчика. В цьому випадку необхідно не тільки перевіряти розроблену модель датчика на адекватність, а і коректувати її. Для цього пропонується використовувати метод внутрішнього контролю моделі.

Відповідно до [22] перехідна функція вимірювального каналу тиску без врахування часу запізнення зв'язана з його передатною функцією залежністю зворотнього дискретного перетворення Лапласа

$$G(t) = L^{-1} \left\{ \frac{1}{s} \cdot G_p(s) \right\}, \quad (2.14)$$

де  $L^{-1}$  – оператор зворотнього дискретного перетворення Лапласа;

$s$  – площина дискретного перетворення Лапласа;

$G_p(s)$  – дискретна передатна функція ВК.

В подальшому будемо оперувати з передатною функцією вимірювального каналу  $G_p(s)$ .

Сутність методу внутрішнього контролю [1, 2] з метрологічної точки зору можна трактувати так. Якщо передатну функцію ВК можна представити у вигляді сукупності передатних функцій простих кіл низьких порядків, то підбираючи їх параметри, можна мінімізувати різницю між реальною передатною функцією каналу та її моделлю.

Узагальнену структурну схему моделі ВК в операторному виді можна зобразити у вигляді, що приведена на рисунку 2.18.

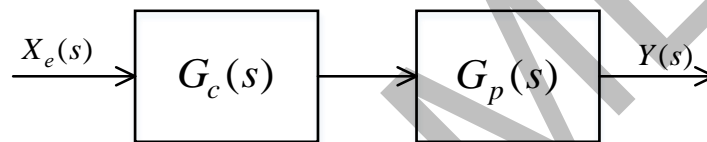


Рисунок 2.18 – Узагальнена схема моделі вимірювального каналу тиску

Оператор  $G_c(s)$  використовується для управління ПФ базової моделі ВКТ  $G_p(s)$  і настраюється таким чином, щоб він був оберненим по відношенню до оператора ПФ опорної моделі  $G_\Sigma^{-1}(s)$  ВКТ —  $G_c(s) = G_\Sigma^{-1}(s)$ . Вихідний сигнал ВК  $Y(s)$ , у відповідності до рисунку 2.18, запишемо у вигляді:

$$Y(s) = X_e(s) \cdot G_c(s) \cdot G_p(s), \quad (2.15)$$

де  $X_e(s)$  – модель еталонної вхідної дії типу "сходінка";

$G_c(s)$  – функціонал управління параметрами базової моделі ПФ ВК;

$G_p(s)$  – модель реальної, експериментально визначеної (базової), ПФ ВК.



Прийmemo, що опорна модель ПФ ВК  $G_{\Sigma}^*(s)$  повністю відтворює його базову модель ПФ  $G_p(s)$ :

$$G_p(s) = G_{\Sigma}^*(s). \quad (2.16)$$

Тоді, якщо функціонал  $G_c(s)$  буде оберненим до опорної моделі ПФ ВКТ  $G_c(s) = G_{\Sigma}^{*-1}(s)$ , то на виході базової моделі ВКТ отримуємо  $Y(s) = X_e(s) \cdot G_{\Sigma}^{*-1}(s) \cdot G_{\Sigma}^*(s) = X_e(s) \cdot 1 = X_e(s)$ .

Звідси випливає, що вихідний сигнал базової моделі ВК завжди дорівнює контрольному еталонному сигналу  $X_e(s)$ . Слід відмітити, що це можливо лише при повністю визначеній ПФ базової моделі ВКТ  $G_p(s)$ .

На практиці завжди є певне розходження між реальною ПФ та її моделлю [9, 11]. Це розходження викликане як "старінням" елементів ВК [21, 22], так і дією зовнішніх перешкод і внутрішніх шумів. З урахуванням цього зміниться і структурна схема (рисунок 2.19), яка реалізує метод внутрішнього контролю параметрів базової моделі ВК.

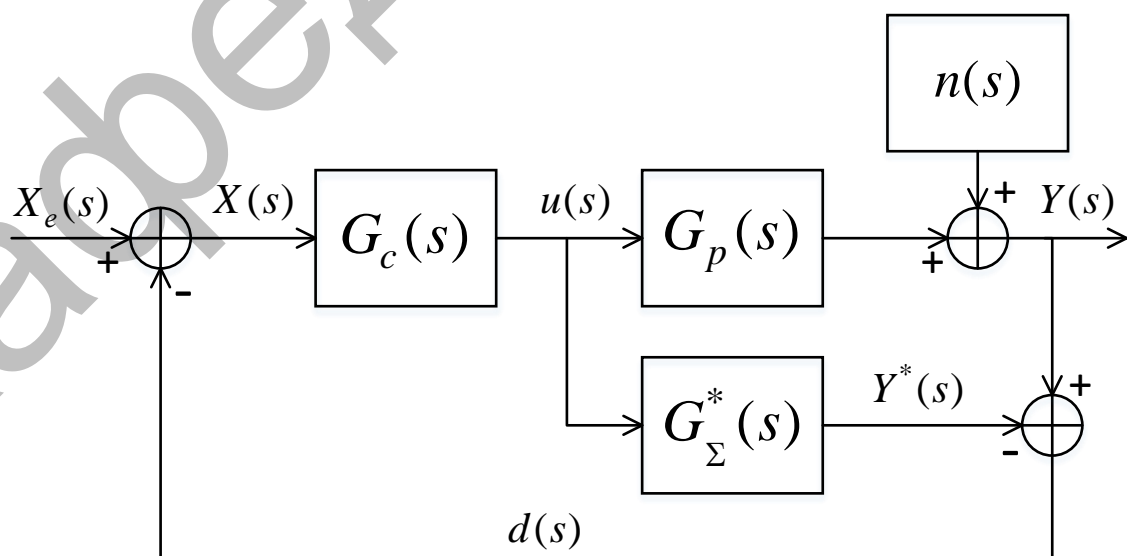


Рисунок 2.19 – Схема моделі вимірювального каналу тиску

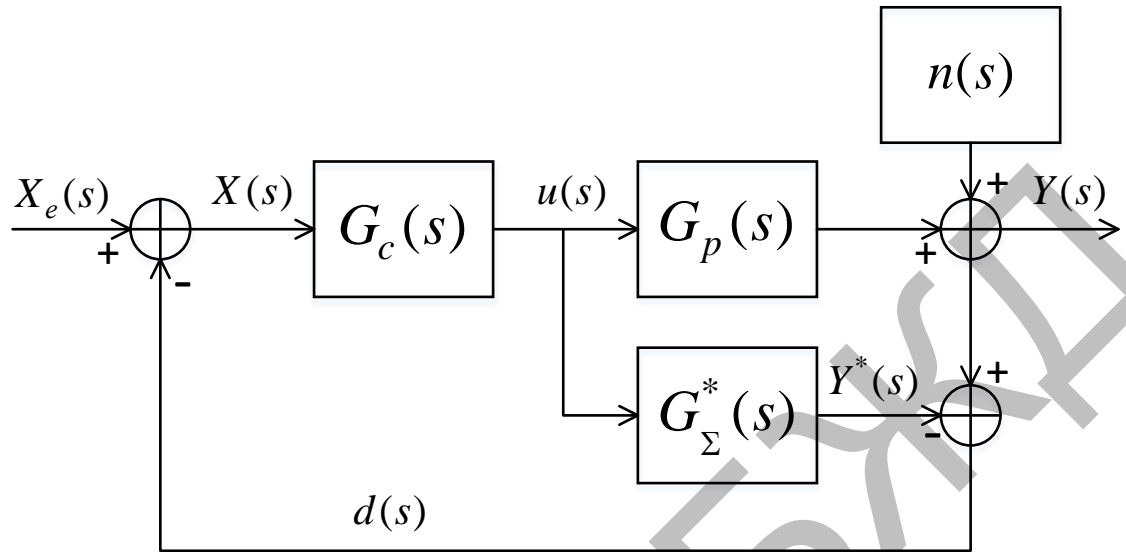


Рисунок 2.20 – Схема моделюючого алгоритму

Дана схема має наступні змінні параметри:

- $X_e(s)$  – еталонний контрольний сигнал вхідної дії типу "сходінка";
- $X(s)$  – модифікований контрольний сигнал для корекції базової моделі;
- $G_c(s)$  – функціонал управління параметрами базової моделі ПФ ВКТ;
- $G_p(s)$  – модель базової ПФ ВКТ;
- $G_Σ^*(s)$  – модель опорної ПФ ВКТ;
  - значення функціоналу з урахуванням похибки;
  - перешкода;
  - різниця між ПФ базової та опорної моделей;
  - вихідний сигнал моделі ВКТ.

Сигнал зворотного зв'язку визначається як:

$$d(s) = u(s) \cdot (G_p(s) - G_Σ^*(s)) + n(s). \quad (2.17)$$

Вхідний модифікований сигнал функціоналу виражається формулою:

$$X(s) = X_e(s) - d(s) = X_e(s) - u(s) \cdot (G_p(s) - G_\Sigma^*(s)) - d(s). \quad (2.18)$$

Даний підхід має певні обмеження. Якщо базова модель повністю відтворює опорну ПФ, то  $G_p(s) = G_\Sigma^*(s)$ . Тоді:  $X(s) = X_e(s) - d(s)$ , а  $Y(s) = X(s) \cdot G_c(s) \cdot G_p(s)$ . Якщо перешкода відсутня, тобто  $n(s) = 0$ , то  $Y(s) = X_e(s) \cdot G_c(s) \cdot G_p(s)$ .

Таким чином, отримана залежність є аналогом вихідного сигналу системи управління параметрами моделі ПФ без зворотнього зв'язку. Якщо функціонал  $G_c(s)$  буде стійким, то управління параметрами моделі ПФ також буде стійким.

На практиці перешкода  $n(s) \neq 0$  і завжди має місце різниця між реальною ПХ та її моделлю. Це вимагає, щоб функціонал  $G_c(s)$  був оптимальним з точки зору мінімуму різниці та швидкодії. З урахуванням цього зміниться і структурна схема, яка реалізує метод внутрішнього контролю. На рисунку 2.20 приведена схема алгоритму, який реалізує метод внутрішнього контролю.

В цьому випадку оператори  $G_c(s)$ ,  $G_p(s)$ ,  $G_\Sigma^*(s)$  і  $n(s)$  будуть не векторами, а багатомірними матрицями, які змінюються у часі. Сигнал зворотнього зв'язку буде мати вигляд:

$$d(s) = u(s) \cdot [G_p(s) - G_\Sigma^*(s)] + n(s). \quad (2.19)$$

Сигнал похибки буде визначений згідно виразу:  $X(s) = X_e(s) - d(s)$ .

Вихід функціоналу  $G_c(s) - u(s)$  можна знайти з рівняння:

$$[X_e(s) - d(s)] \cdot G_c(s) = [X_e(s) - \{u(s) \cdot [G_p(s) - G_\Sigma^*(s)] - n(s)\}] \cdot G_c(s).$$

При умові відсутності завад  $n(s) = 0$  і тоді

$$u(s) = \frac{[X_e(s) - d(s)] \cdot G_c(s)}{1 + [G_p(s) - G_\Sigma^*(s)] \cdot G_c(s)}. \quad (2.20)$$

Але  $Y(s) = u(s) \cdot G_p(s) + d(s)$ . Звідси ПФ системи внутрішнього контролю, що приведена на рисунку 2.9, буде мати вид:

$$Y(s) = \frac{X_e(s) \cdot G_c(s) \cdot G_p(s) + d(s) \cdot [1 - G_c(s) \cdot G_\Sigma^*(s)]}{1 + [G_p(s) - G_\Sigma^*(s)] \cdot G_c(s)}. \quad (2.21)$$

Тепер, якщо функціонал  $G_c(s)$  буде близький до інверсної моделі ПФ  $G_c(s) \approx G_\Sigma^*(s)^{-1}$ , то можна зменшити різницю  $d(s)$ . Окрім того, для підвищення стійкості системи необхідно мінімізувати похибку, яка викликана цією різницею.

Як показали дослідження [7, 16, 17], різниця  $d(s)$  найчастіше має місце в високочастотній частині амплітудно-частотної характеристики ВК. Тому для зменшення різниці  $d(s)$  пропонується використовувати фільтр нижніх частот  $f(s)$ .

Отже, реалізація методу внутрішнього контролю стосовно підвищення точності базової моделі ПФ ВК є не що інше як інверсія моделі його ПФ послідовно з низькочастотною фільтрацією:

$$G_{\text{мвк}}(s) = G_c(s) \cdot G_f(s), \quad (2.22)$$

де  $G_f(s) = \frac{1}{(1 + \tau_f \cdot s)^n}$  – ПФ низькочастотного фільтра;

$\tau_f$  – постійна часу низькочастотного фільтра;

$n$  – порядок низькочастотного фільтра.

Порядок фільтра  $n$  вибирається таким чином, щоб уникнути надмірної диференціуючої дії коректуючих сигналів. З урахуванням всього вище приведеного кінцевий алгоритм буде мати вид:

$$Y(s) = \frac{X_e(s) \cdot G_{мвк}(s) \cdot G_p(s) + d(s) \cdot [1 - G_{мвк}(s) \cdot G_{\Sigma}^*(s)]}{1 + G_{мвк}(s) \cdot [G_p(s) - G_{\Sigma}^*(s)]} \quad (2.23)$$

Розглянемо приклад використання методу внутрішнього контролю для зміни параметрів базової моделі моделі ПФ ВК з метою її наближення до опорної моделі ПФ ВК зі "старінням". Базова модель ПФ ВК  $G_p(s)$  була визначена експериментально [22] і описується рівнянням:

$$G_p(s) = \exp(-0.441176 \cdot s) \cdot \frac{2.72 \cdot (1 + 0.05 \cdot s)}{(1 + 0.2 \cdot s) \cdot (1 + 0.8 \cdot s + 0.2 \cdot s^2)} \quad (2.24)$$

Опорну модель ПФ для ВК можна описати виразом:

$$G_{\Sigma}^*(s) = \exp(-677083 \cdot s) \cdot \frac{2.73913}{(1 + 0.712228 \cdot s)} \quad (2.25)$$

На рисунку 2.21 зображено ПХ обох моделей. Видно, що вони різняться за постійною часу ВК. Враховуючи вирази (2.25) і (2.26) та приймаючи до уваги, що  $G_c(s) \approx G_{\Sigma}^{*-1}(s)$ , отримаємо:

$$G_{\Sigma}^*(s) = G_{\Sigma}^{*+}(s) \cdot G_{\Sigma}^{*-}(s),$$

$$G_{\Sigma}^{*-}(s) = \exp(-677083 \cdot s),$$

$$G_{\Sigma}^{*+}(s) = \frac{2.73913}{(1 + 0.712228 \cdot s)},$$

$$G_{\Sigma}^{*+}(s)^{-1} = 0.365079 \cdot (1 + 0.712228 \cdot s).$$

Далі, вважаючи, що оператор  $G_{мвк}(s)$  повинен бути оберненим до  $G_{\Sigma}^{*+}(s)$  і послідовно з'єднаним з фільтром нижніх частот  $G_f(s)$ , отримаємо вираз для оператора внутрішнього контролю  $G_{мвк}(s)$ :

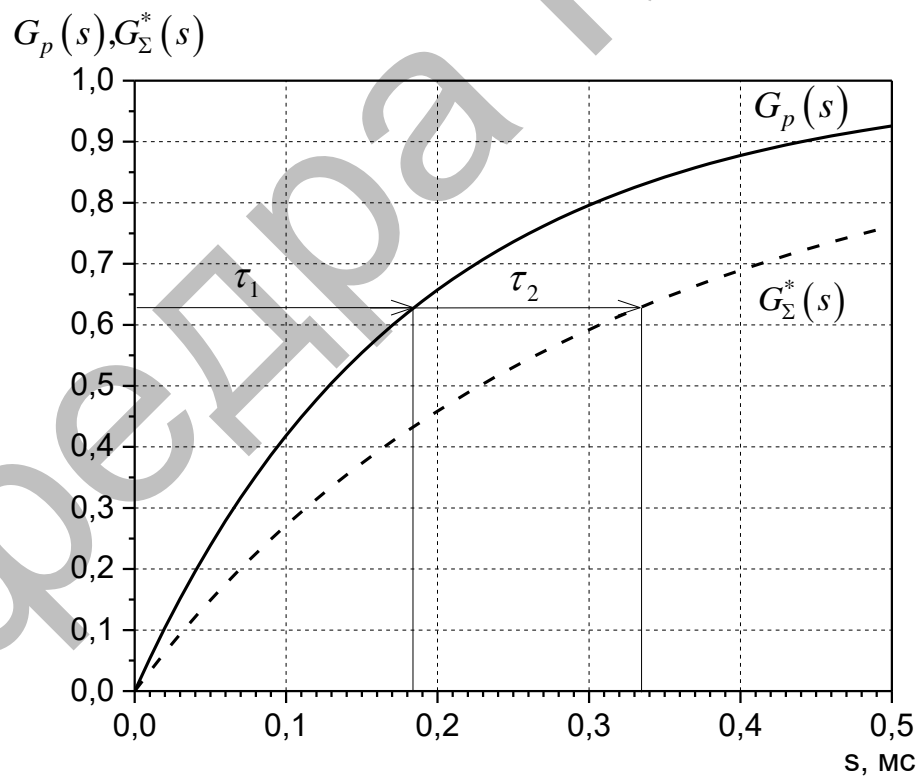


Рисунок 2.21 – Базова  $G_p(s)$  та опорна  $G_{\Sigma}^{*+}(s)$  ПФВК

$$G_{мвк}(s) = G_{\Sigma}^{*+}(s)^{-1} \cdot G_f(s) = \frac{0.365079 \cdot (1 + 0.712228 \cdot s)}{(1 + \tau_f \cdot s)^n}. \quad (2.26)$$

При  $n = 1$  маємо стаціонарний режим. Оператор  $G_{мвк}(s)$  буде стійким, якщо постійна часу фільтра низьких частот дорівнює постійній часу розімкнутого контуру. В нашому випадку, як видно з виразу (2.27),  $\tau_f = 0.712228$ .

