

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно—дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та БЖД

## ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М. В. Москаленко

Керівник, канд. техн. наук, доц.



А. О. Коваль

Студентка гр. ММ-61-21



Г. Р. Овсієнко

Харків — 2022

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО—ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
Освітній рівень магістр  
Спеціальність 152 «Метрологія та вимірювальна техніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

*О. І. Богатов* О. І. Богатов

«19» вересня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

**Овсієнко Ганні Романівні**

1. Тема роботи: "Дослідження динамічних характеристик датчиків високого тиску".

Керівник роботи Коваль Андрій Олександрович, к.т.н. доцент

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

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2022р.

3. Вхідні дані до роботи 1). Параметри технологічного процесу системи охолодження;  
2). Режими роботи вимірювального каналу тиску; 3). Вимірюваний параметр – тиск.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Порівняльна характеристика методів динамічних характеристик датчиків високого тиску; 3. Дослідження методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску; 4. Дослідження методів зменшення невизначеності вимірювань в комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних системах тиску; 5. Охорона праці і навколишнього середовища; 6. Висновок; 7. 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 « 19 » вересня 2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури.	20.09.2022	виконано
2	Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску	19.10.2022	виконано
3	Методи досліджень статичних та динамічних характеристик датчиків тиску	1.11.2022	виконано
4	Дослідження методів зменшення невизначеності вимірювань в комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних системах тиску	11.11.2022	виконано
5	Охорона праці і навколишнього середовища.	15.11.2022	виконано
6	Формулювання висновків.	24.11.2022	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки.	7.12.2022	виконано
8	Створення презентації в PowerPoint.	14.12.2022	виконано
9	Подання роботи керівнику.	15.12.2022	виконано
10	Подання роботи на рецензію.	16.12.2022	виконано
11	Допуск до захисту.	17.12.2022	виконано

Студентка гр. ММ-61-21  Овсієнко Г. Р.  
(підпис)

Керівник роботи  Коваль А. О.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 104 с., 42 рис., 4 табл., 1 додаток, 26 джерел.

БАГАТОПАРАМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛУ ТИСКУ, ДАТЧИК ТИСКУ, ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання тиску в багатопараметричних вимірювальних інформаційних системах.

Мета роботи – дослідження методів зменшення динамічних похибок вимірювань в багатопараметричних вимірювальних інформаційних системах.

Методи дослідження – системного аналізу, математичного моделювання та експериментальних досліджень, теорії ймовірності і випадкових процесів, математичної статистики і теорії похибок вимірювань.

Предмет дослідження — динамічні характеристики датчиків високого тиску.

В магістерській роботі проведені дослідження методів визначення динамічних характеристик вимірювальних ліній та датчиків високого тиску. Плинні динамічні характеристики датчика тиску визначаються з врахуванням його терміну експлуатації.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску.....	10
1.1 Метод визначення постійної часу вимірювального каналу тиску на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань.....	10
1.2 Визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску з використанням методу внутрішнього контролю .....	23
1.3 Висновки до розділу.....	25
2 Методи досліджень статичних та динамічних характеристик датчиків тиску.....	26
2.1 Дослідження динамічних характеристик датчиків високого тиску.....	31
2.2 Результати досліджень статичних характеристик датчиків тиску.....	36
2.3 Результати досліджень впливу тривалості експлуатації датчиків тиску на їх динамічні характеристики.....	39
2.4 Дослідження впливу вимірювальної лінії на динамічні характеристики датчиків високого тиску.....	51
2.5 Висновки до розділу.....	64
3 Дослідження методів зменшення невизначеності вимірювань в комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних системах тиску.....	65
3.1 Дослідження методу online вимірювань для контролю метрологічних характеристик датчиків тиску .....	67
3.2 Online діагностика старіння датчиків тиску.....	69

3.3 Оцінка невизначеності вимірювань тиску багатопараметричною комп'ютеризованою вимірювальною системою.....	71
3.4 Висновки до розділу .....	72
4 Охорона праці і навколишнього середовища.....	74
4.1 Виробнича санітарія.....	76
4.2 Вимоги до освітлення.....	77
4.3 Вимоги до рівнів шуму.....	79
4.4 Техніка безпеки.....	80
4.5 Пожежна безпека.....	82
4.6 Висновки до розділу.....	84
Висновки.....	85
Перелік посилань.....	87
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи .....	72

Кафедра МЕЖД

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

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

## ВСТУП

Розвиток сучасних технологій побудови, в яких істотно підвищується швидкодія окремих систем, потребує нових підходів до вимірювання динамічних характеристик систем, зокрема, вимірювальних каналів тиску. З одного боку, зростають вимоги до методів визначення динамічних характеристик, а, з іншого боку, надійних методів визначення таких характеристик для вимірювальних каналів тиску не існує. Це пов'язано не з технологічними проблемами, а, головним чином, з відсутністю загально визнаних наукових методів визначення динамічних характеристик подібних каналів. Вдосконаленню таких методів присвячена дана дипломна робота.

В Україні експлуатується багато технічно складних об'єктів (ТСО). Їх безпечна експлуатація залежить від ефективного використання автоматичних систем управління технологічними процесами.

Якість роботи таких систем, в значній мірі, визначається динамічними характеристиками (ДХ) вимірювальних каналів тиску (ВКТ), до складу яких входять вимірювальні лінії, датчики тиску і лінії зв'язку та живлення. Одним з важливих параметрів, який описує ДХ ВКТ, є його постійна часу. Вона згідно з сучасними вимогами не повинна перевищувати сотні мілісекунд. Це вимагає проведення періодичного контролю ДХ ВКТ, але на практиці подібний контроль відсутній. Реально на ТСО здійснюється тільки калібрування датчиків тиску (ДТ), яке вимагає великих затрат внаслідок складності демонтажу і монтажу датчиків на об'єкті, а ДХ ВКТ взагалі не визначаються, що, з урахуванням сучасних вимог до постійної часу, є недоліком. На цей час основним методом визначення постійної часу ВКТ є метод аналізу шумів.

Цей метод можна використовувати лише для стаціонарних процесів, оскільки в його основі лежить лінійна операція перетворення Фур'є. В основі визначення постійної часу методом аналізу шумів лежить графоаналітичний



метод, точність якого залежить від відношення сигнал/шум. Зазначений метод реалізується в лабораторних умовах і потребує багато часу (тижні...місяці) для визначення постійної часу ВКТ. Всі операції проводяться в ручному режимі з використанням спеціалізованих програм і статистичних пакетів, що в свою чергу вимагає високої кваліфікації фахівців. Оскільки визначення постійної часу проводиться експертом, то цьому методу властива суб'єктивна похибка. Метод є строго справедливим для лінійних систем, а вимірювальна лінія, яка є елементом вимірювального каналу тиску, при наявності в ній, наприклад, повітря, не завжди може вважатись лінійною. Обробка інформації в зазначеному методі припускає, що закон розподілу вихідних сигналів є нормальний, що на практиці не завжди виконується. Отже, метод аналізу шумів не може без обмежень застосовуватись для вимірювання постійної часу вимірювального каналу тиску.

Звідси випливає необхідність визначення ДХ ВКТ без демонтажу їх складових з об'єкта і такими методами, які б за деякими важливими для практики показниками були кращі, ніж метод аналізу шумів.

## 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТИСКУ

На цей час існує практично один метод визначення постійної часу ВКТ – метод аналізу шумів, недоліки якого описані раніше. В роботі [1] запропоновані методи, що ґрунтуються на використанні аналітичних виразів, які зв'язують вихідний і вхідний сигнали ВКТ і включають постійну часу каналу. Методи одночасно використовують як експериментальну, так і теоретичну (модельну) інформацію. Перший метод ґрунтується на наближеному розв'язанні оберненої задачі вимірювань і дозволяє за однією типовою реалізацією випадкового процесу, що описує поведінку тиску на виході каналу, визначити його постійну часу та імпульсну характеристику. В другому методі з використанням внутрішнього контролю параметрів моделі ВКТ створюється база опорних моделей, яка використовується при навчанні нейронної мережі. Третій метод визначення ДХ ВКТ ґрунтується на використанні нейронних мереж і дозволяє здійснювати операції в масштабі часу близькому до реального.

### 1.1 Метод визначення постійної часу вимірювального каналу тиску на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань

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 (ВКТ) 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 ВКТ  $A_t$ . Існують також метрологічні вимоги до точності визначення характеристик реалізацій вихідного випадкового процесу  $\zeta(t)$ . На основі цього потрібно визначити вид оператора  $A_t$  ВКТ, 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 ВКТ. Окрім повних метрологічних характеристик в дисертації розглядаються і окремі (часткові) характеристики, головною з яких є постійна часу.

Вид оператора  $A_t$  в повній мірі залежить від динамічних властивостей ВКТ. Це вимагає розглянути ВКТ як динамічну систему, що складається з підсистем: вимірювальна лінія (ВЛ), датчик тиску та пристрій обробки і передачі вимірювальної інформації. Останній, як показали наші дослідження, незважаючи на наявність у ньому енергонакопичуючих елементів, зокрема, конденсаторів, індуктивностей тощо, має постійну часу, що на порядки менше постійних часу перших двох елементів ВКТ (ВЛ і датчика тиску). Отже, в подальшому будемо розглядати ВКТ як систему, що складається з двох вище зазначених елементів.

Вимірювальна 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 із затримкою, що дорівнює довжині ВЛ поділеній на швидкість поширення акустичної хвилі (звуку) в рідині. Постійна часу вимірювальної 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.

Реально ВЛ містить рідину, всередині якої є повітряні бульбашки, домішки, і тому рідина є стискаємою. При статичному навантаженні

проявляються нелінійні властивості ВЛ, що є очевидним з фізичних міркувань. Дійсно, спочатку при навантаженні здійснюється стиснення іншорідних складових рідини (на вході ВЛ тиск інтенсивніше збільшується, ніж на виході), але при високому тиску повітряні неоднорідності починають поступово зникати [2] і пропорційність між вхідним та вихідним тиском відновлюється. Крім того, у вимірювальній лінії в процесі експлуатації з'являються закупорки, забруднення, змінювання конфігурації внутрішнього перерізу лінії та ще додаткові негативні ефекти взимку, хоча ми будемо вважати, що подібні негативні фактори усуваються в процесі експлуатації. Таким чином, на практиці вимірювальну лінію можна вважати нелінійною інерційною системою. При таких умовах строгий розрахунок ВЛ стає практично неможливим.

Вид математичної моделі ВКТ, яку потрібно побудувати, істотно залежить від співвідношення між динамічними властивостями самого ВКТ та вхідного випадкового процесу. Якщо постійна часу ВКТ  $\tau_{вк}$  є істотно меншою, ніж час кореляції вхідної дії  $\tau_x$ , тобто  $\tau_{вк} \ll \tau_x$ , то ширина смуги пропускання ВКТ 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 ВКТ, 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 ВКТ є неінерційною системою тільки для основних гармонік спектру вхідної дії і це дозволяє визначити апріорний вид реалізацій вхідної дії.