Проаналізуємо поведінку замкнутого контуру корекції параметрів моделі ПФ датчика тиску, приймаючи до уваги що  $G_p(s) = G_{\Sigma}^*(s)$ .

$$Y(s) = X_e(s) \cdot G_{\Sigma}^{*+}(s)^{-1} \cdot G_f(s) \cdot G_p(s) + d(s) \cdot [1 - G_{\Sigma}^{*+}(s) \cdot G_f(s) \cdot G_{\Sigma}^*(s)],$$

$$Y(s) = X_e(s) \cdot G_{\Sigma}^{*-}(s) \cdot G_f(s) + d(s) \cdot [1 - G_{\Sigma}^{*-}(s) \cdot G_f(s)].$$

$$Y(s) = X_e(s) \cdot \frac{\exp(-677083 \cdot s)}{1 + \tau_f \cdot s} + d(s) \cdot \left[ 1 - \frac{\exp(-677083 \cdot s)}{1 + \tau_f \cdot s} \right]. \quad (2.27)$$

Таким чином, реалізація методу внутрішнього контролю параметрів базової моделі ПФ ВК характеризується наступними властивостями:

- вона забезпечує компенсацію часу затримки;
- низькочастотний фільтр може бути використаний для фільтрації різниці  $d(s)$  між базовою та опорною моделями ПФ ВК;
- в стаціонарному режимі схема дозволяє компенсувати зміщення ПФ.

Основною відмінністю вдосконаленого методу внутрішнього контролю параметрів моделі ВК від відомих є те, що він дозволяє за рахунок фільтрації різниці ПФ модифікувати базову модель ВК і визначити його ДХ з урахуванням поточного "старіння".

З метою перевірки реалізуємості вдосконаленого методу внутрішнього контролю для визначення ДХ ВК був розроблений алгоритм та програма з використанням пакету програмного комплексу LabView, який забезпечує в масштабі часу близькому до реального online збір та обробку вимірювальної

інформації з ТСО, ведення експертної бази знань ВК та проведення моделювання ВК з визначення їх ДХ. Програмна реалізація методу внутрішнього контролю перехідних функцій ВК містить в собі:

1. Модуль визначення перехідної характеристики ВК.
2. Модуль наближення моделі ВК до опорної моделі.
3. Модуль внутрішнього контролю параметрів моделі ВК.

За результатами моделювання було також оцінено ефективність застосування розглянутого методу внутрішнього контролю для визначення динамічних характеристик ВК. Результати моделювання приведені на рисунку 2.23 та рисунку 2.24 ( Додаток А). Аналіз отриманих результатів показав, що якщо до корекції моделі ПФ різниця між постійними часу реальної ПФ ВК та її моделі становила  $\Delta\tau_1 = \tau_{вк} - \tau_{ом} = 71$  мс ( $\tau_{вк}$  – постійна часу реальної ПФ ВК,  $\tau_{ом}$  – постійна часу опорної моделі каналу), то після корекції —  $\Delta\tau_2 = \tau_{вк} - \tau_{мвк} = -3$  мс ( $\tau_{мвк}$  – постійна часу, що визначена методом внутрішнього контролю), тобто відносна похибка визначення постійної часу зменшилась з 44% до 1.8%. Дослідження показали, що відносна похибка визначення постійної часу методом внутрішнього контролю залежить від відношення сигнал/шум на виході моделі ВК та рівня "старіння" каналу. Відносна похибка 11% досягається при відношенні сигнал/шум  $q \geq 10$  дБ. Отже, в роботі дістав подальшого розвитку метод визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску з використанням внутрішнього контролю, що відрізняється від відомих використанням базової моделі ВК, що здатна адаптуватися до "старіння" елементів ВК. Недоліком запропонованого методу є неможливість визначення динамічних характеристик ВК в реальному масштабі часу. Так для досягнення максимально можливої точності цього методу в 13% необхідно приблизно від 20 хвилин до 40 хвилин настроювання.



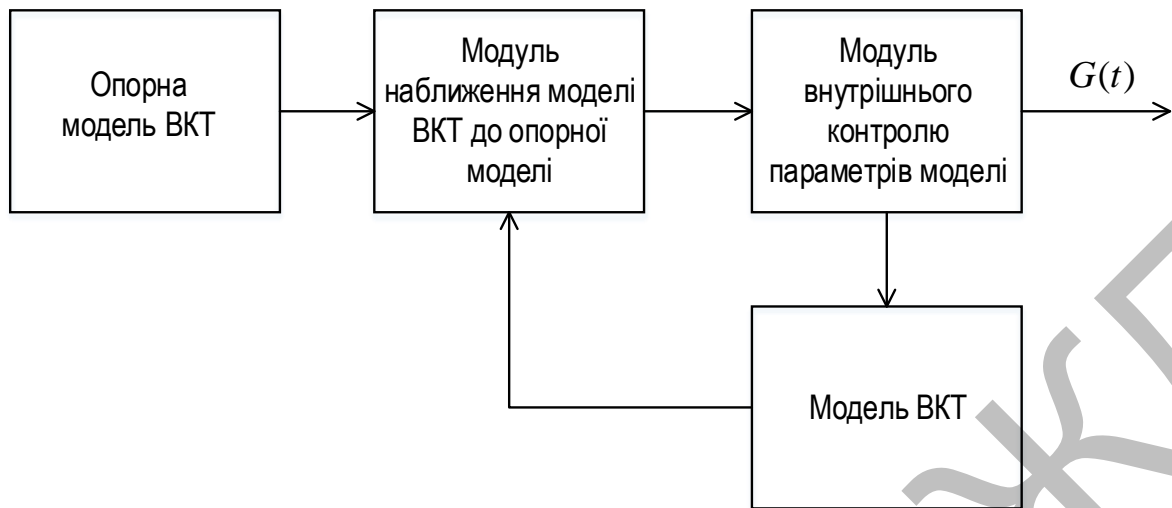
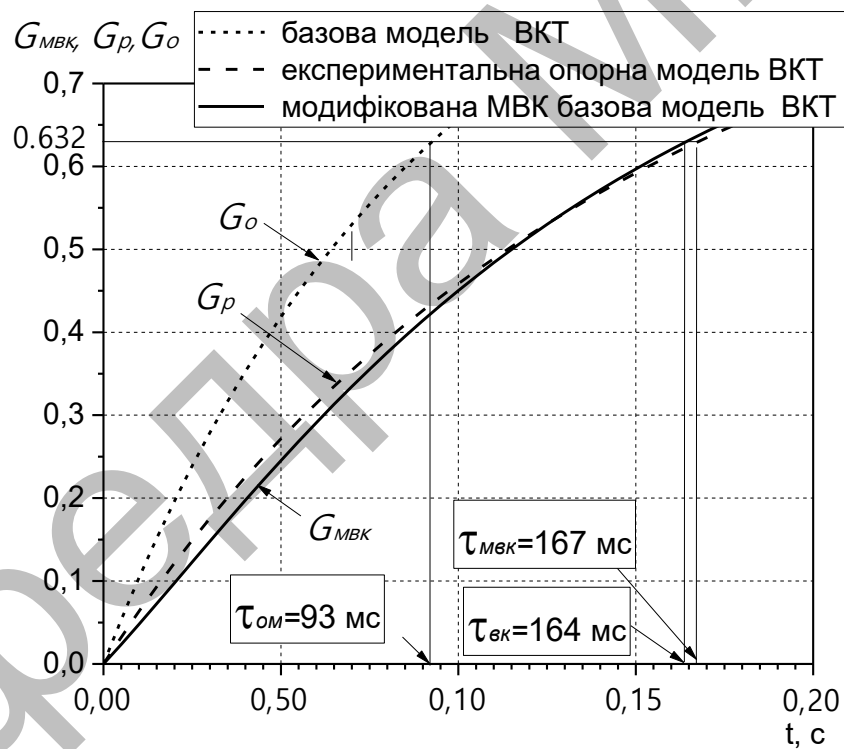


Рисунок 2.22 – Структурна схема програмного комплексу



$G_o$  – ПХ теоретичної моделі ВК,  $G_p$  – ПХ експериментальної опорної моделі ВК,  $G_{MVK}$  – ПХ, що отримана з використанням методу внутрішнього контролю

Рисунок 2.23 – Нормовані ПХ ВК

Інструкція | ПХ датчика | Модель ПХ | Функціонал внутрішнього контролю | Моделювання

Завдання на моделювання:  
Оцінка реакцій моделі датчика та еталону (взятий з бази знань) на вхідну дію  $1(t)$ .

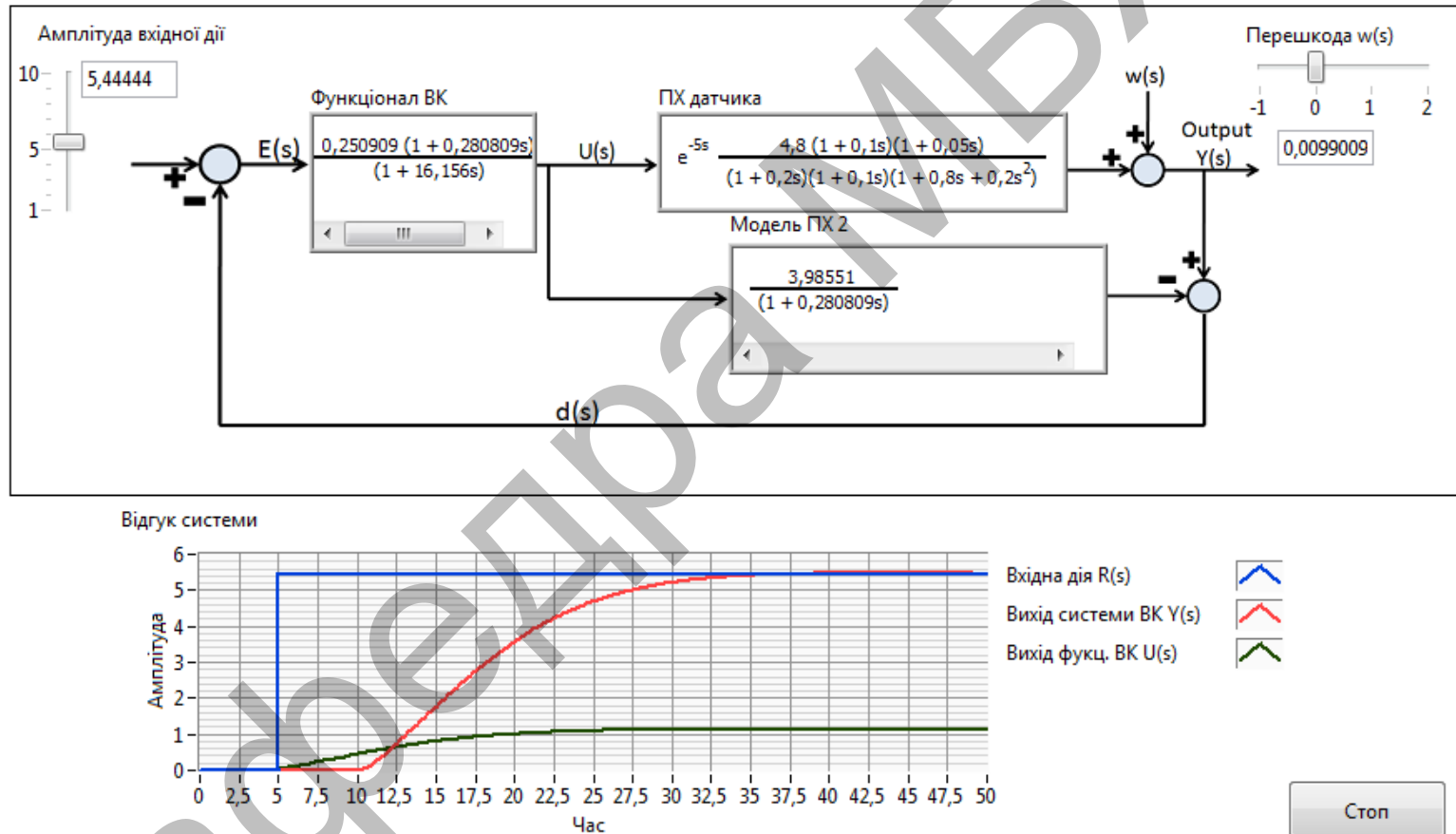


Рисунок 2.24 – Зовнішній вид панелі моделі, в якій реалізовано метод внутрішнього контролю ДХ ВК

### З МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ "ДИНАМІЧНИХ ПОРТРЕТІВ" ДАВАЧІВ ТИСКУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Об'єктом дослідження в даній роботі магістра є сукупність імпульсних характеристик датчиків тиску з різними строками служби. Дані представлені у вигляді бази даних, яка побудована як за результатами експериментальних досліджень так і за результатами моделювання процесу "старіння" датчиків тиску з використанням методу внутрішнього контролю. Усі змінні бази даних стандартизовані (віднімається середнє, результат поділений на стандартне відхилення). Необхідно кластеризувати поточні імпульсні характеристики у відповідності з термінами роботи датчиків – 1, 5, та 10 років. За результатами кластеризації можна грубо оцінювати постійну часу датчика в залежності від його терміну роботи на об'єкті.

Моделі прогнозування постійної часу датчика тиску в залежності від рівня його "старіння" не дають необхідної точності прогнозу постійної часу датчика. Основна причина – різнотипність датчиків і різнорідність технологічного процесу в місці установки датчика.

Для вирішення поставленої задачі скористаємося технологією нейромережевого аналізу, який реалізовано в пакеті STATISTICA.

Вихідні дані представлені в таблиці системи STATISTICA. Фрагмент таблиці показаний на рисунку 3.1. Дані є модельними і ілюструють підхід до розв'язку завдання кластеризації.

Усього база даних містить дані визначених опорних імпульсних характеристик для 10 типів датчиків тиску і для трьох рівнів "старіння" – 1, 5 і 10 років. Кожна імпульсна характеристика представлена 1000 відліками з дискретністю в 1 мілісекунду. Таким чином розміність бази даних склала  $10 \times 3 \times 1000$ .