У загальному випадку для аналізу нелінійних інерційних систем необхідно використовувати метод функціональних рядів Вольтерра, який запропонований вже давно [2–5], але виявився громіздким і незручним для практичного застосування навіть при наявності сучасних ЕОМ. Нелінійність всього ВКТ визначає вимірювальна лінія, а датчик тиску в більшості випадків можна вважати лінійною інерційною ланкою [2]. Тому в [3] запропоноване штучне розділення в

математичній моделі динамічної системи функцій нелінійності та інерційності системи. В залежності від порядку виконання цих функцій розрізняють підходи Вінера та Гаммерштейна. Для аналізу ДХ вимірювальних каналів тиску прийнятним є тільки підхід Гаммерштейна, коли модель ВЛ представляють у вигляді послідовно з'єднаних моделей нелінійної неінерційної частини ВЛ та лінійної інерційної частини. Перевірка роботи подібної моделі, що проведена в [4], довела її працездатність. Отже, модель вимірювального каналу тиску має наступну структуру (рис. 1.1).

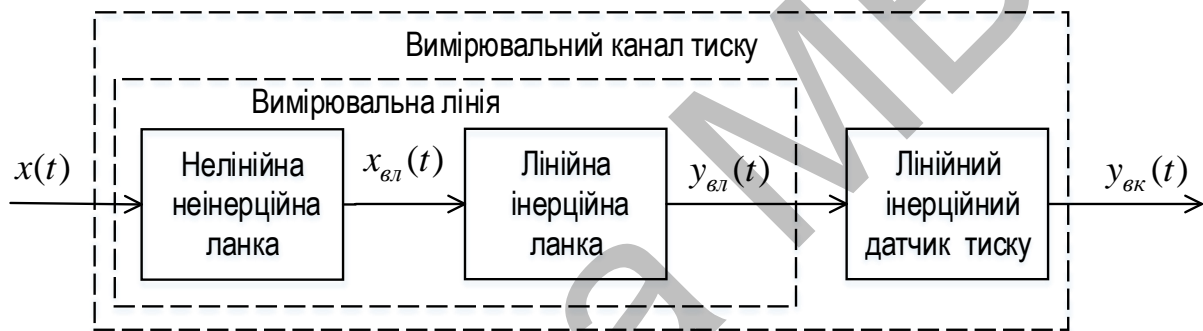


Рисунок 1.1 – Структура моделі вимірювального каналу тиску

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. Отримати перехідну характеристику датчика тиску відносно просто при наявності спеціалізованого стенда, в якому на вхід датчика подається імпульсна дія типу "сходінка". Технічно складніше це зробити для ВЛ, особливо з урахуванням нелінійної ланки. В [5] приведений вираз для перехідної характеристики, аналіз якого свідчить про коливальний вид цієї характеристики, але при наявності демпфуючих властивостей лінії та датчика перехідна характеристика ВКТ наближається до такої, що є властивою для динамічних систем першого порядку, які описуються рівняннями типу:

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

де  $x(t)$  - вхідна дія ВКТ;

$y(t)$  - вихідний сигнал ВКТ;

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

Отже, обидві лінійні інерційні ланки моделі вимірювального каналу (рис. 1.1) будемо описувати диференціальним рівнянням першого порядку, в якому постійні часу датчика  $\tau_{\text{д}}$  та ВЛ  $\tau_{\text{вл}}$  відрізняються. У такому випадку можна використовувати один і той же метод для визначення постійної часу ВЛ. Сумарне значення постійної часу ВКТ приблизно дорівнює сумі  $\tau_{\text{д}}$  і  $\tau_{\text{вл}}$ . При вибраних умовах лінійності та інерційності ВКТ зв'язок вхідної реалізації з вихідною виражається рівнянням згортки [95]:

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

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

Залежність (1.1) 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 (рис. 1.1).

Згідно з метою досліджень необхідно на основі розв'язання інтегрального рівняння (1.2) визначити імпульсну характеристику  $H_{\text{вк}}(t, \tau_{\text{вк}})$ , де  $\tau_{\text{вк}}$  - постійна часу ВКТ. В роботах [96, 97] показано, що строгі методи розв'язання оберненої задачі вимірювань втрачають свою цінність внаслідок наявності похибок

визначення вихідного сигналу ВКТ  $y(t)$ , наявності шумів на вході та виході динамічної системи і відсутності достовірної апріорної інформації про  $H_{ек}(t, \tau_{ек})$  та  $x(t)$ . Наприклад, при установці датчика тиску на стенді відомою є вхідна дія, що описується  $x(t)$ . Для цієї умови з рівняння (2.2) можна визначити імпульсну характеристику  $H_{ек}(t)$ . Якщо ж відомою є  $H_{ек}(t)$ , то можна визначити  $x(t)$ . При цьому до всіх функцій в рівнянні (1.2) висуваються дуже жорсткі вимоги щодо точності їх визначення на стендах [98]. 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. До того ж, розв'язання обернених вимірювальних задач в метрології ускладнюється реальними обставинами, що часто обумовлені наявністю шумів на вході і виході датчика тиску.

Обернена задача вимірювань розглянута в роботі [1]. В рівнянні (1.2) відомою є тільки реалізація вихідного сигналу  $y(t)$  ВКТ 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  $H_{ек}(t)$  ВКТ, або про його вхідну дію  $x(t)$ , що в процесі експлуатації каналу на ТСО є практично неможливим. Ось чому в дисертації запропоновано використання неповних відомостей як про вхідну дію  $x(t)$ , так і про імпульсну характеристику каналу тиску  $H_{ек}(t)$ . В [4] 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  $H_{ек}(t, \tau_{ек})$

але це можна, зрозуміло, зробити при повністю відомій вхідній дії  $x(t)$  і за таких умов не існує можливості строгого визначення ДХ ВКТ.

Метод визначення постійної часу ВКТ  $\tau_{вк}$  (на прикладі датчика тиску з постійною часу  $\tau_{\theta}$ ) описаний в [3]. Для наближеного розв'язання інтегрального рівняння (1.2) використовувались:

– часова вибірка квазістаціонарного вихідного сигналу ВКТ (рис 1.3), один з прикладів якого на інтервалі часу від 0 хв. до 10 хв. 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 нового каналу тиску, яка визначена методом диференціювання перехідної характеристики ВКТ:

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

де  $U_0$  - амплітудне значення перехідної характеристики;

$\tau_{вк}$  - постійна часу ВКТ.

При "старінні" елементів ВКТ формула (1.4) може змінюватись. Для інших ВКТ можливі інші моделі перехідної та імпульсної характеристик.

Отже, рівняння згортки (1.2) має вигляд:

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

і описує теоретичний вихідний сигнал ВКТ  $y(t)$ . Невідомими в формулі (1.5) є



коефіцієнти  $a_i$ ,  $U_0$  та постійна часу  $\tau_{ек}$ . Для розв'язання оберненої задачі вимірювань потрібно мати ще реалізацію випадкового процесу тиску  $y_{ек}(t)$ . В ідеальному випадку функції, що описують експериментальний і теоретичний сигнали, тобто  $y(t)$  та  $y_{ек}(t)$ , при правильно визначених параметрах  $a_i$ ,  $U_0$ ,  $\tau_{ек}$  повинні співпадати або бути близькими. Ці функції детально та всебічно досліджені О. В. Полярусом та Є. О. Поляковим в роботі [6]. В функціональному просторі з квадратичною метрикою відстань між вихідним сигналом  $y(t)$ , що описується формулою (1.5), та вихідним експериментальним сигналом ВКТ  $y_{ек}(t)$  є деяким числом  $J$  або функціоналом, який в теорії сигналів називають метрикою сигналів [95]:

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

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 ВКТ  $y_{ек}(t)$ . На рис. 1.2 приведена структурна схема наближеного методу розв'язання оберненої задачі вимірювань для визначення постійної часу ВКТ. Мінімізація функціоналу (1.6) здійснювалась з використанням відомого методу глобального випадкового пошуку екстремуму – генетичного алгоритму. В результаті пошуку отримувались значення  $a_i$ ,  $U_0$ ,  $\tau_{ек}$  причому два останні значення використовувались для побудови імпульсної характеристики датчика.

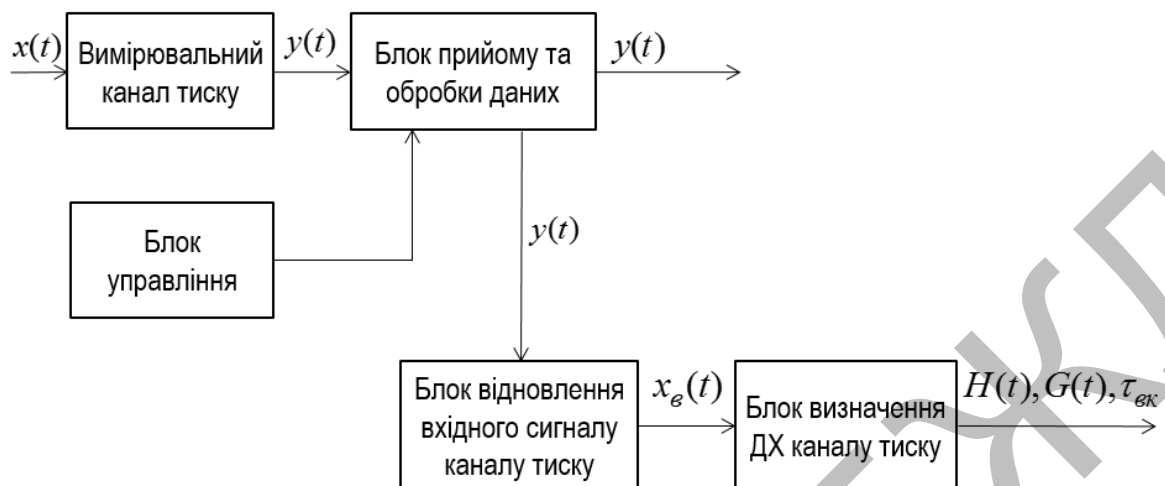


Рисунок 1.2 – Структурна схема наближеного методу розв’язання оберненої задачі вимірювань

Основною метою було визначення постійної часу  $\tau_{вк}$ , але і значення коефіцієнтів  $a_i$  використовувались для відновлення сигналів вхідної дії, які поповнювали базу даних опорних сигналів. Якість роботи методу була перевірена експериментально.

При мінімізації функціоналу (1.6) отримувалось значення постійної часу  $\tau_{вк}$ , причому для кожної реалізації вихідного сигналу тиску, приклад якої приведений на рис. 1.3, генетичний алгоритм знаходив, як правило, інше значення  $\tau_{вк}$  (рис. 1.4). 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).

В процесі досліджень також було проведено 50 розрахунків для різних реалізацій вихідних сигналів ВКТ ТСО. Розкид значень постійної часу каналу тиску був обумовлений особливостями запропонованого методу, тобто наближеним розкладанням в ряд вхідної дії  $x(t)$  та оптимізацією функціоналу (1.6) за допомогою методу глобального випадкового пошуку.