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4	5 Var5	6 Var6	7 Var7
1	0	0,22153	0,22217	0,22153	0,22153	0,22095	0,41312
2	1	0,22298	0,22364	0,22298	0,22298	0,22237	0,41665
3	2	0,22448	0,22517	0,22449	0,22448	0,22385	0,42022
4	3	0,22604	0,22676	0,22605	0,22604	0,22538	0,42381
5	4	0,22765	0,2284	0,22766	0,22765	0,22697	0,42742
6	5	0,22933	0,23011	0,22933	0,22932	0,22861	0,43103
7	6	0,23106	0,23188	0,23107	0,23106	0,23031	0,43464
8	7	0,23286	0,23371	0,23288	0,23286	0,23208	0,43822
9	8	0,23473	0,23562	0,23475	0,23473	0,23392	0,44178
10	9	0,23668	0,23761	0,23669	0,23668	0,23583	0,44529
11	10	0,2387	0,23967	0,23872	0,2387	0,23781	0,44874
12	11	0,2408	0,24182	0,24082	0,2408	0,23987	0,45213
13	12	0,24299	0,24406	0,24301	0,24299	0,24202	0,45544
14	13	0,24527	0,24639	0,24529	0,24527	0,24425	0,45867

Рисунок 3.1 - Таблиця вихідних даних

### 3.1 Методика використання STATISTICA для отримання "динамічних портретів" датчиків тиску

Запускаємо модуль *Автоматизовані Нейронні Мережі* з меню *Аналіз*. Для проведення кластерного аналізу (коли підсумкова класифікація не відома) будемо використовувати архітектуру нейронної мережі самоорганізуючих карт Кохонена.

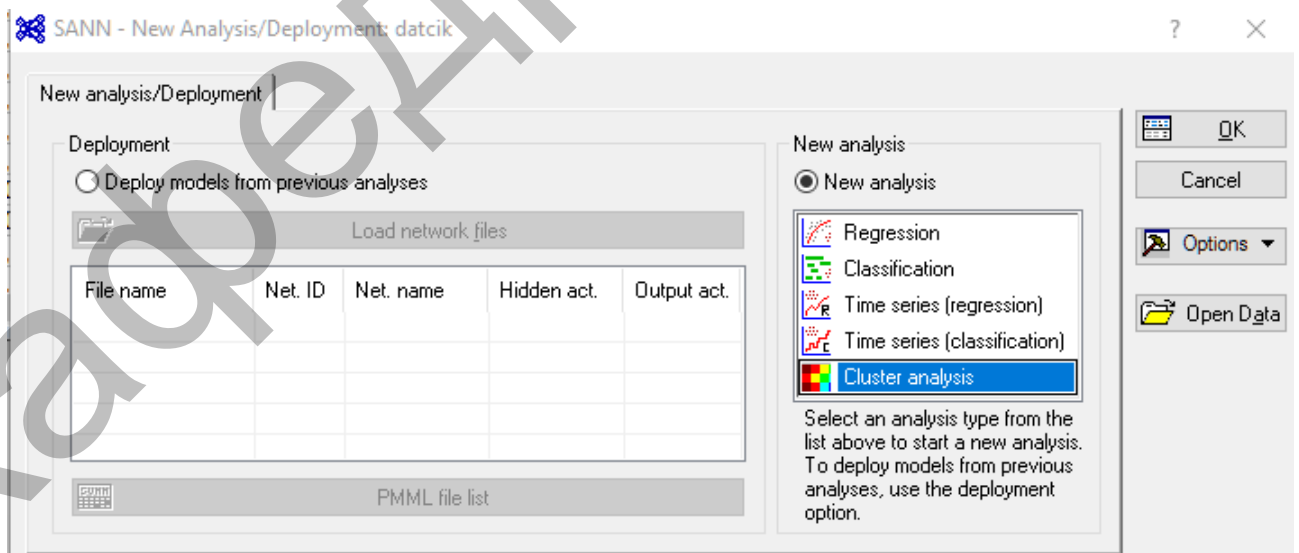


Рисунок 3.2 - Стартове вікно модуля Нейронні мережі з необхідними установками

В якості типу аналізу вибираємо *Кластерний аналіз* і натискаємо *ОК*. Далі, заходимо в діалог вибору змінних і вибираємо всі 30 незалежних змінних як безперервні входні змінні. А також задаємо розбивку на підвибірки.

При побудові карт Кохонена використовується фіксована стратегія *Користувацька нейронна мережа (КНМ)*, тому просто натискаємо *ОК* і переходимо до наступного етапу: вибору мережевої архітектури та вибору параметрів.

У вікні *Користувацька нейронна мережа (КНМ) – вкладка Швидкий (Кохонен)* (рисунок 3.3) необхідно вказати розмір топологічної карти. Зробимо наступні установки: ширина – 5, висота – 5.

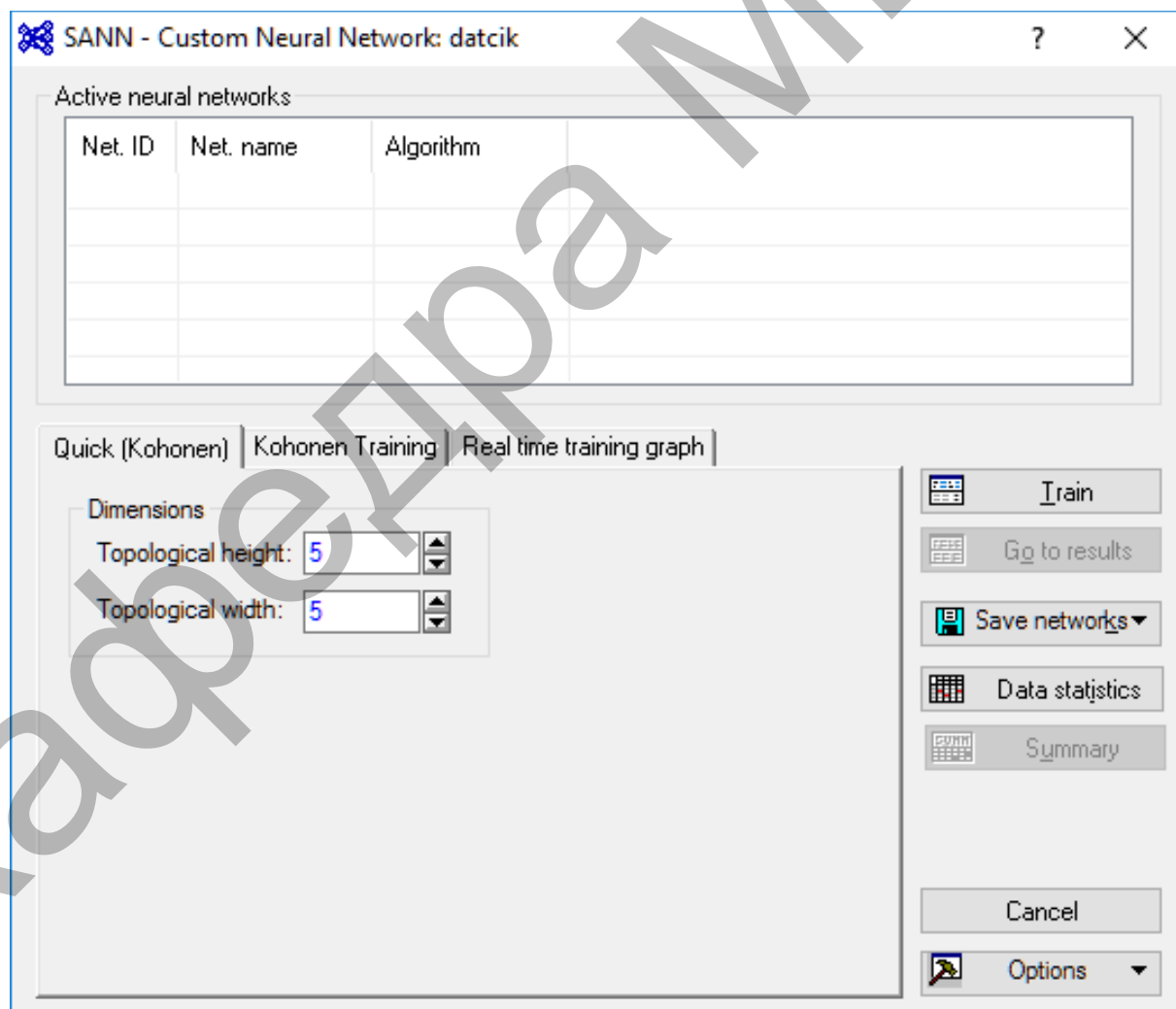


Рисунок 3.3 - Діалогове вікно *Користувацька нейронна мережа (КНМ)* – вкладка *Швидкий (Кохонен)*

Перейдемо на вкладку *Кохонен - навчання* (рисунок 3.4). На даній вкладці необхідно задати параметри навчання нейронної мережі.

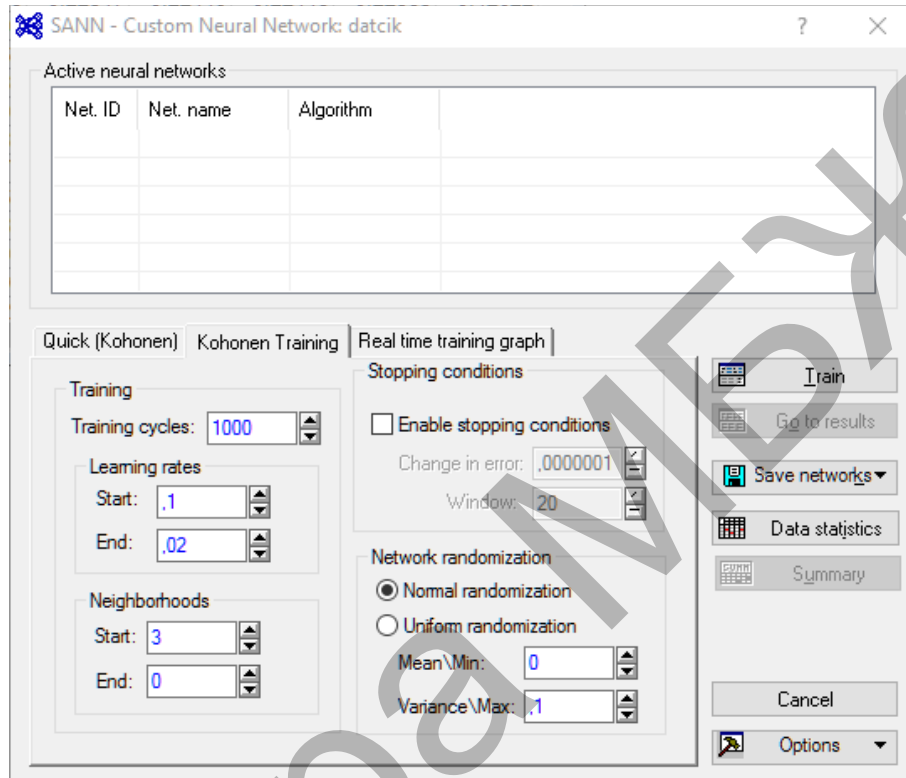


Рисунок 3.4 - Діалогове вікно *Користувачка нейронна мережа (КНМ)*, вкладка *Кохонен - навчання*

Проаналізуємо отримані результати. Топологічна карта, на якій для кожної ячейки вказуються частоти (і виділяються кольором) попадання спостережень, виглядає як приведено на рисунку 3.5. За допомогою даної карти всі дані ділять на кластери, а потім перевіряють класифікацію на опорних імпульсних характеристках датчиків тиску з визначеним терміном роботи. Після того як кластеризація проведена, ми можемо класифікувати нові спостереження, шляхом співвіднесення їх до конкретного кластера. Щоб зрозуміти більш чітку структуру кластерів і їх кількість, бажано провести ряд експериментів по побудові великих і маленьких карт. Це дозволить виявити як більші, так і малі групи спостережень.

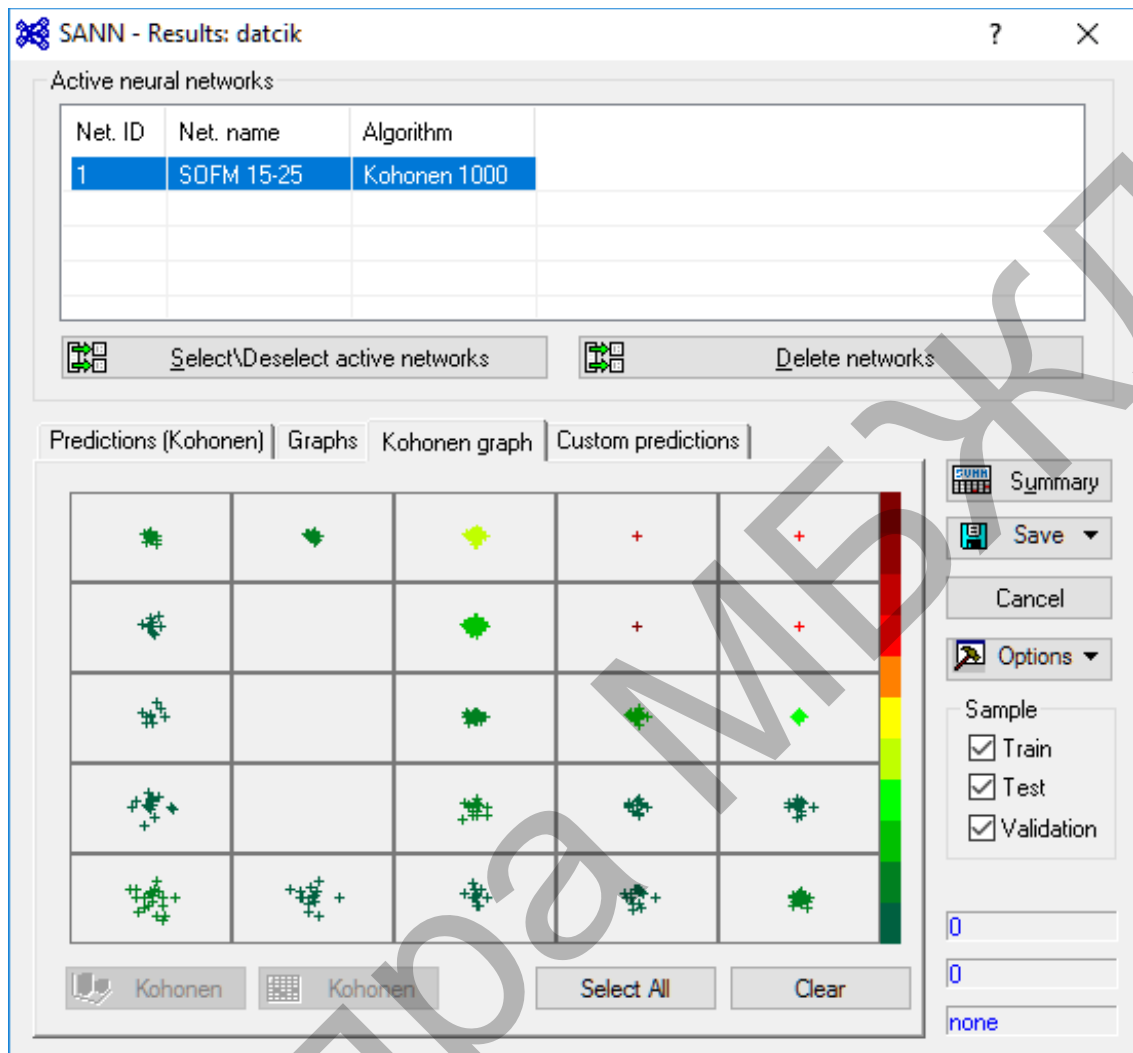


Рисунок 3.5 – Результати кластеризації

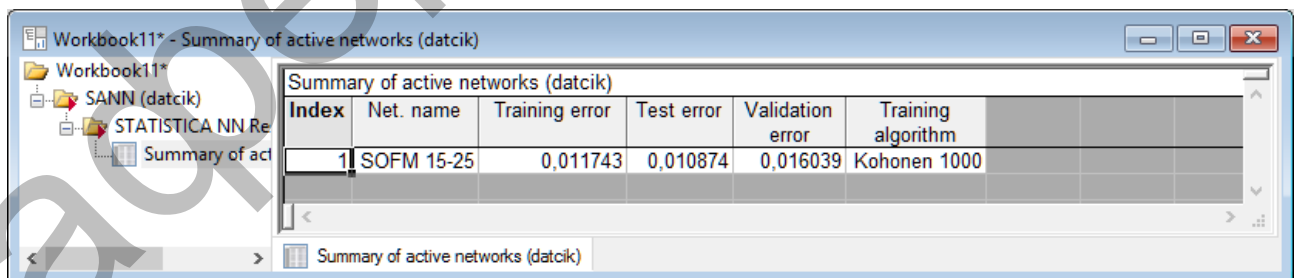


Рисунок 3.6 – Сумарна статистика роботи нейромережевого алгоритму формування "динамічних портретів" датчиків тиску