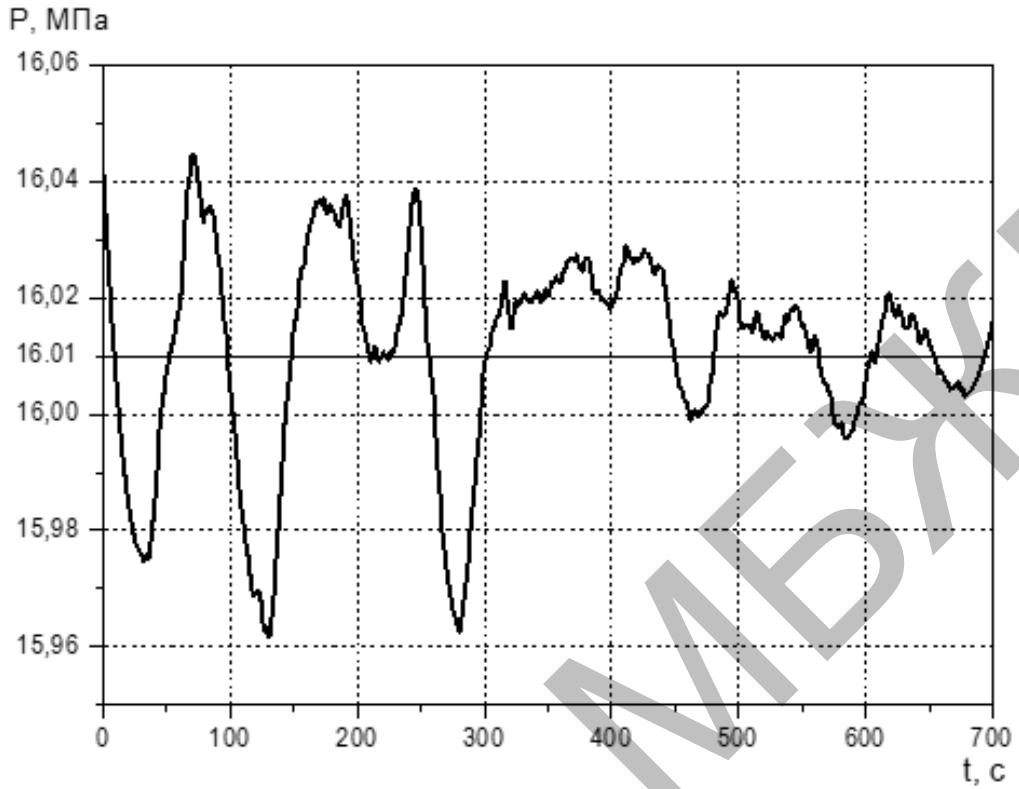


Рисунок 1.3 – Вихідний сигнал каналу тиску

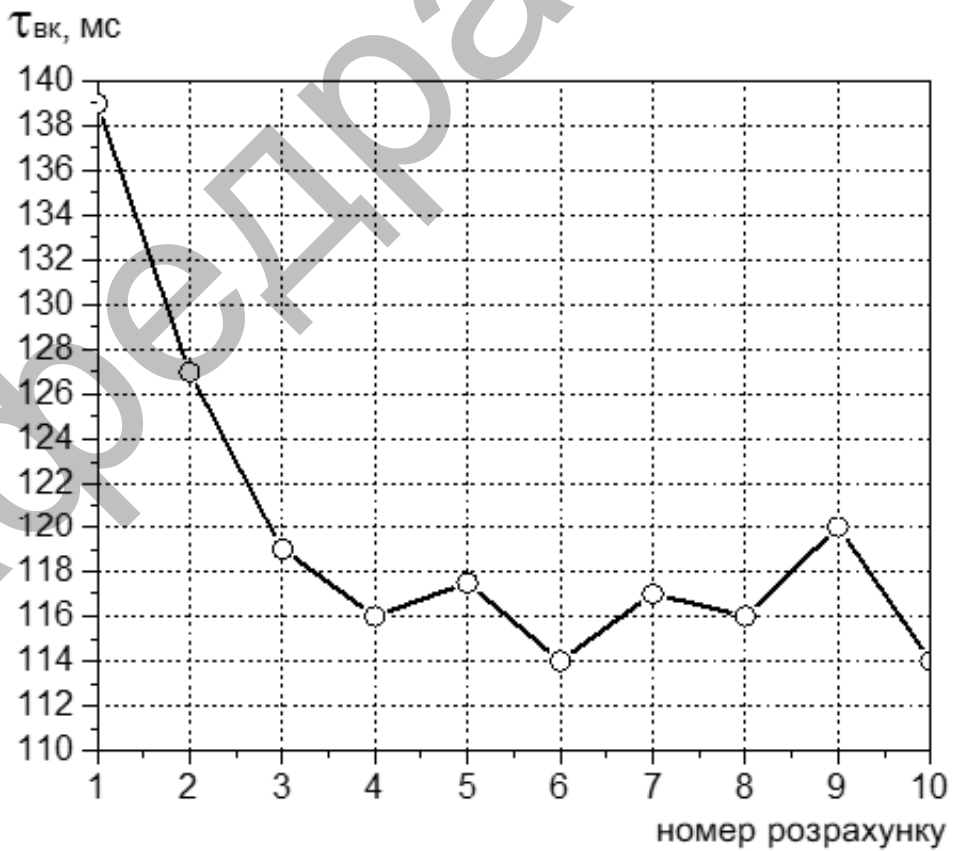


Рисунок 1.4 – Постійні часу каналу тиску

Результати визначення постійної часу ВКТ  $\tau_{вк}$  залежать від його терміну експлуатації (рис. 1.5). Це пояснюється зміною імпульсної характеристики ВКТ внаслідок "старіння", а також тим, що вплив інерційності ВКТ 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.

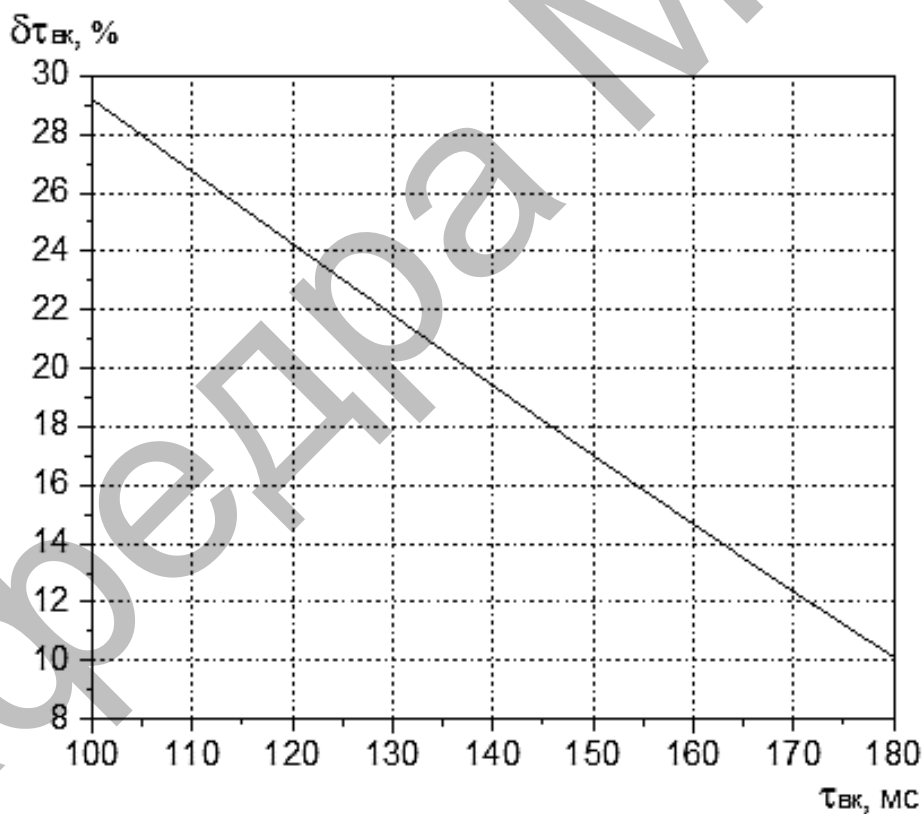


Рисунок 1.5 – Залежність відносної похибки  $\delta\tau_{вк}$  від постійної часу

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. Отже, ймовірність отримання «фантомних» рішень в процесі розв'язання оберненої задачі вимірювань визначається наявністю достовірної апріорної інформації про вид вхідної дії та форму імпульсної характеристики вимірювального каналу і вона близька до нуля, якщо така інформація є. Але в процесі експлуатації внаслідок «старіння» елементів ВКТ його імпульсна характеристика змінюється. Її форма спотворюється і вона буде описуватися у вигляді ряду, що в деяких випадках може ускладнити оптимізацію функціоналу (1.6). Метод розв'язання оберненої задачі вимірювань для визначення постійної часу ВКТ може застосовуватись і при інших описах імпульсної характеристики ВКТ урахуванням рівня "старіння" його елементів, як показано у другому розділі. Результати моделювання показують, що він дозволяє визначати постійну часу ВКТ з рівнем спотворення імпульсної характеристики не більше 10%. Це є обмеженнями методу розв'язання оберненої задачі вимірювань для визначення постійної часу ВКТ.

Отже, методика застосування методу визначення постійної часу ВКТ зводиться до наступного. Спочатку треба в'яснити, чи взагалі створені умови для використання методу. Якщо постійна часу ВКТ є малою (або смуга пропускання каналу є широкою), то сигнал на виході ВКТ 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 приведенного вище прикладу вихідного сигналу показана на рис. 1.6, причому при  $\tau_{вк}$ , що не перевищують приблизно одну секунду, залежність  $\delta(\tau_{вк})$

є майже лінійною.

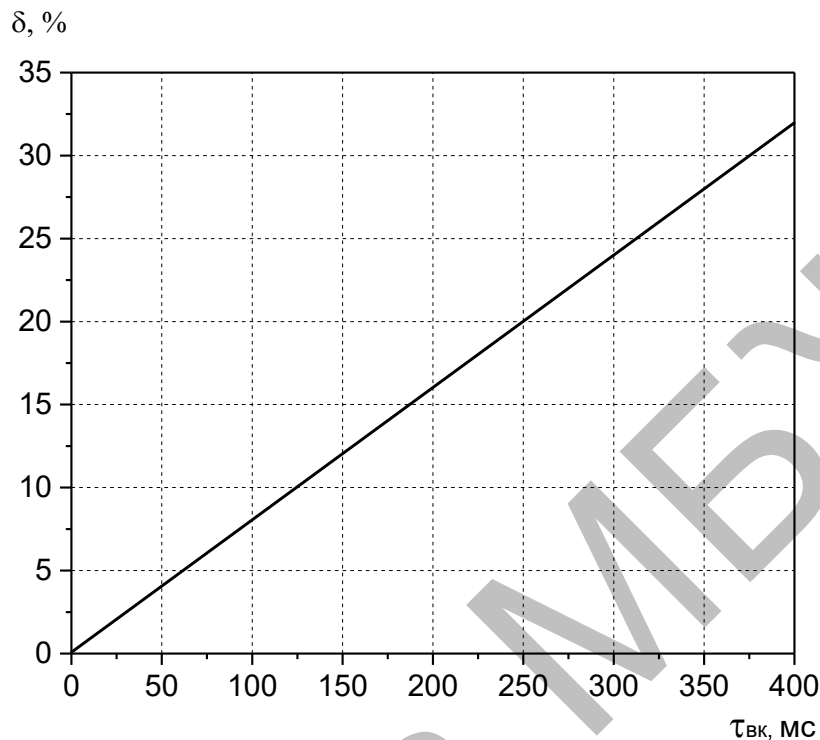


Рисунок 1.6 – Приклад залежності відносної різниці між вхідною дією та вихідним сигналом від постійної часу вимірювального каналу тиску

Нормування зазначеної різниці здійснювалось до максимального значення вихідного сигналу на інтервалі спостереження сигналу 10 с. Аналогічні залежності отримані для інших моделей вихідних сигналів ВКТ. З них випливає, що вже при  $\tau_{вк} \approx 100 \text{ мс}$  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 ВКТ з подібними інерційними властивостями буде видавати недостовірну інформацію, а вихідний сигнал не підлягає відновленню на вхід [6]. Все це свідчить, що для більшості практичних випадків запропонований метод може застосовуватись у повному обсязі.