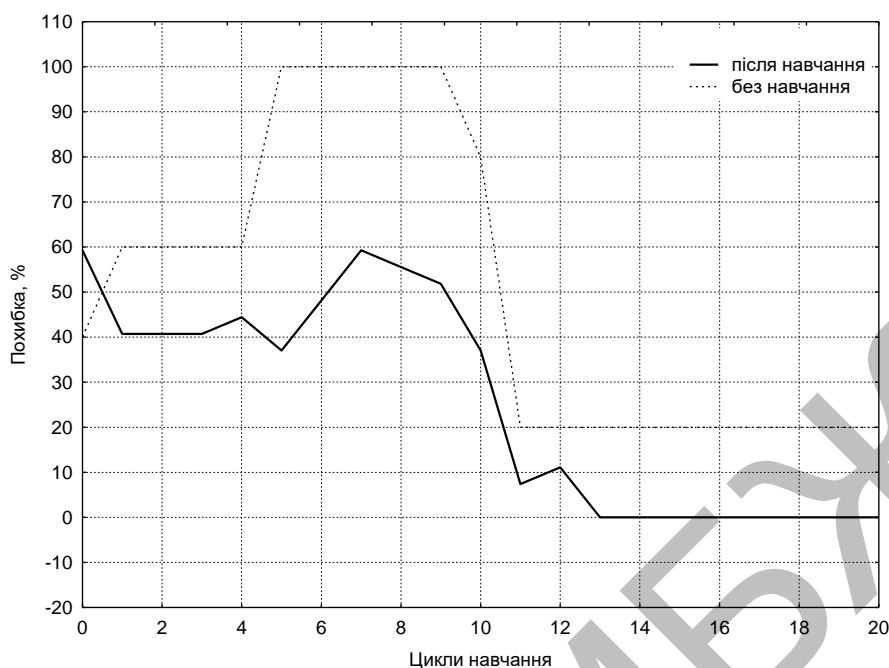


Рисунок 3.7 – Похибка класифікації нейронної мережі

Сумарна статистика роботи нейромережевого алгоритму формування "динамічних портретів" датчиків тиску приведена на рисунку 3.6. Так похибка навчання нейронної мережі склала 0,011743%.

Похибка класифікації імпульсних характеристик не навченою нейронною мережею склала 20% після 20 циклів, а мережі з попереднім навчанням 0,016% (рисунки 3.6, 3.7). Такі показники свідчать про те, що таку мережу можна з успіхом використовувати для формування "динамічних портретів" датчиків тиску.

Таким чином використання статистичного пакету STATISTICA дозволяє наглядно сформувати карту кластерів яка відповідає набору "динамічних портретів" датчиків тиску на будь якому робочому місці метролога яке має доступ до відповідної бази даних.



#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Дана дипломна робота розглядає систему передачі інформації від різного виду датчиків, які фіксують температуру, тиск на екран комп'ютера. Оператор детально оцінює та аналізує значення цих параметрів.

Розглянемо охорону праці при дослідженні методів визначення динамічних характеристик датчиків тиску.

Правовою основою законодавства по охороні праці є:

- 1) Конституція України;
- 2) Закони України: "Про охорону праці";
- 3) Кодекс Законів про працю України (КЗоП) і ін.

У ст. 43 Конституції записано: "Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, що він вільно обирає або на який вільно погоджується", "Кожний має право на належні безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату не нижче тієї, котра визначена законом", "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється".

У статті 45 Конституції говориться про право на відпочинок. Це право забезпечується щотижневими вихідними й оплачуваною щорічною відпусткою, а також встановленням укороченого робочого дня для деяких професій, скороченого робітника час у нічний час доби.

У ст. 46 Конституції зазначено на те, що громадяни мають право на соціальний захист.

В Україні – першій серед країн СНД – 14 жовтня 1992 року був прийнятий Верховною Радою України Закон "Про охорону праці", зі зміною від 21.11.2002 р. № 229-IV.

Закон є основним законодавчим документом в області охорони праці, дія якого поширюється на всі підприємства, установи й організації незалежно від форм власності і видів їхньої діяльності, на всіх громадян які працюють, а також притягнутих до роботи на цих підприємствах.

Кодекс законів про працю України (КЗоП) регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи росту продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і підйомові на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини. Законодавство про працю установлює високий рівень праці, всіляку охорону трудових прав працівників.

#### 4.1 Державні нормативні акти про охорону праці

В Україні державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП) – це правила, стандарти, норми, регламенти, положення, інструкції й інші документи, яким надана дія правових норм, обов'язкових для виконання. ДНАОП можуть бути міжгалузевими або галузевими.

Державний міжгалузевий нормативний акт про охорону праці – це ДНАОП загальнодержавного користування, дія якого поширюється на всі підприємства, установи, організації народного господарства України, незалежно від їх відомчої приналежності і форм власності

##### 4.1.1 Система стандартів безпеки праці

На основі державної стандартизації розробляються вимоги безпеки до конкретних форм і методів роботи з охорони праці, конструкціям, технологічним процесам, видам робіт, виробничим операціям.

Єдиним комплексом нормативно-технологічної документації по безпеці праці є державна система стандартів безпеки праці (ССБТ). ССБТ є комплексом взаємозалежних стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки праці, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці і встановлює норми і загальні вимоги по видах небезпек, загальні вимоги

безпеки до виробничого устаткування і виробничих процесів, до засобів забезпечення безпеки праці, вимоги безпеки до будинків і споруджень. ССБТ охоплює в основному все різноманіття питань, розв'язуваних охороною праці.

#### 4.2 Виробнича санітарія

Метеорологічні умови виробничого середовища визначаються поєднанням ряду факторів: температурою, відносною вологістю і швидкістю руху повітря. Від стану повітряного середовища залежать самопочуття і здоров'я людини.

Мікрокліматичні умови - параметри температури, відносної вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні або в зоні обслуговування та на постійних робочих місцях, установлені відповідними нормами. В основу принципів нормування параметрів мікроклімату покладена диференційна оцінка цих величин у залежності від теплової характеристики виробничого приміщення, категорії робіт за ступенем важкості та періоду року.

##### 4.2.1 Вимоги до мікроклімату

Робота користувача КІТ відноситься до категорії робіт 1а, 1б категорій. Оптимальні параметри мікроклімату приведені в таблиці 4.1. Приміщення повинні бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або вентиляцією.

Об'єм у повітрі робочої зони не повинне перевищувати:

- а) озону – 0.1 мг/ м<sup>3</sup> ;
- б) оксидів азоту – 5 мг/ м<sup>2</sup>;
- в) пилу – 4 мг/ м<sup>2</sup>.

Таблиця 4.1 – Оптимальні умови мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	1а	22-24	40-60	0,1

	16	21-23	40-60	0,1
Теплий	1а	23-25	40-60	0,1
	1б	22-24	40-60	0,2

#### 4.2.2 Вимоги до освітлення

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення. Природне світло повинне проникати через вікна, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід. Вікна повинні мати регулюючі пристосування для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки і т. п. Повинен бути забезпечений коефіцієнт природної освітленості (КЕО) не нижче 1,5%.

При виробничій необхідності дозволяється експлуатувати ПК у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці, органами й установами санітарно-епідеміологічної служби.

Штучне освітлення приміщення повинне бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Рівень освітленості на робочому столі в зоні розміщення документів повинний бути в межах від 300 лк до 500 лк. Загальне освітлення повинне бути виконане у виді суцільних або переривчастих ліній світильників, що розташовуються осторонь від робочих місць (переважно ліворуч) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники прямого світла - П; переважно прямого світла – Н, переважно відбитого світла - В. При розташуванні відеотерміналів по периметрі приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщатися локально над робітниками місцями. Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники з розсіювачами і дзеркальними екранними сітками або відбивачами.

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального

висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50 град. до 90 град. відносної вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більш 200 кд/м<sup>2</sup>, а захисний кут світильників повинний бути не більше 40 град. Коефіцієнт запасу (Кз) для освітлювальної установки загального освітлення варто приймати рівним 1,4. Коефіцієнт пульсації не повинний перевищувати 5%. У випадку неможливості забезпечити необхідний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрана і збільшення освітленості екрана більш ніж до 300 лк. У виробничих і адміністративно-суспільних приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається застосовувати систему комбінованого освітлення (додатково застосовувати світильники місцевого освітлення). Допускається у світильниках місцевого освітлення застосування ламп накаливання. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла.

Загальні вимоги для природного і штучного освітлення:

1) необхідно передбачити обмеження прямих відблисків від джерела освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і знаходяться в полі зору, повинна бути не більш 200 кд/м<sup>2</sup>;

2) необхідно обмежувати відбиті прямі відблиски шляхом вибору типів світильників і розміщенням робочих місць щодо джерел природного і штучного освітлення. Яскравість відблисків на екрані відеотермінала не повинна перевищувати 40 кд/ м<sup>2</sup>, яскравість стелі при застосуванні системи освітлення, що відбиває, не повинна перевищувати 200 кд/м<sup>2</sup>;

3) необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинне перевищувати 3:1, а робітників поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування) – 5:1;

4) необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення в залежності від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки необхідні для роботи зони приміщення;

5) необхідно очищати шибку і світильники не рідше ніж 2 рази в рік і вчасно проводити заміну перегорілих ламп.

#### 4.2.3 Вимоги до рівня шуму

Рівень шуму не повинен перевищувати:

а) 40 дБ – при виконанні робіт, зв'язаних з виготовленням концепцій, розробкою нових програм, інших творчих робіт, а також при навчанні;

б) 50 дБ – при виконанні робіт, зв'язаних з керівництвом людьми, що виконують розумові роботи (робота керівника);

в) 55 дБ – при виконанні висококваліфікованої розумової роботи, що вимагає зосередженості;

г) 65 дБ – при виконанні робіт з інструкцій (операторська і близькі до неї по діяльності), а також при виконанні точних зорових робіт.

Для забезпечення нормованих рівнів шуму у виробничих приміщеннях і на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби, у якості яких повинні застосовуватися незгораючі або спеціальні перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот від 31,5 Гц до 8000 Гц, або інші матеріали аналогічного призначення. Крім того, необхідно застосовувати підвісні стелі з аналогічними властивостями.

#### 4.3 Техніка безпеки

У зв'язку з застосуванням електроустаткування вимоги техніки безпеки відносяться до електробезпеки.

Приміщення, де виконуються роботи, повинне бути без підвищеної небезпеки. Якщо існують умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку, їх варто усунути.

Заземлені конструкції будинку, що знаходяться в приміщенні (батареї опалення, водопровідні труби, кабелі з заземленим відкритим екраном і ін.), повинні бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, периферійних пристосувань і устаткування для обслуговування, ремонту і налагодження виконується як окрема групова трьох провідна мережа, шляхом прокладки фазних, нульових робочих і нульового захисного провідників.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів, периферійних пристосувань і устаткування для обслуговування, ремонту і налагодження до звичайної двох провідної електромережі, у тому числі з використанням перехідних пристосувань.

У приміщенні, де одночасно експлуатується, або обслуговується більше п'яти ПЕОМ, на видному і доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, що може повністю знеструмити приміщення, крім освітлення.

Електромережа для живлення ПЕОМ, периферійних пристосувань, обслуговування, ремонту і налагодження при розміщенні їх у центрі приміщення прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не дозволяється застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми й інших матеріалів, що містять сірку. Відкрита прокладка кабелів під підлогою забороняється.

Необхідно забезпечити відвід з покриття підлоги статичних зарядів. Металеві труби і гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені.

Тимчасова електропровідка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у

конструкціях машин, приладів і меблів. Нарощувати проводи можна тільки шляхом пайки з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Нульовий захисний провідник використовується для занулення електроприймачів. Використання нульового робочого провідника в якості нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затиску нульових робочих і нульового захисного провідників.

Електромережі штепсельних з'єднань і електророзеток для живлення ПК, периферійних пристосувань і устаткування для обслуговування ремонту і налагодження варто виконувати за магістральною схемою від 3 до 6 з'єднань, або електророзеток в одному ланцюзі.

Штепсельні з'єднання і електророзетки на напругу 12 В та 36 В по своїй конструкції повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань на напругу 127 В та 220 В. Штепсельні з'єднання і електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, повинні бути пофарбовані в колір, що візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

#### 4.3.1 Вимоги безпеки під час експлуатації персональних комп'ютерів

Користувачі повинні стежити за тим, щоб комп'ютери, периферійні пристосування й устаткування для обслуговування, ремонту і налагодження були справні і випробувані відповідно до діючих нормативних документів.

Щодня перед початком роботи необхідно проводити очищення екрана відео терміналу від пилу й інших забруднень. Під час виконання робіт необхідно дотримуватися режимів праці і відпочинку. Після закінчення роботи відео термінал і персональна ЕОМ повинні бути відключені від електричної мережі.

У випадку виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити відео термінал і ПК від електричної мережі. При необхідності для захисту від



електромагнітних, електростатичних і інших полів можуть застосовуватися спеціальні технічні засоби, що мають відповідний сертифікат або санітарно-гігієнічний висновок акредитованих органів щодо їхніх захисних властивостей.

Є неприпустимими наступні дії:

- 1) виконання обслуговування, ремонту і налагодження ПК безпосередньо на робочому місці користувача ПК;
- 2) збереження біля відеотерміналу і ПК паперів, дисків, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей і т.п., якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- 3) відключення захисних пристосувань, самовільне проведення змін у конструкції і складі ПК, устаткування або їхнє технічне налагодження;
- 4) робота з відеотерміналами, у яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані і т.п.;
- 5) робота на принтері зі знятою або небагато піднятою захисною кришкою.

#### 4.3.2 Пожежна безпека

У залежності від особливостей виробничого процесу, крім загальних вимог пожежної безпеки, здійснюються спеціальні протипожежні заходи щодо окремих видів виробництв, технологічних процесів і промислових об'єктів. Для споруджень і приміщень, у яких експлуатуються відеотермінали й ЕОМ, такі заходи визначені Правилами пожежної безпеки в Україні, ДНАОП 0.00-1.31-99 і іншими нормативними документами.

Будинки і ті їхні частини, у яких розташовуються ЕОМ, повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості. Над і під приміщеннями, де розташовуються ЕОМ, а також у суміжних з ними приміщеннях не дозволяється розташування приміщень категорій А і Б з вибухопожежної небезпеки. Приміщення категорії В необхідно відокремлювати від приміщень з ЕОМ протипожежними стінами.

Для всіх споруджень і приміщень, у яких експлуатуються відеотермінали й ЕОМ, повинна бути визначена категорія по вибухопожежній і пожежній небезпці згідно ОНТП 24-86 "Визначення категорій приміщень і будинків по вибухопожежній і пожежній небезпці", і клас зони відповідно до Правил устрою електроустановок. Відповідні позначення повинні бути нанесені на вхідних двері приміщення.

Сховища інформації, приміщення для збереження перфокарт, магнітних стрічок, пакетів магнітних дисків потрібно розміщати у відділених приміщеннях, обладнаних незгораючими стелажми і шафами. Зберігати такі носії інформації на стелажах необхідно в металевих касетах. У приміщеннях ЕОМ потрібно зберігати лише ті носії інформації, що необхідні для поточної роботи.