Таким чином, в дисертації удосконалено метод визначення постійної часу

вимірювального каналу тиску, що ґрунтується на розв'язанні оберненої задачі вимірювань.

Для врахування "старіння" елементів ВКТ розроблено метод визначення динамічних характеристик ВКТ на основі нейронної мережі. Він вимагає наявності бази даних опорних моделей вимірювальних каналів з різним терміном експлуатації. Така база опорних моделей створюється за допомогою експертів в напівавтоматичному режимі.

## 1.2 Визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску з використанням методу внутрішнього контролю

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

Опорна модель ВКТ отримується шляхом зміни параметрів базової моделі каналу тиску та контролю за критерієм мінімуму різниці між перехідними, амплітудно-частотними (АЧХ) та фазочастотними характеристиками (ФЧХ)

опорної та базової моделей.

Для цього в роботі [4] був розроблений метод визначення ДХ ВКТ з використанням внутрішнього контролю параметрів базової моделі ВКТ. Реалізація методу внутрішнього контролю стосовно визначення ДХ ВКТ (рис. 1.7) 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 теоретичної моделі ВКТ. Ця модель вже враховує "старіння" елементів ВКТ і його динамічні властивості, що є важливим для практики.

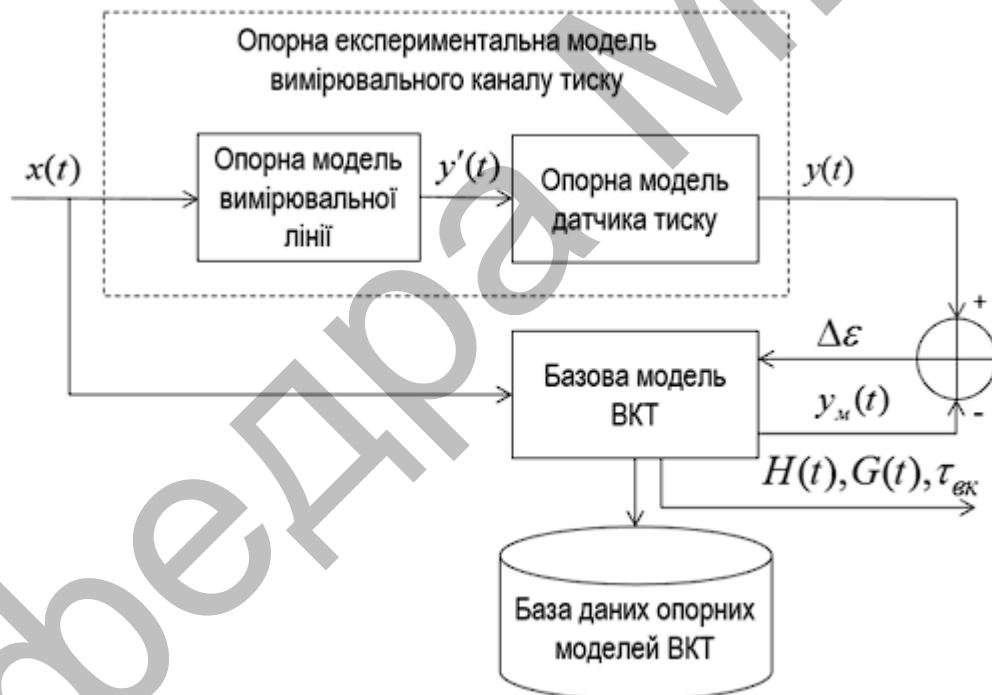


Рисунок 1.7 – Структурна схема реалізації методу внутрішнього

розглянута вдосконалена модель ВКТ на основі методу внутрішнього контролю реалізована автором в програмному середовищі LabView.

Запропонований метод визначення ДХ ВКТ з використанням внутрішнього контролю на відміну від відомих дозволяє компенсувати час затримки теоретичної моделі передатної функції (ПФ) ВКТ, здійснювати



фільтрацію різниці між експериментальною ПФ ВКТ та її базовою моделлю, компенсувати зміщення ПФ в стаціонарному режимі, візуально контролювати роботу моделі ПФ ВКТ, постійно контролювати її амплітудно-частотну та фазочастотну характеристики. Модифікована модель зберігається в базі даних опорних моделей ВКТ.

### 1.3 Висновки до розділу

1 Проаналізований метод визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань, при наявності апріорної інформації про постійну часу каналу та вихідну дію, може забезпечити похибку визначення постійної часу каналу близько 10% при відношенні сигнал/шум не менше 10 дБ.

2 Для створення бази даних опорних моделей вимірювального каналу тиску необхідно застосовувати метод визначення динамічних характеристик з використанням внутрішнього контролю, який дозволяє модифікувати теоретичні моделі каналу тиску за даними експериментальних досліджень і тим самим врахувати його «старіння».

3 Метод визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску на основі нейромережових моделей, дозволяє визначити динамічні характеристики каналу тиску за результатами плинних вимірювань в масштабі часу близькому до реального. Похибка визначення постійної часу каналу цим методом становить 10...12% при перевищенні відношення сигнал/шум 10 дБ незалежно від рівня «старіння» елементів вимірювального каналу тиску.

## 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Перед початком досліджень перевірявся технічний стан та справність вимірювальної лінії і проводилось калібрування ДТ.

Для підвищення достовірності досліджень всі 15 датчиків тиску було поділено на 3 групи (по числу термінів експлуатації: 1 рік, 5 років та 10 років) по 5 датчиків в групі. Всі датчики були однотипними однієї серії та партії. Експерименти проводились для кожної групи окремо з наступним усередненням отриманих результатів. В них була задіяна одна вимірювальна лінія, на якій моделювалось штучне тривалість експлуатації шляхом утворення відповідних закупорок, витоків та повітряних пробок.

Для оцінки впливу тривалість експлуатації елементів ВКТ на їх динамічні та метрологічні характеристики дослідження проводились в два етапи.

На першому етапі згідно з розробленою методикою проводились випробування однотипних ДТ однієї партії виготовлення, методом прискореного термічного тривалість експлуатації. Тривалість випробування визначалась еквівалентним терміном роботи датчика (рівнем його тривалість експлуатації). Далі досліджувалась функція перетворення датчиків шляхом перевірки їх калібрування на стенді, тобто отримувались статичні характеристики. Метою цих досліджень було вивчення впливу тривалість експлуатації датчика на його лінійність та визначення відхилень функції перетворення від номінальної.

На другому етапі для кожного датчика з відповідним рівнем тривалість експлуатації визначались ДХ, які потім порівнювались з ДХ, що мав датчик до його випробування методом прискореного термічного тривалість експлуатації. Метою досліджень було виявлення закономірностей змінювання статичних і динамічних характеристик датчиків та вивчення впливу тривалість експлуатації датчиків тиску на їх перехідну та імпульсну характеристики, постійну часу і час затримки.

За опорні ДХ в дипломній роботі були прийняті як ДХ нових і справних вимірювальної лінії і датчика тиску, так і ДХ ВКТ загалом. За результатами порівняння ДХ нового та "старого" ВКТ оцінювався вплив деградаційних процесів в ВКТ на його ДХ. Для визначення ДХ датчиків тиску методом лінійного сигналу був розроблений вимірювальний комплекс (рис. 2.1) з використанням атестованої ударної камери та ступінчатого тиску.

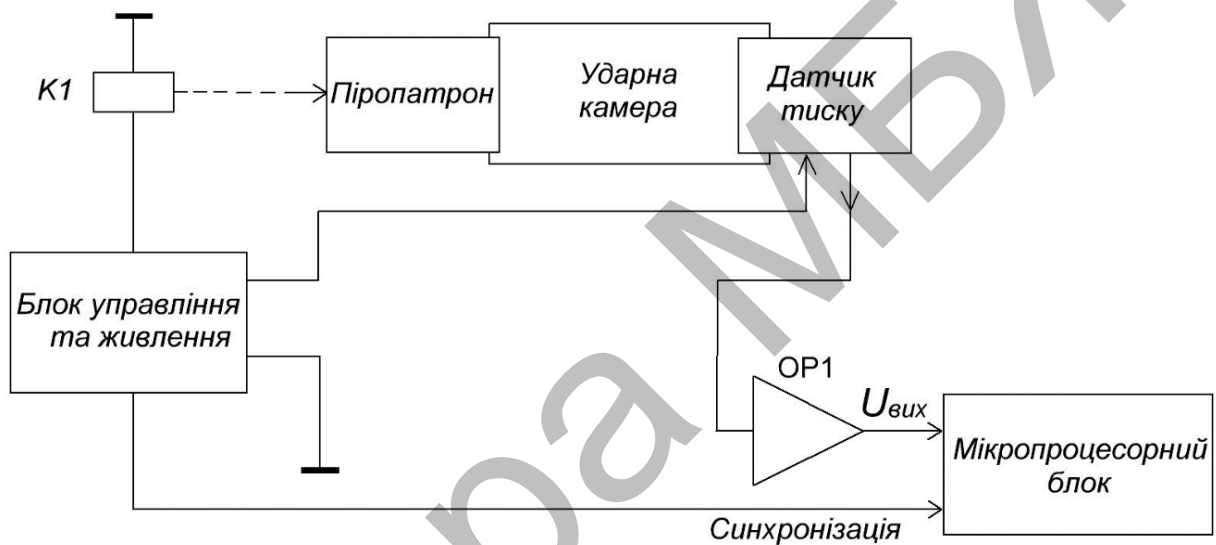


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик датчиків тиску

Ступінчатий тиск створювався за допомогою підриву відповідного піропатрона. З датчиком проводилось 10 випробовувань, отримані вимірювальні дані потім усереднювались. Всі вимірювання проводились синхронно в єдиному масштабі часу. Періодичність вимірювань в кожній з 10 серій становила 30 хв., а тривалість часової вибірки кожної серії – 1 хв. Періодичність вимірювань в 30 хв. визначалась необхідністю скидання тиску до сталого атмосферного та заміни піропатрона. Дискретність вимірювань всередині однієї часової вибірки становила 5 мкс. Отже, отриманий масив даних розмірністю  $1 \times 12 \cdot 10^6$  вимірюваних часових вибірок записувався на жорсткий диск для подальшої обробки. Обробка

отриманих в результаті серії експериментів вимірювальних часових вибірок імпульсних характеристик проводилась з використанням пакету Origin Pro. Для кожного датчика дані усереднювались за 10 випробовувань.

В результаті експериментальних випробовувань датчиків тиску були визначені:

- перехідна характеристика датчика  $G(t)$ ;
- постійна часу датчика тиску  $\tau_{\delta}$ ;
- час затримки датчика  $t_3$ ;
- імпульсна характеристика датчика  $H(t)$ ;
- ширина імпульсної характеристики  $\tau_{ix}$ .