Комунікації прокладають крізь діафрагми в спеціальних обоймах із застосуванням незгораючих ущільнювачів для запобігання проникнення вогню з одного відсіку в інший, а також з підпільного простору в приміщення. Підпільний простір під знімною підлогою повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації і засобами пожежогасіння відповідно до вимог Переліку одностипних по призначенню об'єктів, що підлягають устаткуванню автоматичними установками пожежогасіння і пожежної сигналізації, Сніп 2.04.09-84, з використанням димових пожежних оповіщувачів.

Для промивання деталей необхідно застосовувати негорючі миючі препарати. У разі потреби проведення дрібного ремонту або технічного обслуговування ЕОМ безпосередньо в машинному залі і неможливості застосування негорючих миючих речовин дозволяється мати не більше 0,5 л легкозаймистої рідини в тарі, що не б'ється і щільно закривається.

Приміщення, у яких розташовуються персональні ЕОМ і дисплейні зали, повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами і переносними вуглекислотними

вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з врахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної речовини.

Кафедра МБЖД

## ВИСНОВКИ

В результаті вирішення поставленої задачі з формування "динамічних портретів" датчиків тиску в дипломній роботі досліджені методи визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску. На сьогодні практично єдиним методом визначення таких характеристик є метод аналізу шумів. На відміну від нього приведений метод функціонує навіть тоді, коли вхідна дія являє собою нестационарний процес.

Метод аналізу шумів вимагає високої кваліфікації експертів, оскільки в ньому використовуються складні статистичні пакети і спеціалізовані програми, а остаточне рішення приймається екпертом. Запропоновані методи також є складним з математичної точки зору, але рішення про визначену постійну часу каналу приймає розроблений алгоритм, що виключає суб'єктивну похибку.

Для порівняння методу аналізу шумів і розроблених методів з точки зору точності визначення постійної часу вимірювального каналу були проведені порівняльні експериментальні дослідження в рівних умовах, тобто на одному і тому ж вимірювальному каналу тиску, з відомими динамічними характеристиками. Основними є наступні результати роботи:

1. Доведено, що в результаті "старіння" датчика тиску постійна часу за десять років експлуатації збільшується в 1.5...2 рази і може виходити за межі допустимих значень. Встановлено, що "старіння" елементів вимірювального каналу тиску практично не змінює лінійності робочої ділянки його функції перетворення.

2. Для створення бази даних опорних моделей вимірювального каналу тиску запропоновано метод визначення динамічних характеристик з використанням внутрішнього контролю, який на відміну від відомих дозволяє модифікувати базові моделі каналу тиску за даними експериментальних досліджень і тим самим врахувати "старіння" каналів. Мінімальна відносна похибка методу становить близько 13%.

3. Розроблена методика формування "динамічних портретів" датчиків тиску з використанням нейронної мережі Кохонена. Похибка класифікації імпульсних характеристик не навченою нейронною мережею склала 20% після 20 циклів, а мережі з попереднім навчанням 0,016%

Отже, в дипломній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна задача визначення динамічних характеристик датчиків тиску у робочих режимах.

Кафедра МБЖД

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваль А. О. Визначення постійної часу датчика при розв'язанні оберненої задачі вимірювань / А. О. Коваль, О. В. Полярус, Є. О. Поляков, А. І. Котова // Метрологія та прилади. – 2014. – №1. – С. 111–113.
2. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків: Лідер, 2017. 146 с.
3. Коваль А. О. Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача / А. О. Коваль, О. В. Полярус, А. О. Подорожняк // Вісник НТУ "ХПІ". – 2014. – №35. – С. 152–155.
4. Коваль А. О. Використання методу внутрішнього контролю для оцінки адекватності моделі вимірювального перетворювача / А. О. Коваль // ІХ МНПК "Метрологія та вимірювальна техніка". – 2014. – С. 23-26.
5. Коваль А. О. Використання методу внутрішнього контролю для досліджень перехідних характеристик давачів тиску / А. О. Коваль // Український метрологічний журнал. – 2015. – №1. – С. 64–67.
6. Полярус О. В. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення / О. В. Полярус, Є. О. Поляков. – Харків: Лідер, 2014. – 120 с.
7. Коваль А. О., Полярус О. В. Вплив "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 6. С. 123–126.
8. Коваль А. О. Прогнозування метрологічної надійності датчиків тиску на техногенно-небезпечних об'єктах. *І Всеукраїнська наук.-тех. конф. "Актуальні проблеми автоматики та приладобудування"*: тези доп. ННЦ "Інститут метрології", (м. Харків, 23 березня 2014 р.) Харків, С. 79–83.
9. Полярус О. В., Коваль А. О. Використання методу шумів та online діагностики для вдосконалення метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах. *Вісник НТУ "ХПІ"*. 2015. №35. С. 152–156.
10. Коваль А. О., Коваль О. А., Медведовська Я. С., Петрукович Д. Є., Діденко Н. В., Янушкевич С. Д., Лебединський А. В. Метод оцінювання

невизначеності відновлення динамічних характеристик вимірювальних каналів в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах. *Український метрологічний журнал*. Харків, 2020. №3а. С 3-12. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3A.2020.217444>.

11. Плечова Є. О., Биценко Д. П. Дослідження методів зменшення динамічних похибок вимірювань в багатопараметричних вимірювальних інформаційних системах. *Студентська наукова робота «Параметр»*: матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт із спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка; інформаційні вимірювальні системи; метрологічне забезпечення випробовувань та якості продукції», м. Луцьк, 21 квітня 2021р. Луцьк, 2021. с. 39.

12. Плечова Є. О., Рояка В. Д. «Дослідження впливу неідентичності метрологічних характеристик вимірювальних каналів на похибки вимірювань динамічних навантажень в просторово розподілених вимірювальних інформаційних системах». *Студентська наукова робота «Навантаження»*: матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт із спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка; інформаційні вимірювальні системи; метрологічне забезпечення випробовувань та якості продукції», м. Луцьк, 26 квітня 2020р. Луцьк, 2020. с. 30.

13. Плечова Є. О., Чайка В. В. «Нормування метрологічних характеристик вимірювального каналу тиску». *Студентська наукова робота «Норма»*: матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт із спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка; інформаційні вимірювальні системи; метрологічне забезпечення випробовувань та якості продукції», м. Луцьк, 27 квітня 2019р. Луцьк, 2019. с. 41.

14. Плечова Є. О., Биценко Д. П. «Дослідження впливу неідентичності метрологічних характеристик пожежних сповіщувачів на достовірність роботи просторово розподілених охоронних систем». *Студентська наукова робота «Достовірність»*: матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт із спеціальності «Пожежна безпека», м. Харків,

16 квітня 2021 р. Харків, 2021, с. 38. URL: <https://nuczu.edu.ua/ukr/rezultaty-konkursu>.

15. Коваль А. О., Полярус О. В. Вплив "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 6. С. 123–126.

16. Коваль А. О. Прогнозування метрологічної надійності датчиків тиску на техногенно-небезпечних об'єктах. *I Всеукраїнська наук.-тех. конф. "Актуальні проблеми автоматики та приладобудування"*: тези доп. ННЦ "Інститут метрології", (м. Харків, 23 березня 2014 р.) Харків, С. 79–83.

17. Полярус О. В., Коваль А. О. Використання методу шумів та online діагностики для вдосконалення метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах. *Вісник НТУ "ХПІ"*. 2015. №35. С. 152–156.

18. Broomhead, D.S. Multivariable functional interpolation and adaptive networks / D.S. Broomhead, D. Lowe // *Complex Systems*. -1988. -V. 2, № 3. - P. 321-355.

19. Danisman, K. Design of a high precision temperature measurement system based on artificial neural network for different thermocouple types / K. Danisman, I. Dalkiran, F.V. Celebi // *Measurement*. - 2006. - № 39. - P. 695-700.

20. Hajiyev, Ch. Innovation approach based measurement error self-correction in dynamic systems / Ch. Hajiyev // *Measurement*. - 2006. - № 39. - P. 585-593.

21. Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy and Adaptive Approaches / Ed. by David A. White, Donald A. Sofge. - New York: Nostrand Reinhold, 1992.

22. Handbook of Neural Network Signal Processing / Ed. by Yu Hen Hu, Jenq-Neng Hwang. - New York: CRC Press LLC, 2002.

23. Hebb, D.O. Organization of Behavior: A neuropsychological theory / D.O. Hebb. - New York: Wiley, 1949.

24. Hopfield, J.J. Neural Networks and Physical systems with emergent collective computational abilities / J.J. Hopfield // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. - 1982. - V.79. - P. 2554-2558.



25. Hopfield, J.J. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons / J.J. Hopfield // Proc. National Acad. Sci. USA. - 1984.-№81.-P.3088-3092.

26. Kohonen, T., Self-organized formation of topological<sup>^</sup> correct feature maps / T. Kohonen // Biological Cybernetics. -1982. - V. 43. - P. 59-69.

27. McCulloch, W.S. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity / W.S. McCulloch, W. Pitts // Bulletin of Mathematical Biophysics. - 1943 - V. 9 - P. 127-147.

28. Neural networks for control / Ed. by W. Thomas Miller, Richard S. Sutton, Paul J. Werbos. - Cambridge, MA: Bradford Books / MIT Press, 1990.

29. Neural networks for control systems: A survey / K.J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, P.J. Gawthrop. // Automatica. - 1992. -V. 28, № 6. - P. 1083-1112.

30. Psaltis, D. A multilayered neural networks controller / D. Psaltis, A. Sideris, A.A. Yamamura // IEEE Control System Magazine. - 1988. - № 8. - P. 17-27.

31. Rao, Y.-H. Neural net computing and the intelligent control of systems / Y.-H. Rao, S.M. Phillips, D.J. Sobajic // Int. J. Control. -1992. - V 56, № 2. - P.263-289.

32. Rhoads, R.L. Removal of interfering system distortion by deconvolution / R.L. Rhoads, M.P. Ekstrom // IEEE Trans. Instrumentation and Measurement. - 1969. - V. 17, №4.-P. 333-337.

33. Rosenblatt, F. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms / F. Rosenblatt. - Washington D.C.: Spartan Book, 1961.

34. Rumelhart, D.E. Learning representations by back-propagating errors / D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, R.J. Williams // Nature. - 1986. - V. 323 - P. 533-536.

35. Rumelhart, D.E. Learning internal representations by error propagation / D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, R.J. Williams // Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition. - 1986. -V. 1. - P. 318-362.

36. Rumelhart, D.E. Feature discovery and competitive learning / D.E. Rumelhart, D. Zipser // Cognitive science. -1985. - V. 9. - P. 75-112.

37. Saggin, B. Dynamic error correction of a thermometer for atmospheric measurements I B. Saggin, S. Debei, M. Zaccariotto // Measurement. - 2001. - № 30. - P. 223-230.

38. Shestakov, A.L. Dynamic Error Correction Method / A.L. Shestakov // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. - 1996. - Vol. 45, № 1. - P. 250-255.

39. Silverman, H.F. On deconvolution using the discrete Fourier transform / H.F. Silverman, A.E. Pearson II IEEE Trans. Audi Electroacoust. - 1973. - № 21. - P. 112-118.

40. Vieira, W.G. Identification and predictive control of a FCC unit using a MIMO neural model I W.G. Vieira, V.M.L. Santos, F.R. Carvalho, J.A.F.R. Pereira, A.M.F. Fileti // Chemical Engineering and Processing. -2005. - № 44. - P. 855-868.

41. Warwick, K. Neural networks of control and systems / K. Warwick, G.W. Irwin, K.J. Hunt. - London: Peter Peregrinus, 1988.

42. Widrow, B. Adaptive Switching Circuits / B. Widrow, M. Hoff. - IRE WESCON Convention Record. New York: Institute of Radio Engineers, 1960.

43. Widrow, B. Neural networks: Application in industry, business and science / B. Widrow, D.E. Rumelhart, M.A. Lehr // Comm. ACM. - 1994. - V. 37, № 3. - P. 83-105.

ДОДАТОК А  
БЛОК СХЕМИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ  
МЕТОДУ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ

Кафедра МБЖД

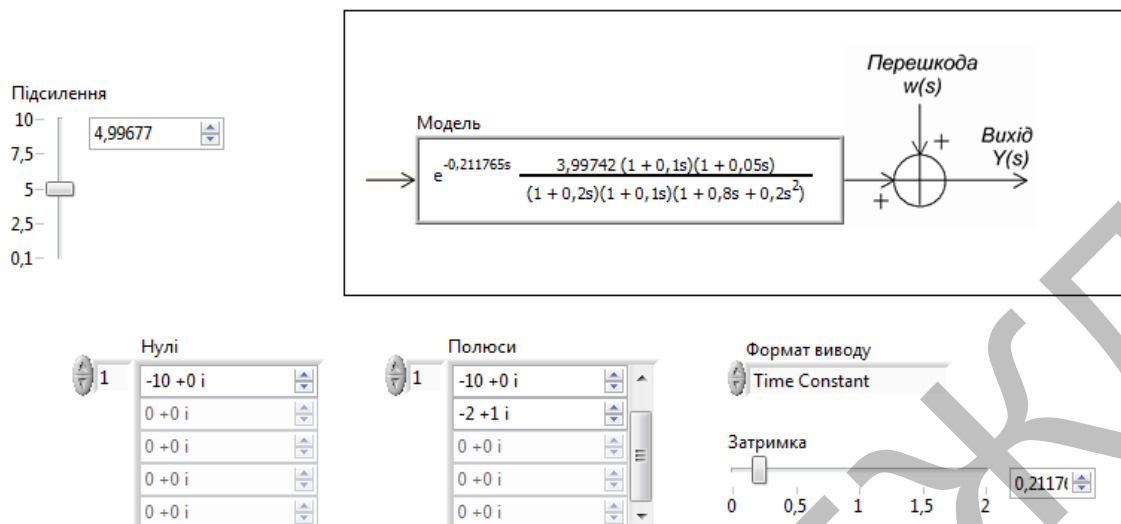


Рисунок А.1 – Зображення екрану при роботі програми модуля визначення моделі ПХ ВК (часова форма представлення ПХ)

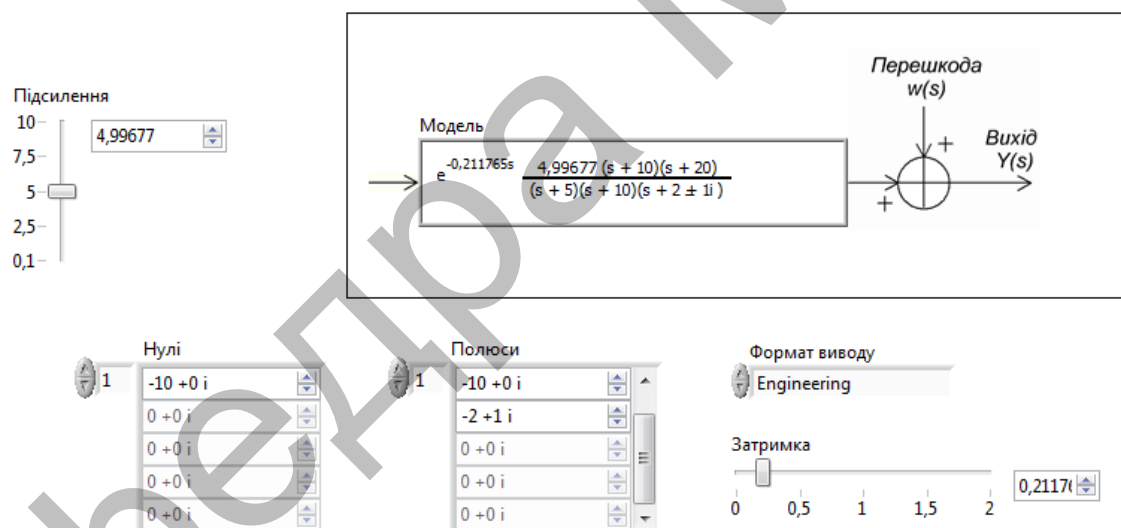


Рисунок А.2 – Зображення екрану при роботі програми модуля визначення моделі ПХ ВК (комплексна форма представлення ПХ)

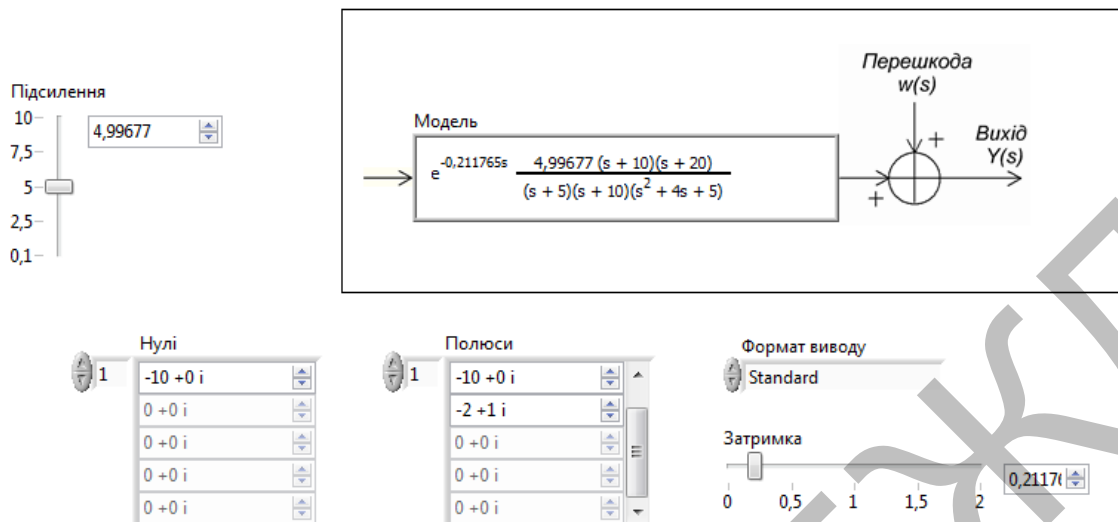


Рисунок А.3 – Зображення екрану при роботі а програми модуля визначення моделі ПХ ВК (стандартна форма представлення ПХ)

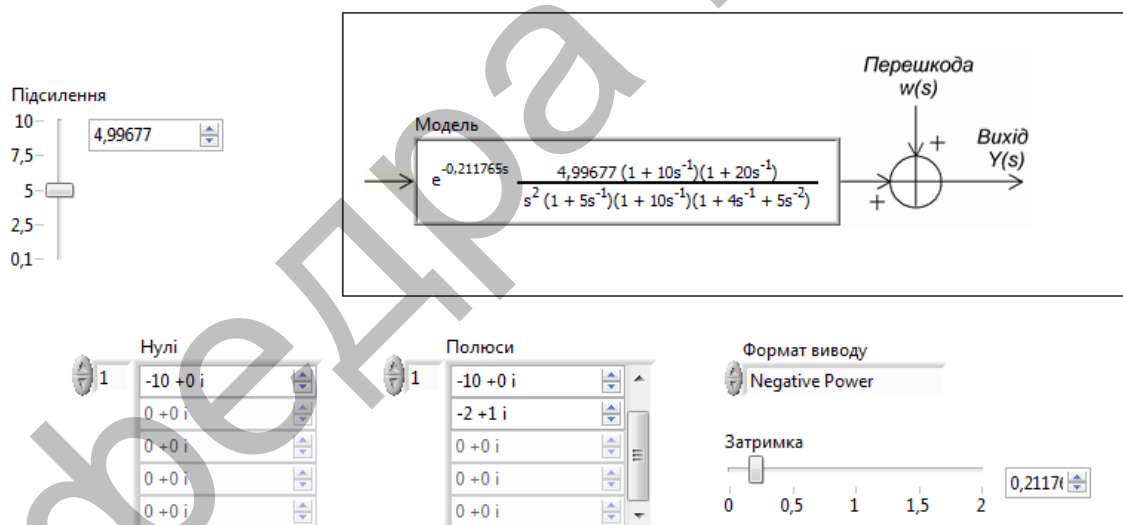


Рисунок А.4 – Зображення екрану при роботі програми модуля визначення моделі ПХ ВК (показникова форма представлення ПХ)

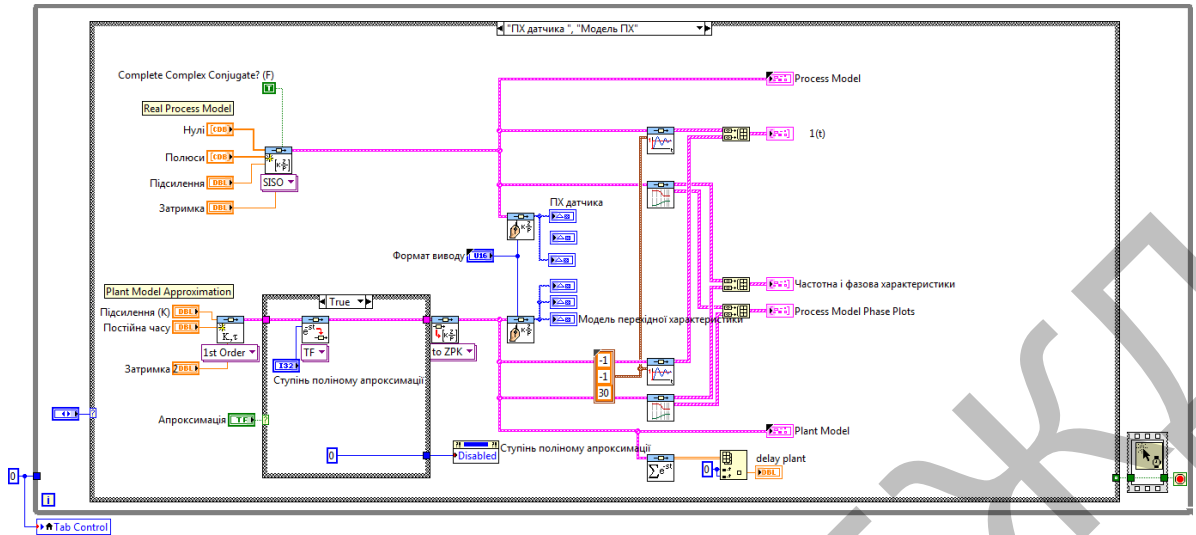


Рисунок А.5 – Блок-схема програми модуля наближення моделі до опорної моделі ВК

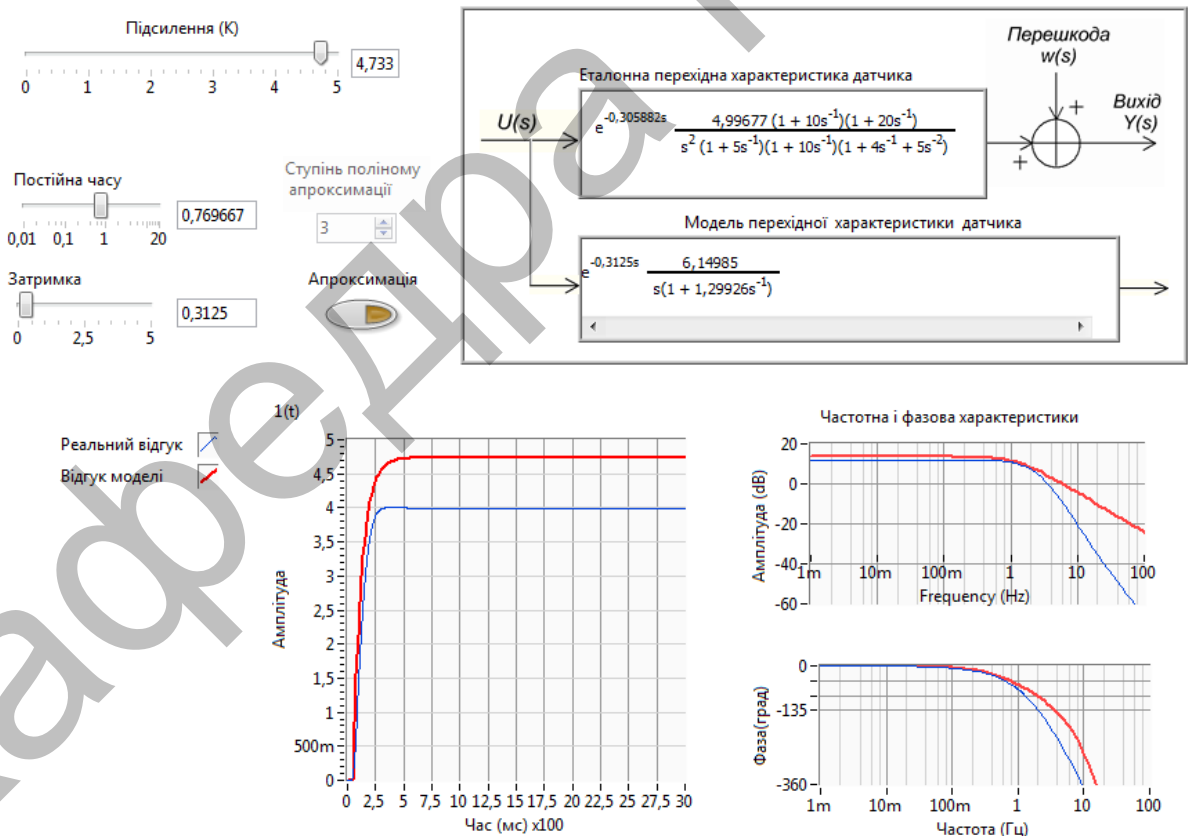


Рисунок А.6 – Зображення екрану при роботі програми модуля наближення моделі до опорної моделі ВК

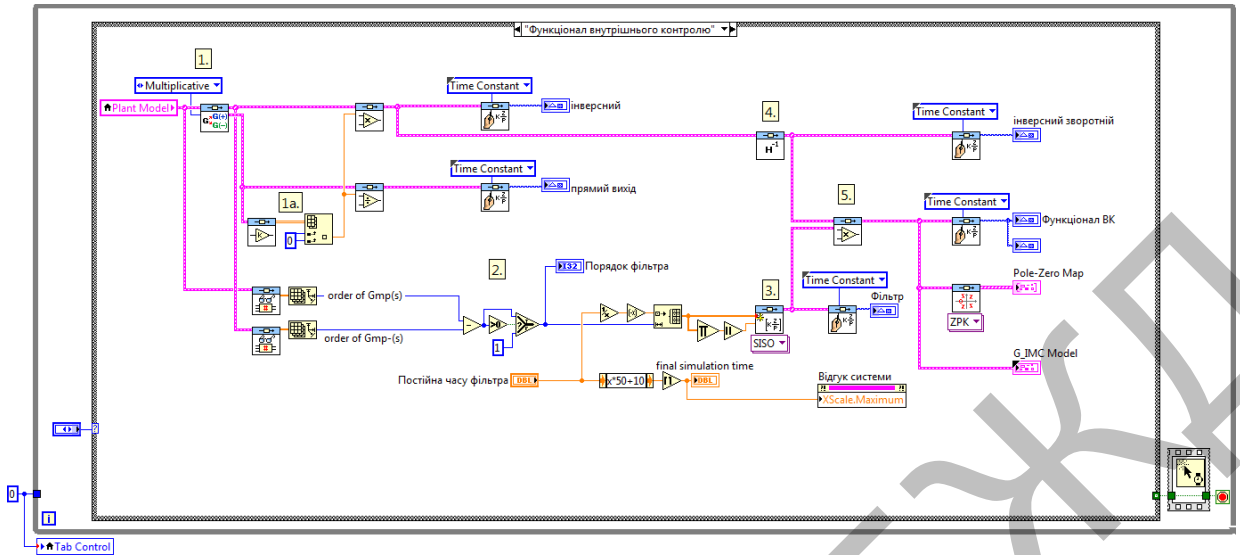


Рисунок А.7 – Блок-схема програми внутрішнього контролера якості моделі ПХ ВК

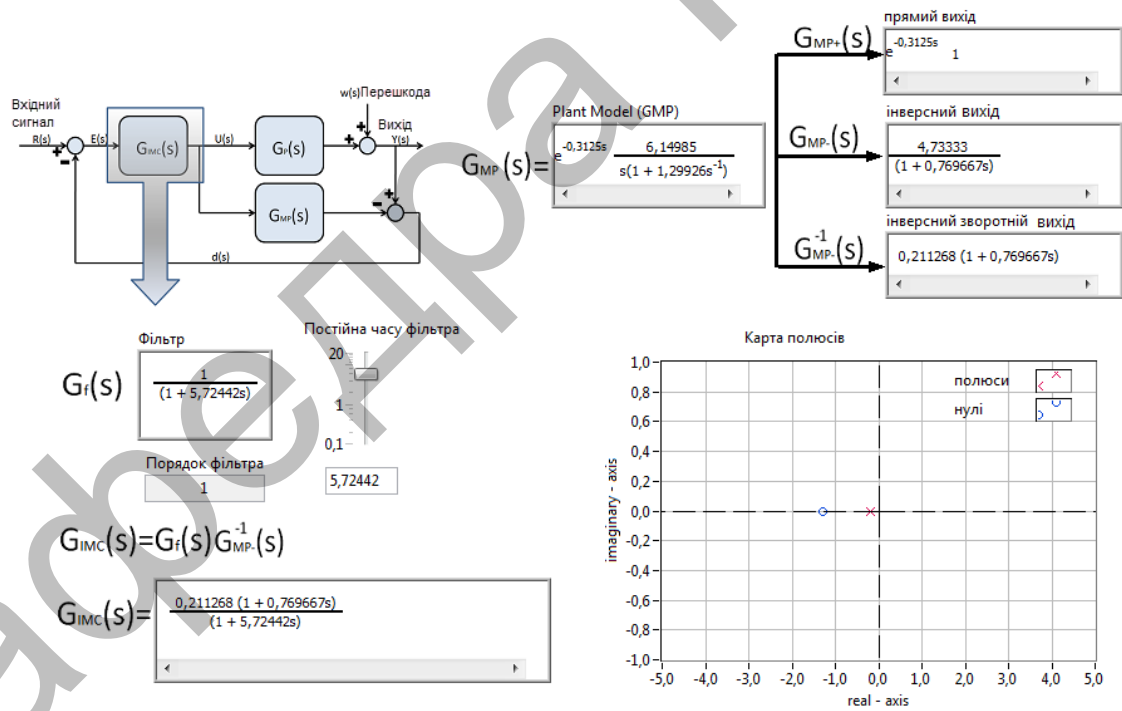


Рисунок А.8 – Зображення екрану при роботі програми внутрішнього контролера якості моделі ПХ ВК