Визначені за результатами експериментів усереднена перехідна та імпульсна характеристики ДТ з терміном служби 1 рік приведені відповідно на (рис. 2.2а) та (рис. 2.2б). Були визначені такі параметри перехідної характеристики датчика як його постійна часу  $\tau_{\delta}$  та час затримки  $t_3$ . Середнє значення постійної часу датчика склало  $\tau_{\delta} = 77 \pm 1$  мс. Розкид значень  $\tau_{\delta}$  в 1 мс. був викликаний неідентичністю зарядів піропатронів і, як наслідок, різними інтерференційними процесами у фронті падаючої хвилі тиску на датчик в ударній трубі. Час затримки  $t_3$  був сталим і складав 20 мс. За експериментально визначеною перехідною характеристикою була отримана імпульсна характеристика датчика тиску (рис. 2.2б). Оскільки імпульсна характеристика має дзвіноподібну форму, то її ширина визначалась на рівні  $E/e$  [1]. Для нормованої імпульсної характеристики амплітудне значення  $E = 1$ , тоді на рівні  $E/e = 0.366$ , а  $\tau_{ix} = 76$  мс. Разом з тим було встановлено (рис. 2.2а) наявність незначних перехідних процесів у перехідній характеристиці на рівні від 0,9 до 1,0 від максимального амплітудного значення вихідного сигналу датчика тиску. Для того щоб підтвердити лінійність датчика тиску, були проведені додаткові дослідження його функції перетворення (ФП) на калібрувальному стенді виробника датчиків.

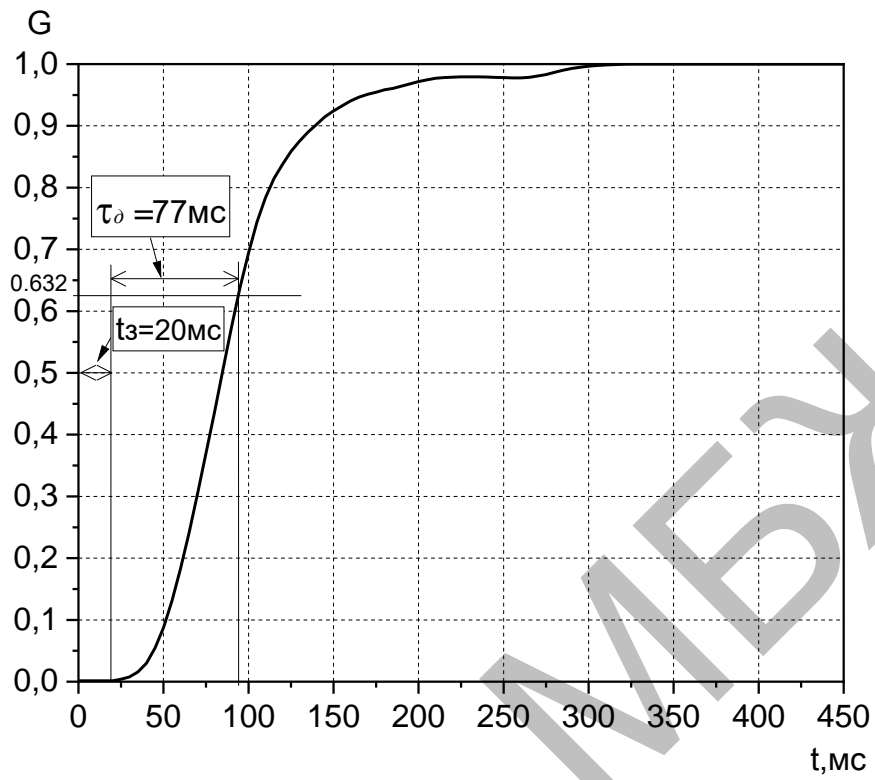
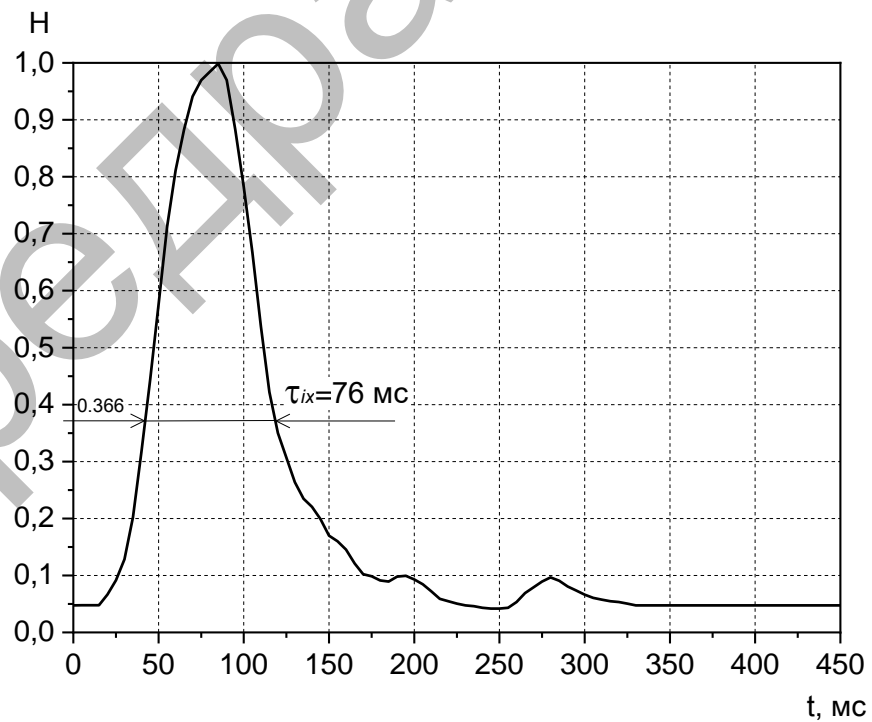
а) перехідна характеристика  $G(t)$ б) імпульсна характеристика  $H(t)$ 

Рисунок 2.2 – Усереднені експериментально визначені характеристики датчика

тиску з терміном роботи 1 рік

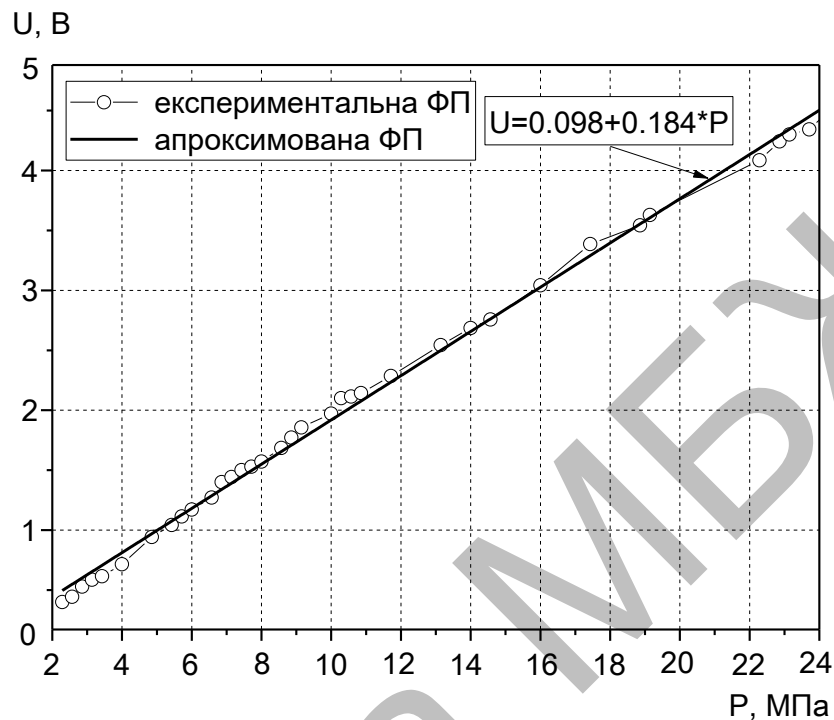


Рисунок 2.3 – Усреднена експериментально визначена функція перетворення  $U(P)$  датчика тиску та її лінійна апроксимація

Результати досліджень у вигляді графіка ФП показані на (рис. 2.3). Експериментально встановлено, що функція перетворення (рис. 2.3) має лінійний характер із досить високою точністю може бути апроксимована виразом:

$$U = 0.098 + 0.184 \cdot P. \quad (2.1)$$

Відносна похибка  $\delta_U$  апроксимації експериментально отриманої ФП  $U(P)$  не перевищує  $\delta_U \leq \pm 0.3\%$  (рис. 2.4), що в повній мірі відповідає вимогам технічних умов ДК ПП 33.20.52.830 на випробовувані датчики тиску —  $\delta_{TV} \leq \pm 0.5\%$  [2].

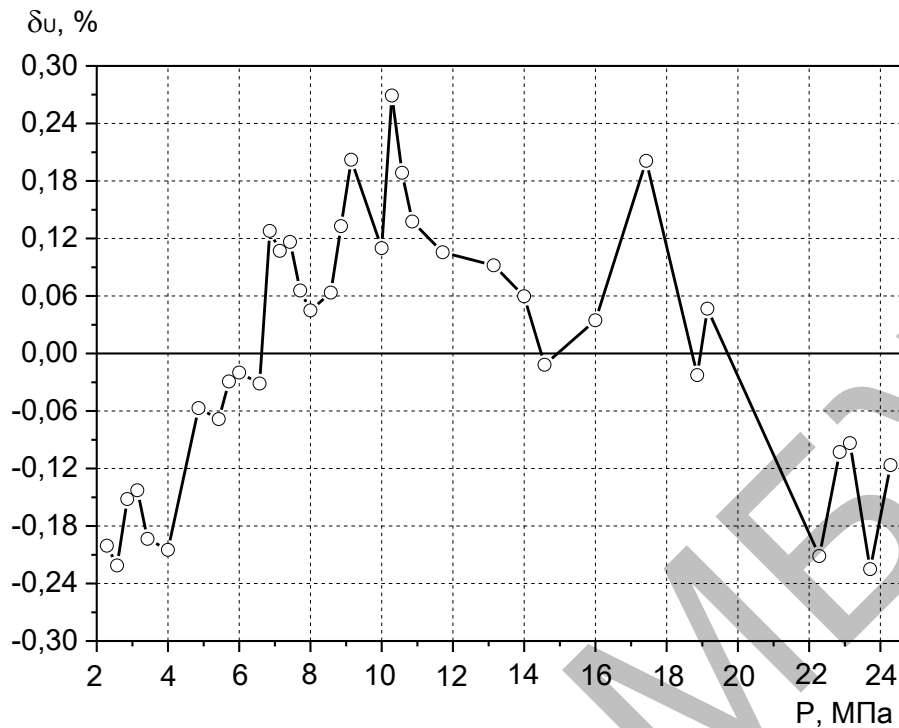


Рисунок 2.4 – Відносна похибка  $\delta_U$  апроксимації усередненої функції перетворення  $U(P)$  датчика тиску

Таким чином, можна вважати, що датчик тиску є лінійним, а незначні перехідні процеси у перехідній характеристиці викликані не лінійністю датчика. Для виявлення причин подібних перехідних процесів були проведені дослідження впливу тривалість експлуатації датчика тиску на його статичні та динамічні характеристики.

## 2.1 Дослідження динамічних характеристик датчиків високого тиску

Дослідження динамічних характеристик датчиків тиску проводилось у два етапи. Спочатку з однотипними ДТ однієї партії виготовлення згідно з розробленою методикою проводились випробовування методом прискореного термічного тривалість експлуатації. Тривалість випробовування визначалась еквівалентним терміном роботи датчика (рівнем його тривалість експлуатації).

Після термічного випробовування на калібрувальному стенді перевірялось калібрування кожного датчика, тобто досліджувались статичні характеристики датчиків – їх ФП. Метою цих досліджень було вивчення впливу тривалість експлуатації датчика на його лінійність та визначення відхилень характеристик перетворення датчиків від номінальної статичної характеристики.

На другому етапі досліджень для кожного датчика з відповідним рівнем тривалість експлуатації визначались ДХ, які потім порівнювались з ДХ, які він мав до його випробовування методом прискореного термічного "старіння". Метою досліджень було: вивчення впливу тривалість експлуатації датчика тиску на його перехідну характеристику, постійну часу, час затримки та імпульсну характеристику; виявлення певних закономірностей зміни статичних і ДХ датчиків.

"Старіння" датчиків тиску викликане внутрішніми деградаційними процесами в процесі тривалої експлуатації на ТСО. Такі процеси можна створити штучно шляхом впливу на датчик підвищеної температури. Для цього проводились випробування згідно з технічними умовами на випробовування (ТУ) [3-5]. При цьому застосовувалось обладнання і ЗВТ, які були повірені відповідно до ДСТУ 2708 [6], калібровані відповідно до ДСТУ 3989 [7] і опломбовані. Все випробне обладнання мало паспорти й було атестоване відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 24555 [3]. Використання ЗВТ і випробного обладнання, що не мали документів, які підтверджують їхню справність і метрологічну придатність, не допускалось.

Для перевірки електричної міцності ізоляції між замкненими між собою електричними виводами й корпусом зразка подавалась випробувальна напруга. Пристрій захисту від електромагнітних перешкод при цьому від'єднувався і ізолювався від електричних кіл зразка. Випробувальна напруга підвищувалась плавно від нуля до заданого значення з швидкістю не більш 100 В/с. Ізоляція витримувалась під дією випробувальної напруги протягом 1 хв, потім напруга понижувалась до нуля і випробувальна установка відключалась. Електрична



ізоляція між електричними колами й корпусом при від'єднаному обладнанні захисту від електромагнітних перешкод витримувала протягом 1 хв дію випробної напруги 500 В синусоїдальної форми частотою від 45 Гц до 65 Гц при температурі 23 °С і відносній вологості 80 %. Це цілком відповідає вимогам ДСТУ [8].

Визначення основної похибки вимірювань тиску проводилось при наступних умовах:

- температура повітря – плюс  $23 \pm 2$  °С;
- відносна вологість повітря – від 45 % до 80 %;
- атмосферний тиск від 84,0 кПа до 106,7 кПа;
- електричні й магнітні поля, що впливають на роботу датчика, відсутні;
- вібрація, що впливає на роботу датчика, відсутня;
- напруга живлення ( $36 \pm 0,72$ ) В;
- витримка часу після включення електроживлення – не менше 0,5 год.

Перевірка похибки проводилась відповідно до методики МІ 1997 [9] та МПУ 005/04 [10]. Похибка визначалась при заданому тиску в контрольних точках, досить рівномірно розподілених у діапазоні вимірювань, у тому числі на нижній і верхній межі діапазону.

Порядок дій при випробуваннях датчиків тиску був наступний:

- нижня межа зміни вихідного сигналу встановлювалась у відповідності до табл. 2.1;

Таблиця 2.1 – Межі зміни вихідного сигналу датчика тиску

Діапазон зміни		Нижня межа		$R_{\text{но}},$ Ом
вихідного струму, мА	вихідної напруги $ U_{\text{н}} - U_{\text{в}} $ , В	вихідного струму $I_{\text{н}}$ , мА	вихідної напруги $U_{\text{н}}$ , В	
4-20	0.8	4	$0.2000 \pm 0.0004$	50

- встановлювався максимальний опір навантаження  $R_{n \text{ макс}} = R_{но} + R_n = 1,0$  кОм;
- на вхід подавався тиск, рівний  $P_e$ , після чого тиск скидався;
- проводилась корекція нуля (при необхідності), керуючись значенням нижньої межі вихідної напруги і його допустимим відхиленням для перевіряемого зразка, зазначеними в табл. 2.1;
- плавно підвищуючи тиск (прямий хід), фіксувались значення вихідної напруги при тисках, що відповідають контрольним точкам;
- тиск на вході  $P_e$  підтримувався протягом 1 хв.;
- при плавному пониженні тиску (зворотний хід), фіксувались значення вихідної напруги в тих же точках, що й при прямому ході;
- визначалась похибка в кожній контрольній точці як різниця між дійсним та розрахунковим значенням вихідної напруги, що наведене у табл. 2.1 для контрольної точки і віднесене до діапазону вихідної напруги  $|U_n - U_e|$ ;
- визначалась варіація в кожній контрольній точці як різниця між дійсним значенням вихідної напруги при прямому й зворотному ході, що віднесена до діапазону вихідної напруги  $|U_n - U_e|$ , зазначеному в табл. 2.1.

Після проведення випробовувань оцінювалась правильність функціонування зразка. Датчик тиску приймався за такий, який правильно функціонує, якщо після термічного старіння основна похибка вимірювань у будь-якій контрольній точці не перевищувала допустимого значення зазначеного в ТУ [2]. В основу методики проведення прискореного тривалість експлуатації датчиків тиску покладена залежність швидкості тривалість експлуатації від температури, яка описується рівнянням Арреніуса [11,12]:

$$K_n = \exp\left(\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right), \quad (2.2)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт прискорення випробувань;

$T_1$  – робоча температура навколишнього середовища,  $T_1 = 35$  °C;

$T_2$  – температура при проведенні випробувань, К;

$E_a$  – енергія активації, рівень  $E_a$  для нових виробів приймається 1eВ.

Термін служби датчика тиску визначався по формулі:

$$T_E = K_n \cdot t_{випр}, \quad (2.3)$$

де  $t_{випр}$  – тривалість режиму прискореного термічного старіння.

Прискорене термічне тривалість експлуатації проводилось шляхом неперервної витримки зразка (у виключеному стані) при температурі 80 (90) °C протягом часу, який визначався залежно від цієї температури по табл. 2.2.

При визначенні часу старіння враховувався кваліфікаційний запас тривалості тривалість експлуатації згідно ДСТУ ІЕС 60780 [8]. Час прискореного термічного тривалість експлуатації може бути змінено при уточненні фактичних значень енергії активації для матеріалів і комплектуючих, які входять до складу датчика. Температура в камері підтримувалась з точністю  $\pm 1$  °C.

Таблиця 2.2 – Час прискореного термічного тривалість експлуатації датчиків тиску

Адекватний термін	5 років	10 років	15 років	20 років	25 років	30 років
Температура в камері	Час тривалість експлуатації, рік					
80 °C	392	784	1176	1568	1960	2352
90 °C	158	316	474	632	790	948

## 2.2 Результати досліджень статичних характеристик датчиків тиску

Вплив тривалість експлуатації датчиків тиску на їх статистичні характеристики досліджувався для кожної з груп датчиків окремо, результати експериментальних досліджень потім усереднювались. Експериментальні дослідження впливу тривалість експлуатації датчика на його лінійність та визначення відхилень ФП датчиків від номінальної статичної характеристики та аналіз їх результатів дозволили зробити важливі висновки. Експериментально встановлено, що незалежно від терміну їх експлуатації ФП датчиків на робочій ділянці (від 2 МПа до 4 МПа) має лінійний характер (рис. 2.5).

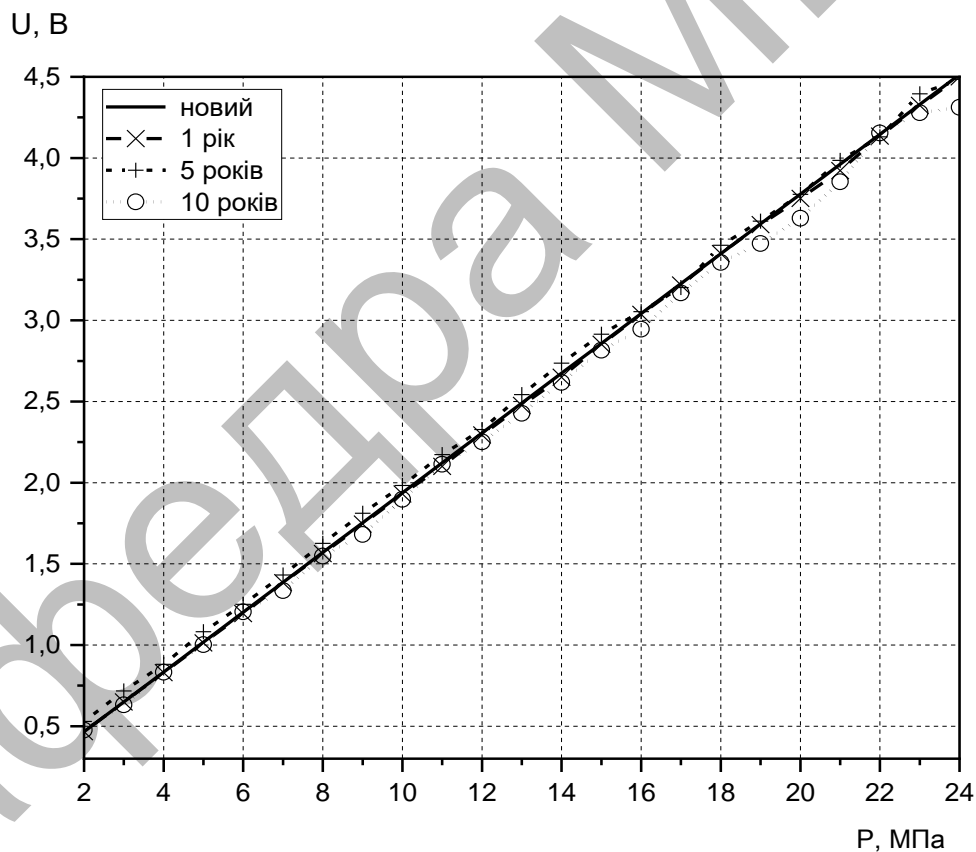


Рисунок 2.5 – Усереднені функції перетворення  $U(P)$  датчиків тиску з різним терміном експлуатації

Слід відзначити, що за рахунок тривалість експлуатації датчиків їх ФП зміщуються відносно ФП нового датчика (опорної ФП) і чим більший термін

експлуатації, то тим більше це зміщення, але цілком піддається коректуванню в процесі калібрування датчиків. Проведені дослідження також показали, що тривалість експлуатації датчиків до еквівалентного терміну служби до 3-х років практично не впливає на їх ФП. Характер графіка ФП не змінюється – ФП залишається лінійною. Таким чином, можна зробити висновок, що тривалість експлуатації датчиків не впливає на їх лінійність. В процесі експериментальних досліджень статичних характеристик датчиків було також вивчено вплив тривалість експлуатації датчиків на основну похибку вимірювань датчика тиску  $\gamma_c$  в залежності від діапазону зміни його вихідного сигналу:

$$\gamma_c = \pm \frac{P_g - P_n}{P_g} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де  $P_g$  – верхня межа вимірювань тиску;

$P_n$  – нижня межа вимірювань тиску.

Встановлено, що з ростом терміну роботи датчика має зміщення ФП датчика, а це, в свою чергу, приводить до росту основної похибки вимірювань  $\gamma_c$  (рис. 2.6).