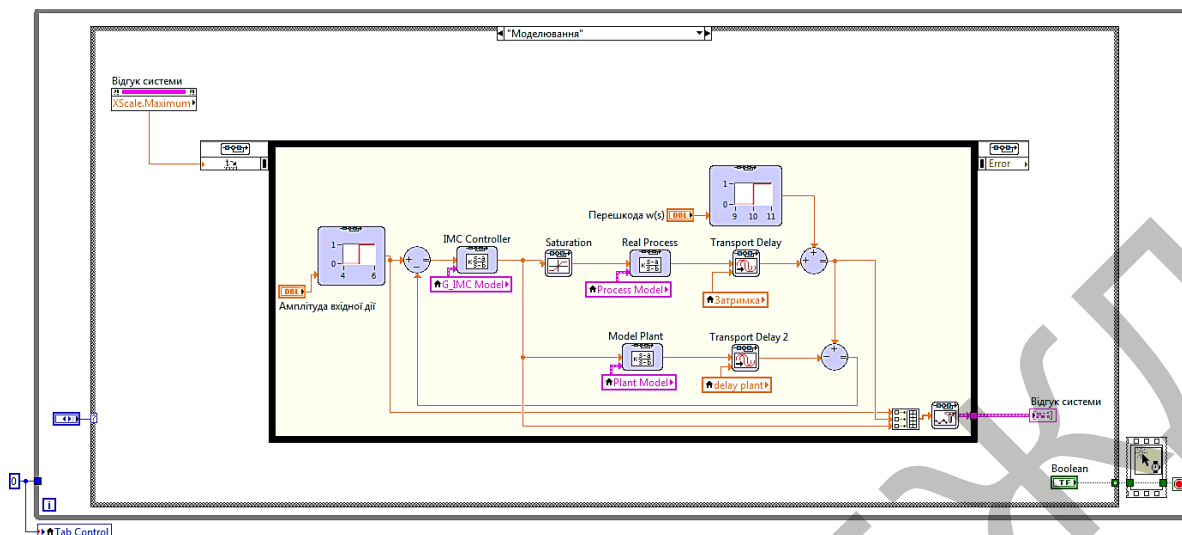


Рисунок А.9 – Блок-схема програми модуля контролю моделі ПХ ВК

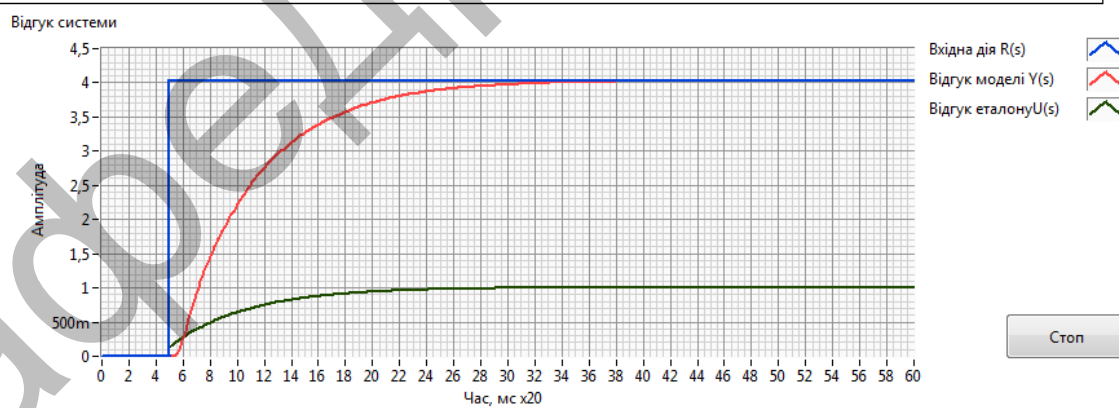
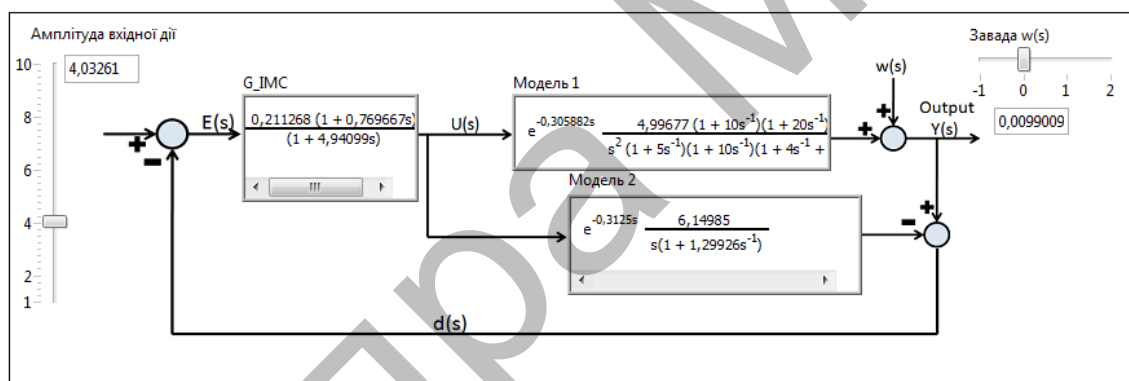


Рисунок А.10 – Зображення екрану при роботі програми контролю моделі ПХ ВК



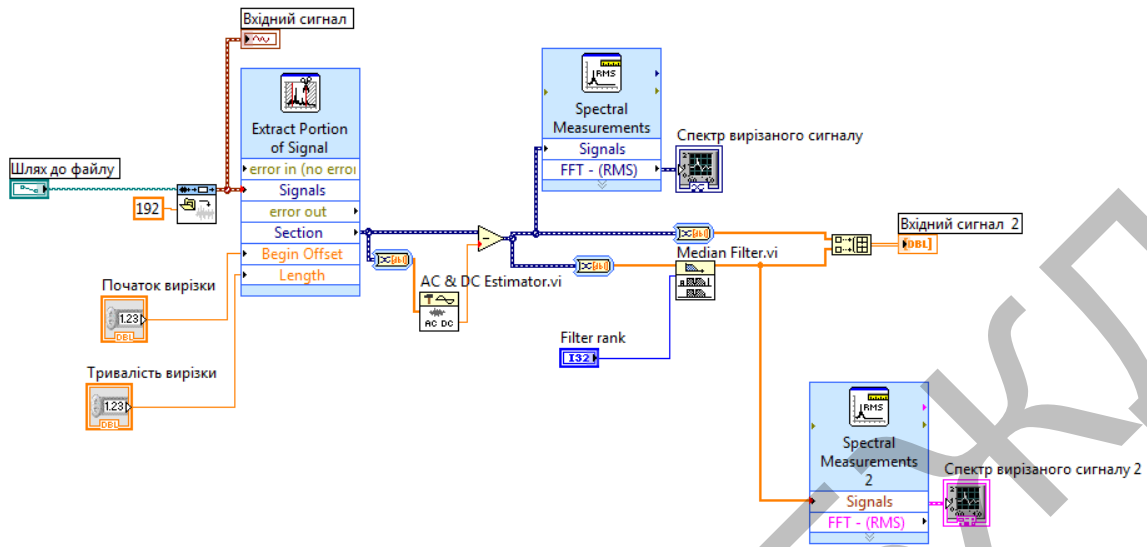


Рисунок А.11 – Блок діаграма програми усунення нестационарності вихідного сигналу ВК

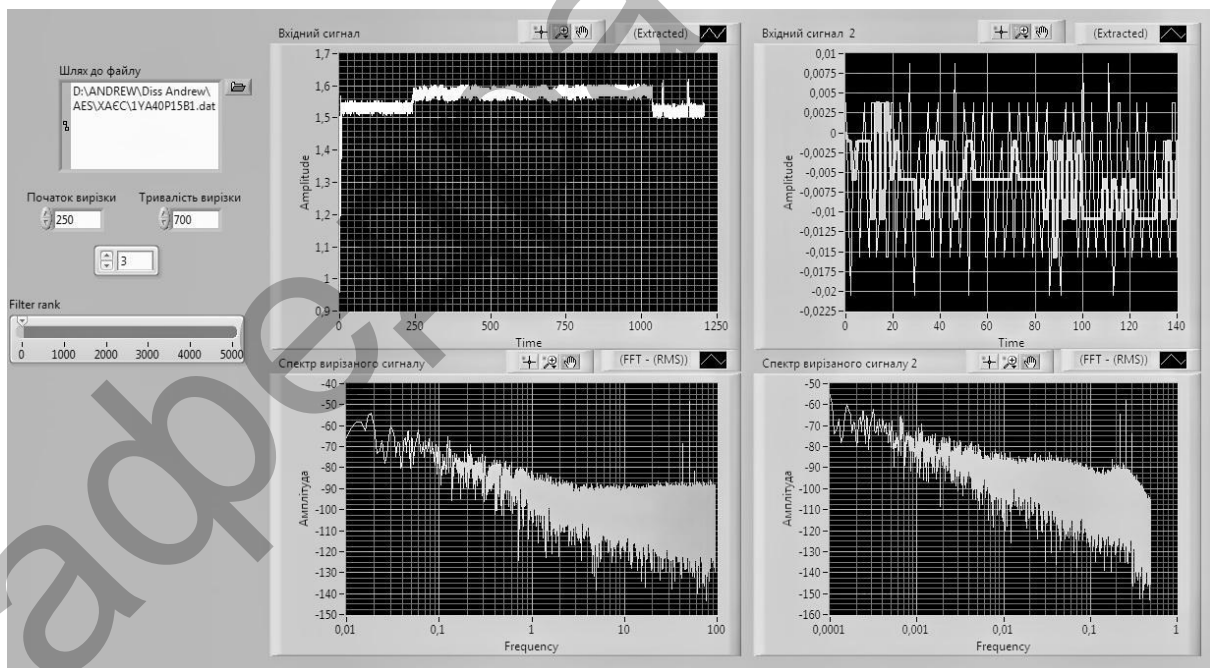


Рисунок А.12 – Зображення екрану при роботі програми усунення нестационарності вихідного сигналу ВК

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Кафедра МБЖД

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ  
магістра

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ


Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.

  
О. І. Богатов


Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.

  
І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц.

  
А. О. Коваль

Студент гр. ММ-61-22

  
В. В. Усипенко

м. Харків - 2023

## МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження — просторово розподілена інтелектуальна вимірювальна інформаційна система.

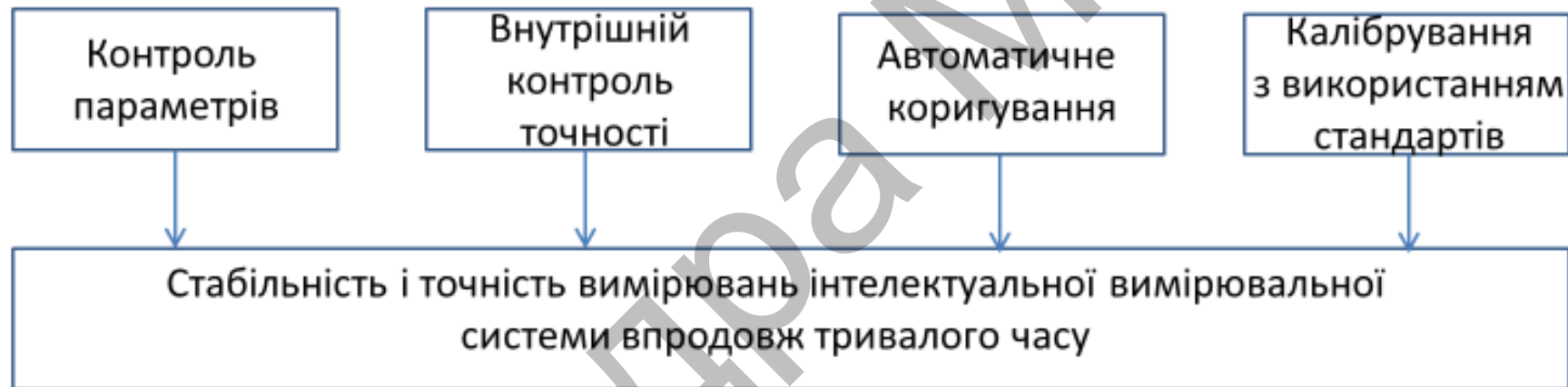
Мета роботи — дослідити методи оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску.

Метод дослідження — статистичного та часового аналізу даних вимірювань просторово розподіленої інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи тиску.

Предмет дослідження — процес оптимізації побудови вимірювальних каналів.

В магістерській роботі проведені дослідження методів оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску в багатопараметричних просторово розподілених інтелектуальних вимірювальних системах.

## ОСНОВНІ АСПЕКТИ САМОКАЛІБРУВАННЯ



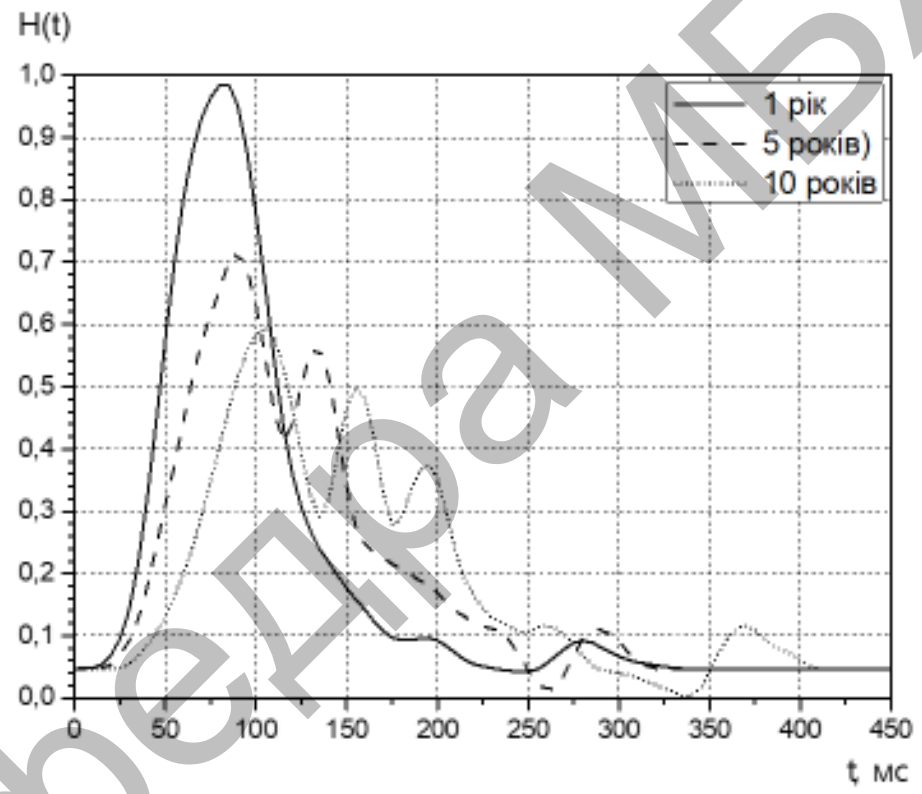


Рисунок 3 – Вплив терміну експлуатації вимірювального каналу на його імпульсну характеристику

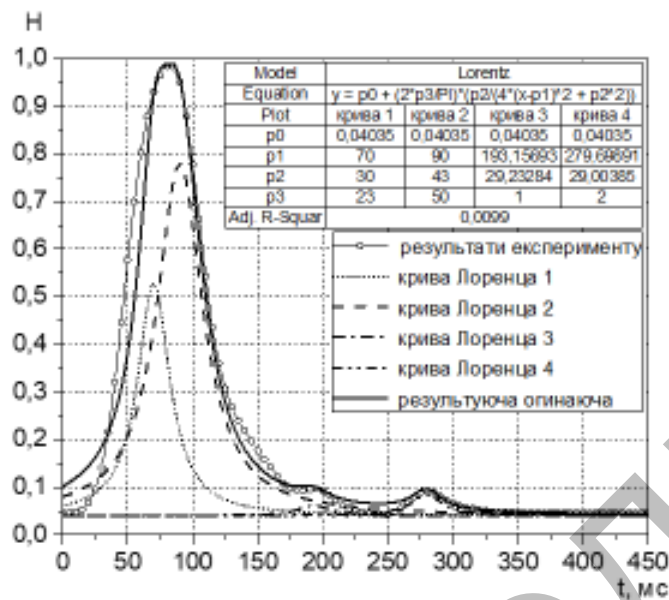
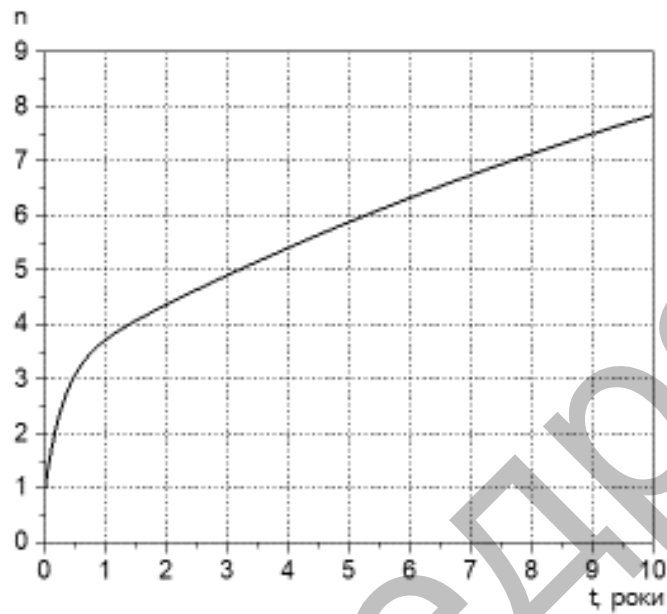