Слід відзначити, що у всіх експериментах відносна похибка вимірювань не перевищувала межі допустимої основної похибки вимірювань  $\gamma_c < \pm 0,5\%$ , але наближалась до неї. Факт росту відносної похибки вимірювань датчика тиску з ростом терміну його експлуатації свідчить про наявність дрейфу цієї похибки в часі. Зростання основної похибки вимірювань  $\Delta\gamma_c$  носить систематичний характер і залежить як від діапазону зміни вихідного сигналу  $P_g/P_n$  датчика тиску, так і від терміну його роботи та лежить в межах від 0,02% до 0,04% (рис. 2.7).

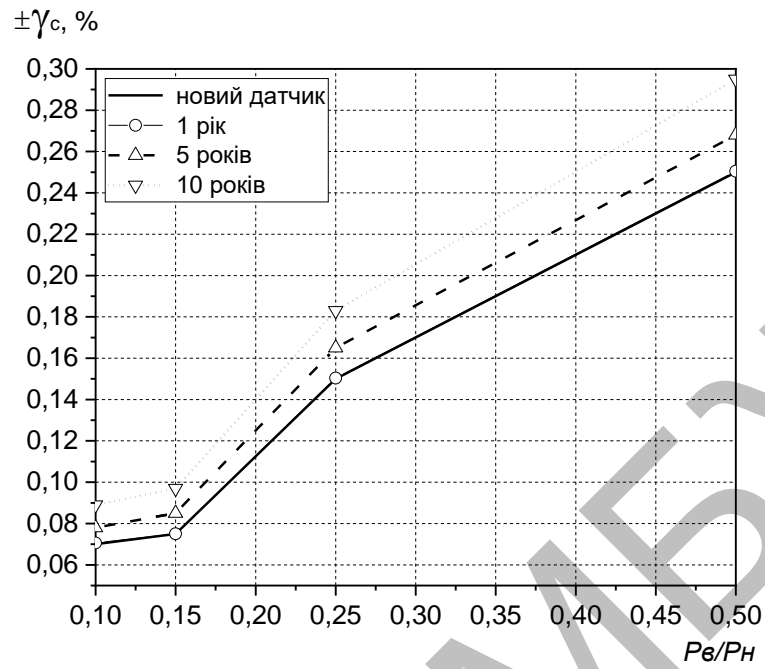


Рисунок 2.6 – Усереднені залежності основної похибки вимірювань тиску  $\gamma_c$  від діапазону зміни вихідного сигналу датчиків тиску  $P_v/P_H$  та терміну їх роботи

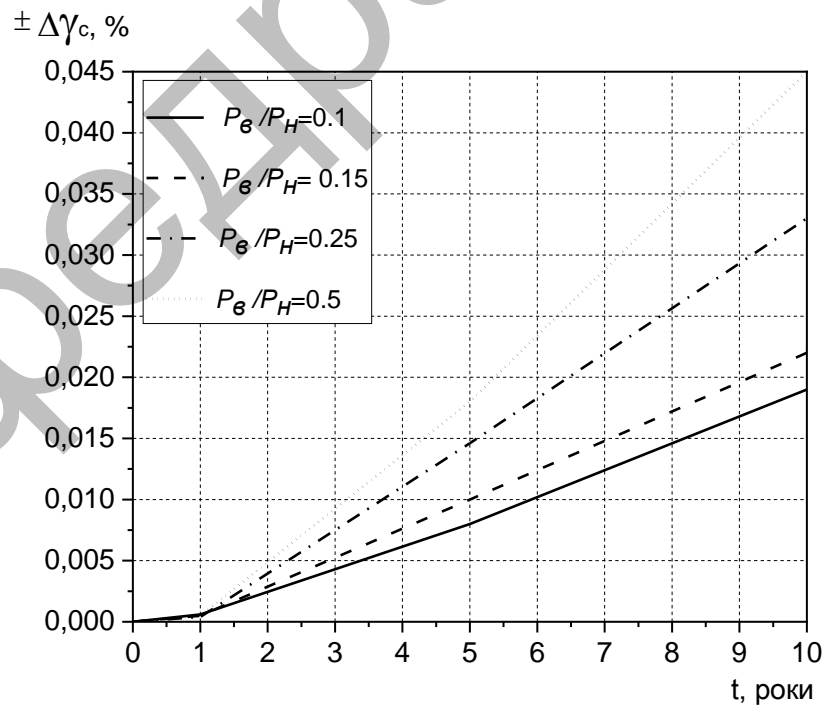


Рисунок 2.7 – Залежність зміни основної похибки вимірювань  $\Delta \gamma_c$  датчиків тиску від терміну їх роботи  $t$

Дослідження показали, що якщо термін експлуатації датчика тиску  $t$  становить від 1 до 3 років, то незалежно від діапазону зміни вихідного сигналу  $P_e/P_n$  датчика зростання основної похибки вимірювань  $\Delta\gamma_c < \pm 0,01\%$ . Для датчика з 10 річним терміном експлуатації  $\pm 0,17\% \leq \Delta\gamma_c \leq \pm 0,45\%$ , а це близько до межі допустимої основної похибки вимірювань  $\gamma_c < \pm 0,5\%$ . [7–10].

Отже, основний вплив процесу тривалість експлуатації датчика тиску на його статичну ФП полягає в її зсуві і, як наслідок, в зростанні відносної допустимої похибки вимірювань тиску та появи дрейфу цієї похибки в часі.

### 2.3 Результати досліджень впливу тривалості експлуатації датчиків тиску на їх динамічні характеристики

В процесі досліджень визначались перехідна та імпульсна характеристики і постійна часу датчиків тиску. Досліджувались датчики тиску рівень тривалість експлуатації яких був еквівалентний терміну експлуатації відповідно 1 рік, 5 років та 10 років. Результати експериментальних досліджень ПХ приведені на (рис. 2.8).

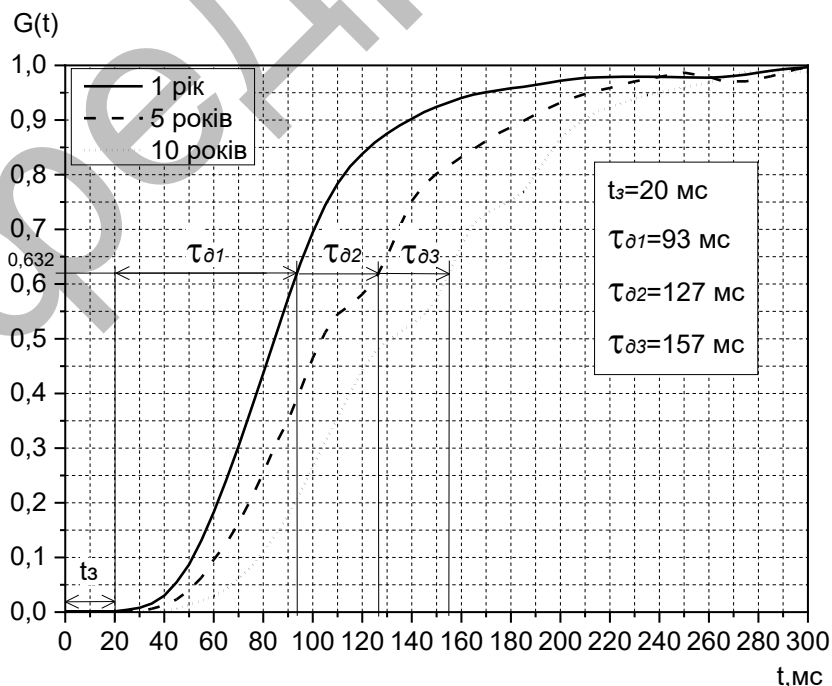


Рисунок 2.8 – Усереднені перехідні характеристики  $G(t)$  датчиків тиску

Вони свідчать про те, що чим довше датчик знаходився в експлуатації, тим значніше проявляються випадкові спотворення переднього фронту його ПХ. Певної закономірності не було виявлено. Встановлено що визначений час затримки становив  $t_3 = 20$  мс.

З врахуванням впливу компонентів вимірювального комплексу (рис. 1.1) отриманий час затримки можна записати як:  $t_3 = t_{cy} + t_{K1} + t_{\delta}$  (де  $t_{cy} = 10$  нс - час затримки системи управління;  $t_{K1} = 1$  мс – час затримки виконавчого механізму-реле K1). Тоді час затримки датчика тиску визначиться як  $t_{\delta} = t_3 - t_{cy} - t_{K1} = 19$  мс.

Постійні часу датчиків тиску  $\tau_{\delta}$  визначались за їх ПХ. Так усереднені постійні часу  $\tau_{\delta}$  для датчиків з термінами експлуатації 1, 5 та 10 років відповідно становили  $\tau_{\delta 1} = 88$  мс,  $\tau_{\delta 2} = 123$  мс,  $\tau_{\delta 3} = 142,5$  мс. За отриманими експериментальними даними була встановлена залежність  $\tau_{\delta}$  від терміну експлуатації  $t$  (рис. 2.5):

$$\tau_{\delta} = 77 + 12,6 \cdot t^{0,98} - 0,66 \cdot t^{1,9}. \quad (2.3)$$

Встановлено, що зростання  $\tau_{\delta}$  в найбільшій мірі проходить в перші 5 років експлуатації (рис. 2.9), а в подальшому воно не є значним.

Постійна часу датчика  $\tau_{\delta}$  є складовою постійної часу системи автоматичного управління (САУ), елементами якої є датчики тиску. Враховуючи це, згідно технічними умовами приведеними в ДК ПП 33.20.52.830, завод виробник гарантує  $\tau_{\delta} \leq 100$  мс. Але як показали дослідження, вже через 2 роки експлуатації датчика на ТСО (рис. 2.9)  $\tau_{\delta} \approx 99$  мс, а через 10 років експлуатації  $\tau_{\delta} \approx 143$  мс.

Таким чином, встановлено, що постійна часу датчика  $\tau_{\delta}$  має властивість змінюватись при експлуатації і потребує, враховуючи специфіку ТСО [7–8],



постійного контролю для кожного типу датчика і для кожного місця його установки [9].