Рисунок 4 – Апроксимована функціями Лоренца імпульсна характеристика датчика тиску

$$H_1(t) = 0.16 + \frac{439}{4 \cdot (t-70)^2 + 900} + \frac{1369}{4 \cdot (t-90)^2 + 1849} + \frac{18.6}{4 \cdot (t-193)^2 + 854.6} + \frac{37}{4 \cdot (t-280)^2 + 841} \quad (1)$$

$$H_3(t) = 0.258 - \frac{305.6}{4 \cdot (t-17)^2 + 3600} + \frac{2567}{4 \cdot (t-87)^2 + 3969} + \frac{140}{4 \cdot (t-138)^2 + 484} + \frac{2447}{4 \cdot (t-200)^2 + 21360} - \frac{128}{4 \cdot (t-274)^2 + 4474} - \frac{326}{4 \cdot (t-285.5)^2 + 16.28} \quad (2)$$

$$H_{10}(t) = 0.344 - \frac{153}{4 \cdot (t-25)^2 + 3600} + \frac{1662}{4 \cdot (t-100)^2 + 3047} + \frac{126}{4 \cdot (t-156)^2 + 400} + \frac{4858}{4 \cdot (t-207)^2 + 1697} - \frac{3920}{4 \cdot (t-207.8)^2 + 1568} - \frac{5.48}{4 \cdot (t-296)^2 + 273} - \frac{142}{4 \cdot (t-338)^2 + 1814} \quad (3)$$



$$n(t) = 1 + 2.2 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{0.3}\right)\right) + 12 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{16}\right)\right) \quad (5)$$

Рисунок 5 – Залежність кількості апроксимаційних функцій від терміну експлуатації датчиків тиску



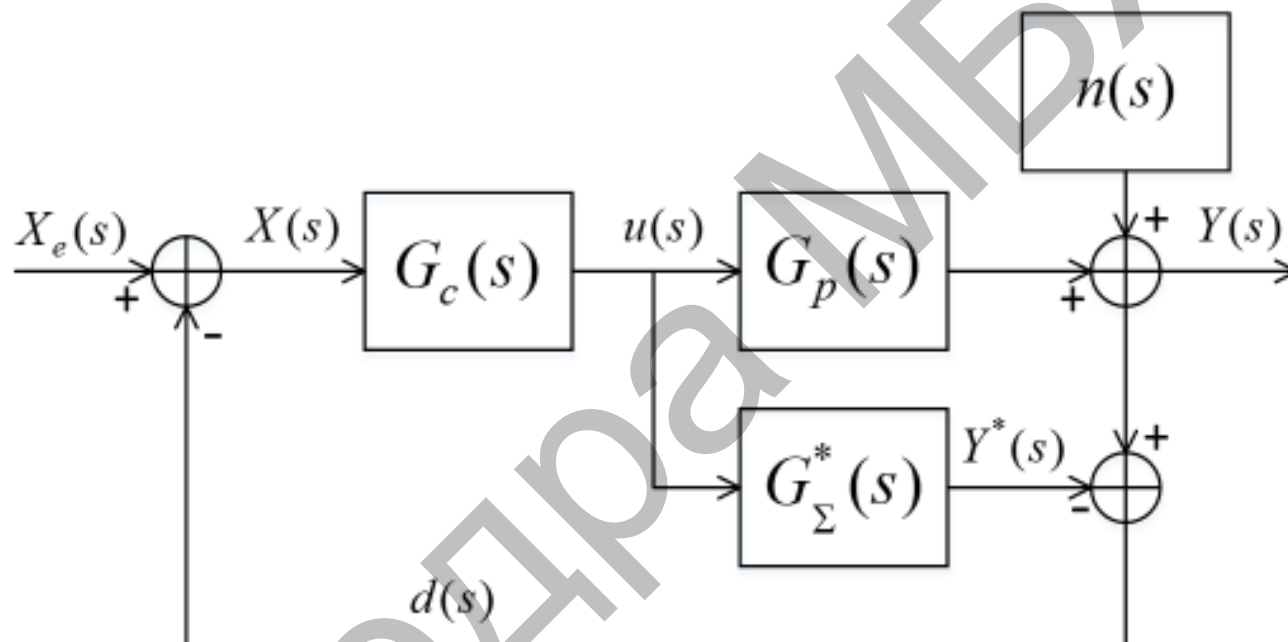


Рисунок 6 – Структурна схема методу внутрішнього контролю

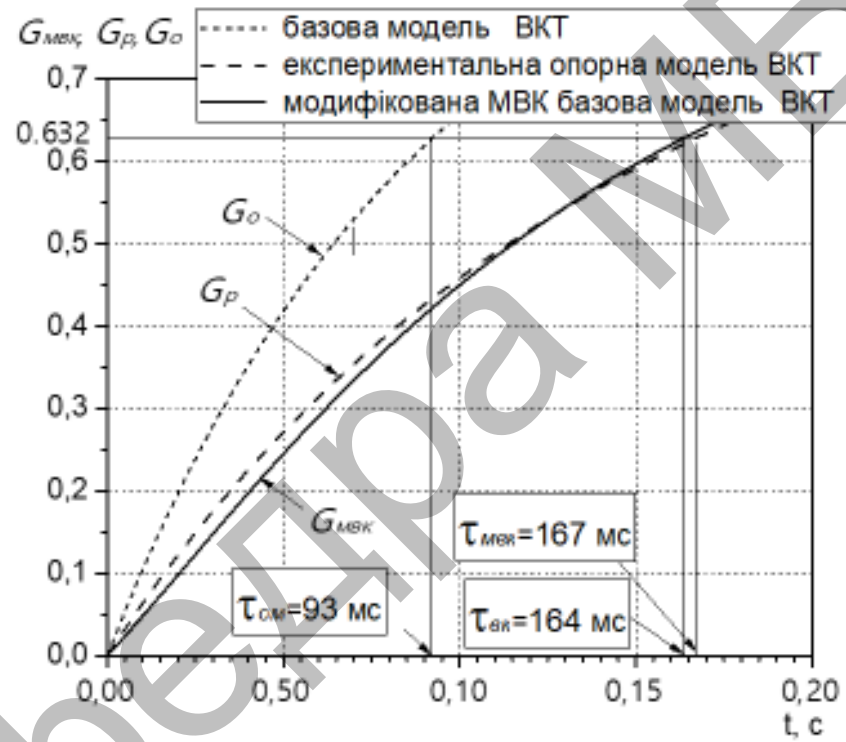


Рисунок 7 – Нормовані ПХ ВК

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4	5 Var5	6 Var6	7 Var7
1	0	0,22153	0,22217	0,22153	0,22153	0,22095	0,41312
2	1	0,22298	0,22364	0,22298	0,22298	0,22237	0,41665
3	2	0,22448	0,22517	0,22449	0,22448	0,22385	0,42022
4	3	0,22604	0,22676	0,22605	0,22604	0,22538	0,42381
5	4	0,22765	0,2284	0,22766	0,22765	0,22697	0,42742
6	5	0,22933	0,23011	0,22933	0,22932	0,22861	0,43103
7	6	0,23106	0,23188	0,23107	0,23106	0,23031	0,43464
8	7	0,23286	0,23371	0,23288	0,23286	0,23208	0,43822
9	8	0,23473	0,23562	0,23475	0,23473	0,23392	0,44178
10	9	0,23668	0,23761	0,23669	0,23668	0,23583	0,44529
11	10	0,2387	0,23967	0,23872	0,2387	0,23781	0,44874
12	11	0,2408	0,24182	0,24082	0,2408	0,23987	0,45213
13	12	0,24299	0,24406	0,24301	0,24299	0,24202	0,45544
14	13	0,24527	0,24639	0,24529	0,24527	0,24425	0,45867

Рисунок 8 - Таблиця вихідних даних нейронної мережі

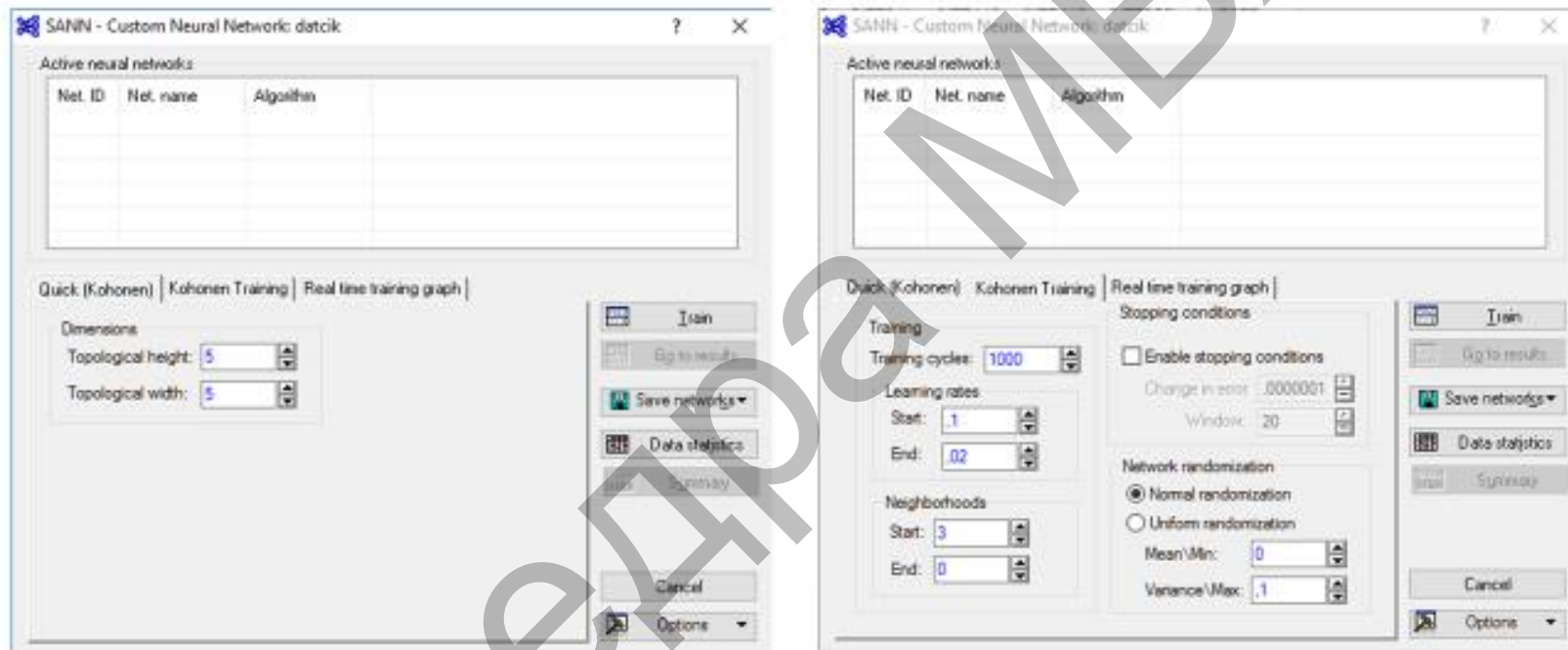


Рисунок 9 - Діалогові вікна Користувачка нейронна мережа (КНМ), вкладка Кохонен - навчання

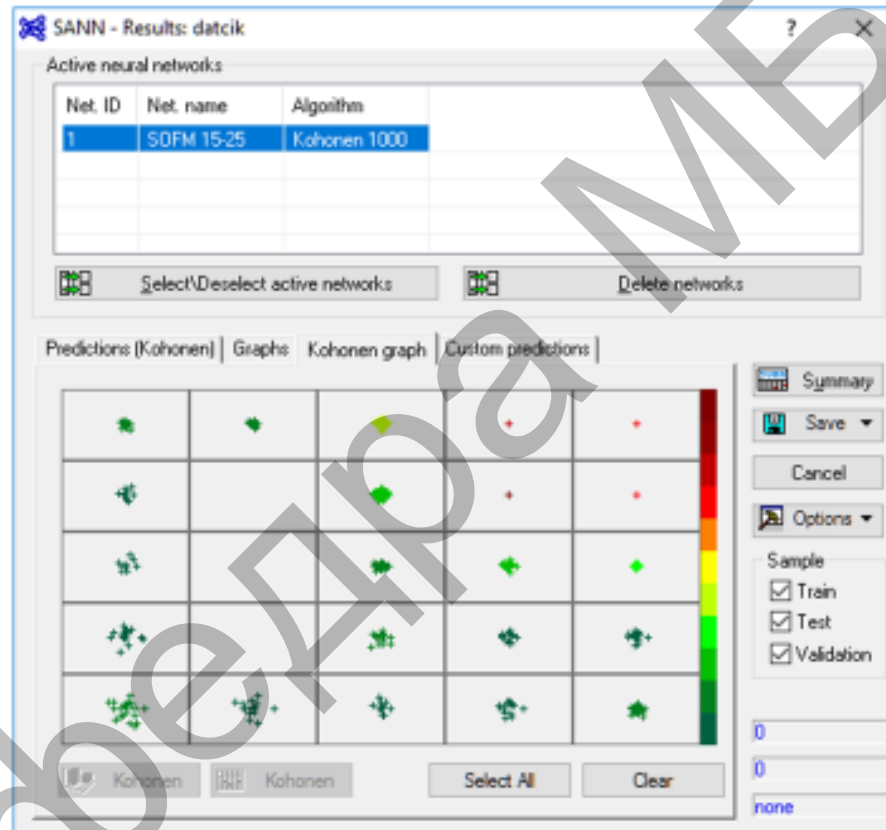


Рисунок 10 – Результати кластеризації імпульсних характеристик датчиків тиску вимірювальних каналів

Workbook11\* - Summary of active networks (data1)

Summary of active networks (data1)

Index	Net. name	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm
1	SOFM 15-25	0.011743	0.010874	0.016039	Kohonen 10,00

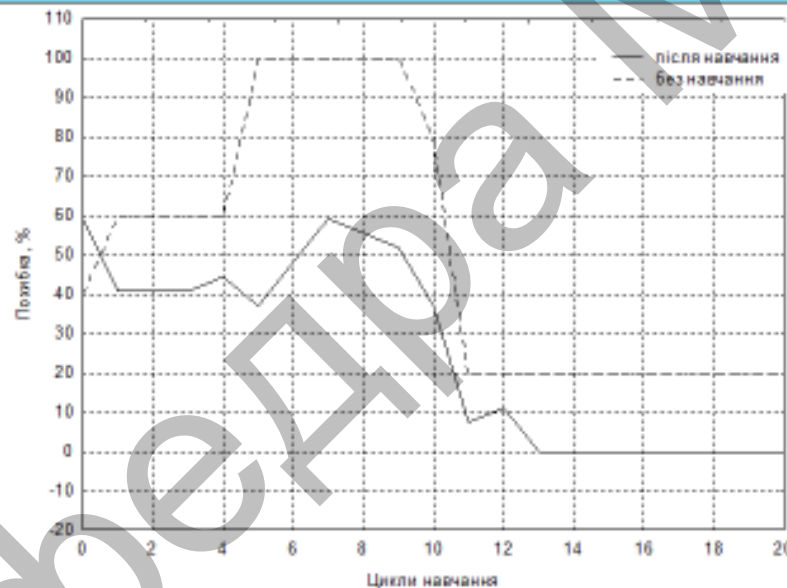


Рисунок 11 – Сумарна статистика роботи нейромережевого алгоритму формування кластерів датчиків тиску

## ВИСНОВКИ

В результаті досліджень отримані наступні результати:

1. Доведено, що в результаті тривалої експлуатації датчиків тиску постійна часу за десять років експлуатації збільшується в 1.5...2 рази і може виходити за межі допустимих значень. Встановлено, що термін експлуатації елементів датчика тиску практично не змінює лінійності робочої ділянки його функції перетворення.
2. Для створення бази даних опорних моделей датчиків тиску запропоновано метод визначення динамічних характеристик з використанням внутрішнього контролю, який на відміну від відомих дозволяє модифікувати базові моделі датчиків тиску за даними експериментальних досліджень і тим самим врахувати тривалу експлуатацію датчиків. Мінімальна відносна похибка методу становить близько 13%.
3. Розроблена методика формування кластерів датчиків тиску з використанням нейронної мережі Кохонена. Похибка класифікації імпульсних характеристик не навченою нейронною мережею склала 20% після 20 циклів, а мережі з попереднім навчанням 0,016%

Отже, в дипломній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна задача оптимізації побудови інтелектуальних датчиків тиску