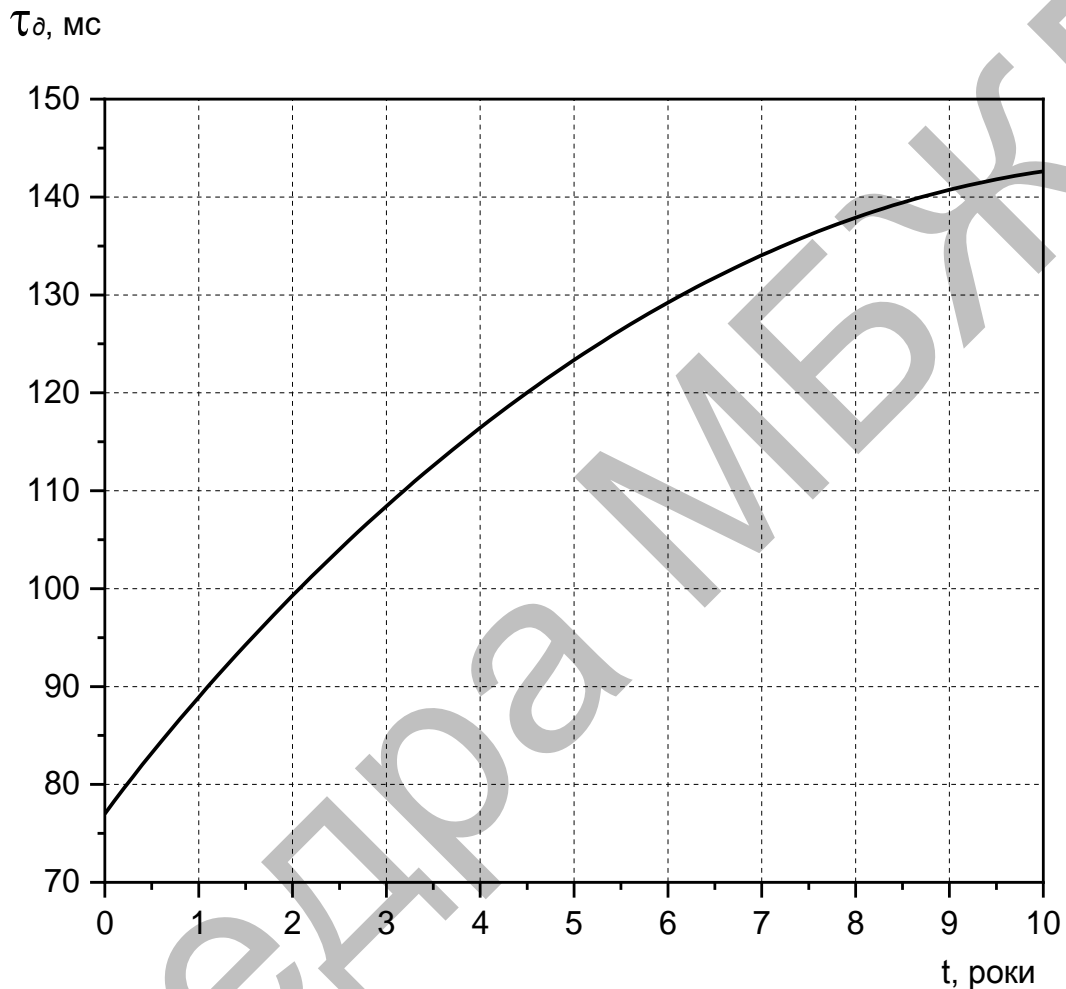


Рисунок 2.9 – Вплив тривалість експлуатації датчика на постійну часу датчика тиску  $\tau_0$

В метрологічній практиці, як показали дослідження [10], 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 його імпульсна характеристика  $H(t)$  спотворюється (рис. 2.10). Вона розширюється і деформується, а її 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 ВКТ 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 (рис. 2.11) та описуються виразом [10]:

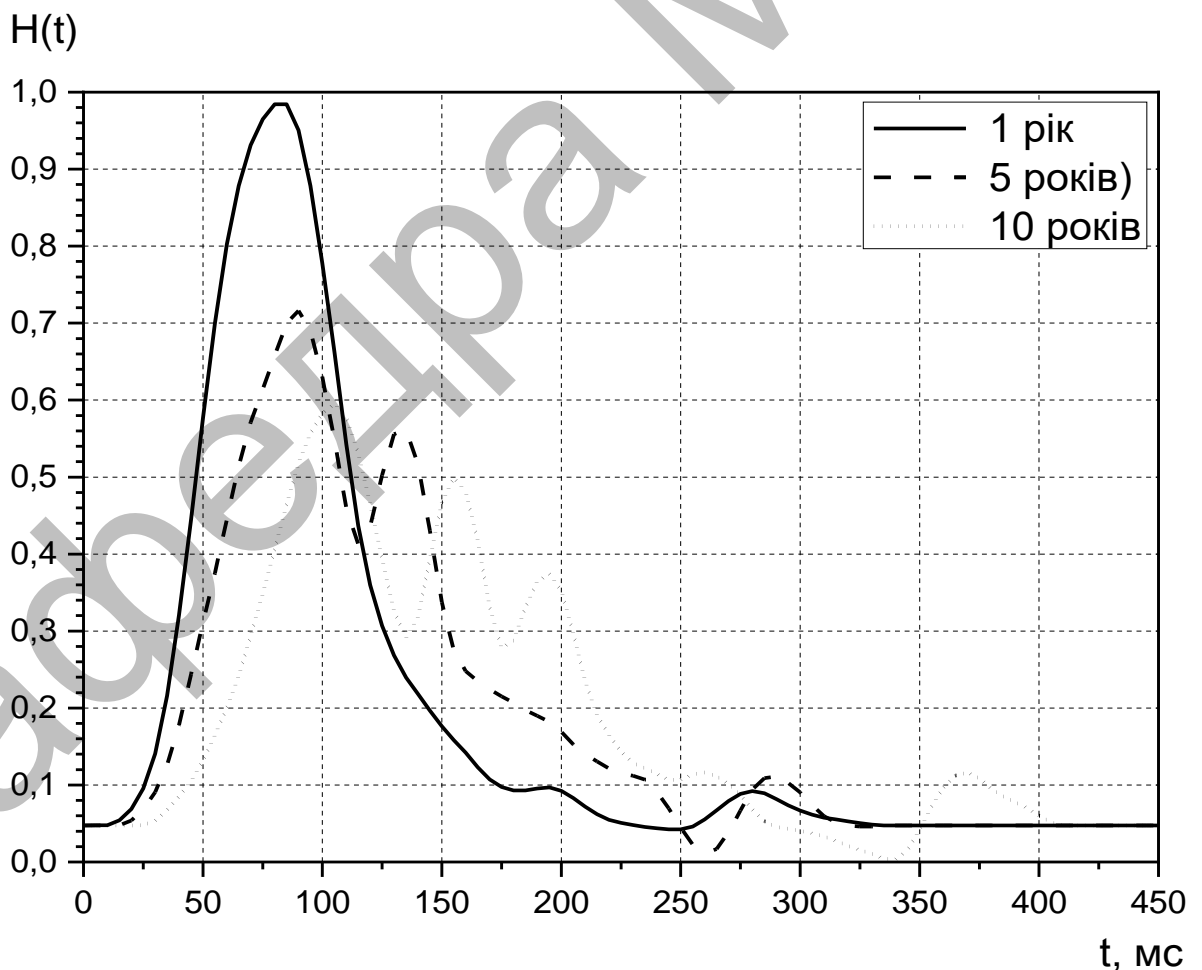


Рисунок 2.10 – Вплив тривалість експлуатації датчика тиску на його імпульсну характеристику  $H(t)$

$$H(t, \bar{p}) = p_0 + \frac{p_1}{\pi} \cdot \frac{p_2}{2 \cdot (t - p_3)^2 + p_2^2}, \quad (2.5)$$

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.

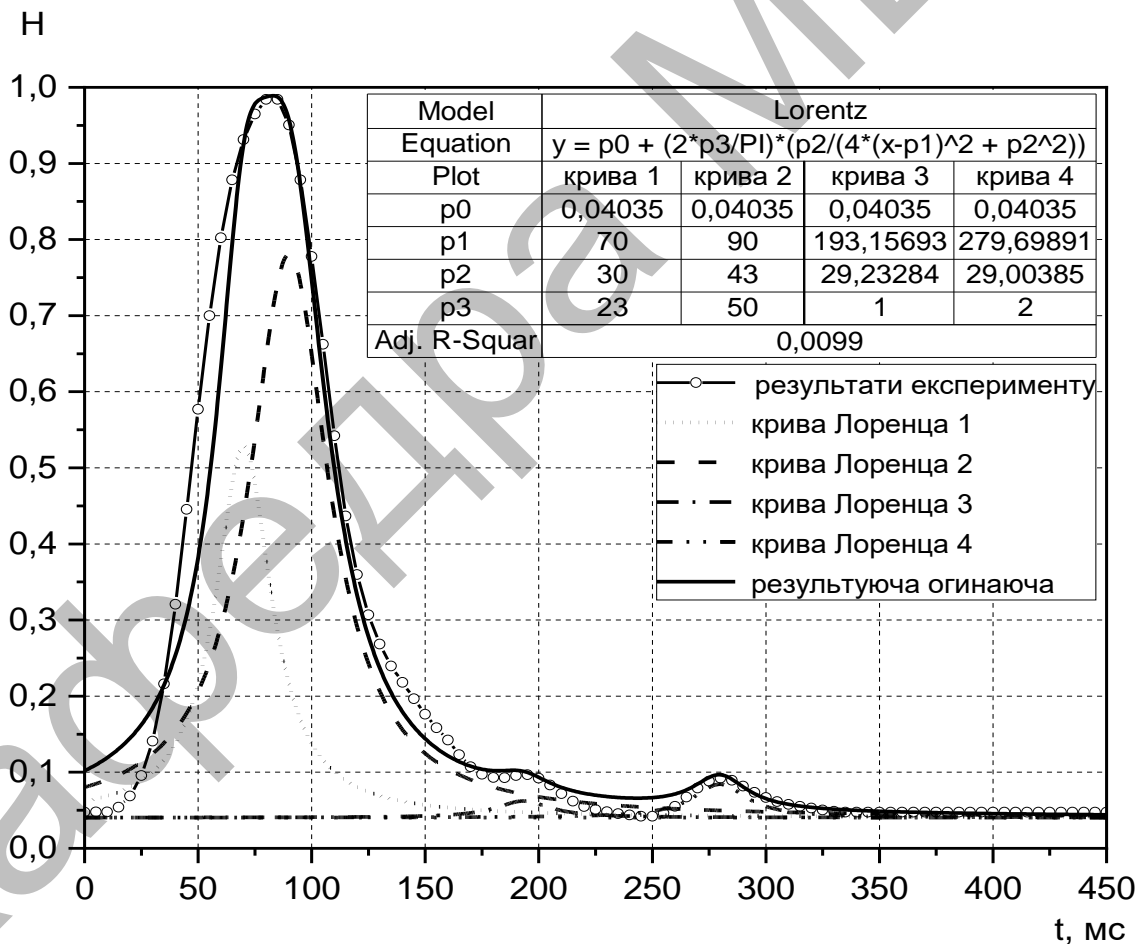


Рисунок 2.11 – Апроксимована функціями Лоренца  $H(t, \bar{p})$  імпульсна характеристика  $H(t)$  датчика тиску з терміном експлуатації 1 рік

Результуюча апроксимаційна крива (рис. 2.11) описується сукупністю функцій Лоренца:

$$H(t, \bar{p}) = H_1(t, \bar{p}) + H_2(t, \bar{p}) + \dots + H_n(t, \bar{p}). \quad (2.6)$$

В загальному випадку вираз (2.6) може бути записаний як:

$$H(t, \bar{p}) = \sum_{i=1}^n \left( p_{0i} + \frac{p_{1i}}{\pi} \cdot \frac{p_{2i}}{2 \cdot (t - p_{3i})^2 + p_{2i}^2} \right). \quad (2.7)$$

Кількість функцій Лоренца  $n$ , необхідних для досить точної апроксимації імпульсної характеристики залежить від терміну експлуатації датчика, що коливається в межах від одного до 10 років експлуатації. За результатами експериментальних досліджень датчиків тиску були отримані емпіричні залежності кількості апроксимуючих функцій від терміну експлуатації  $n(t)$ :

$$n(t) = 1 + 2,2 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{0,3}\right) \right) + 12 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{16}\right) \right). \quad (2.8)$$

На (рис. 2.12) зображена отримана за результатами експериментальних досліджень функція  $n(t)$  згідно виразу (2.8).

Результати апроксимації оформлювались у вигляді графіків (рис. 2.9– 2.11). Апроксимовані імпульсні характеристики датчиків тиску, які описуються виразом (2.7) 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:

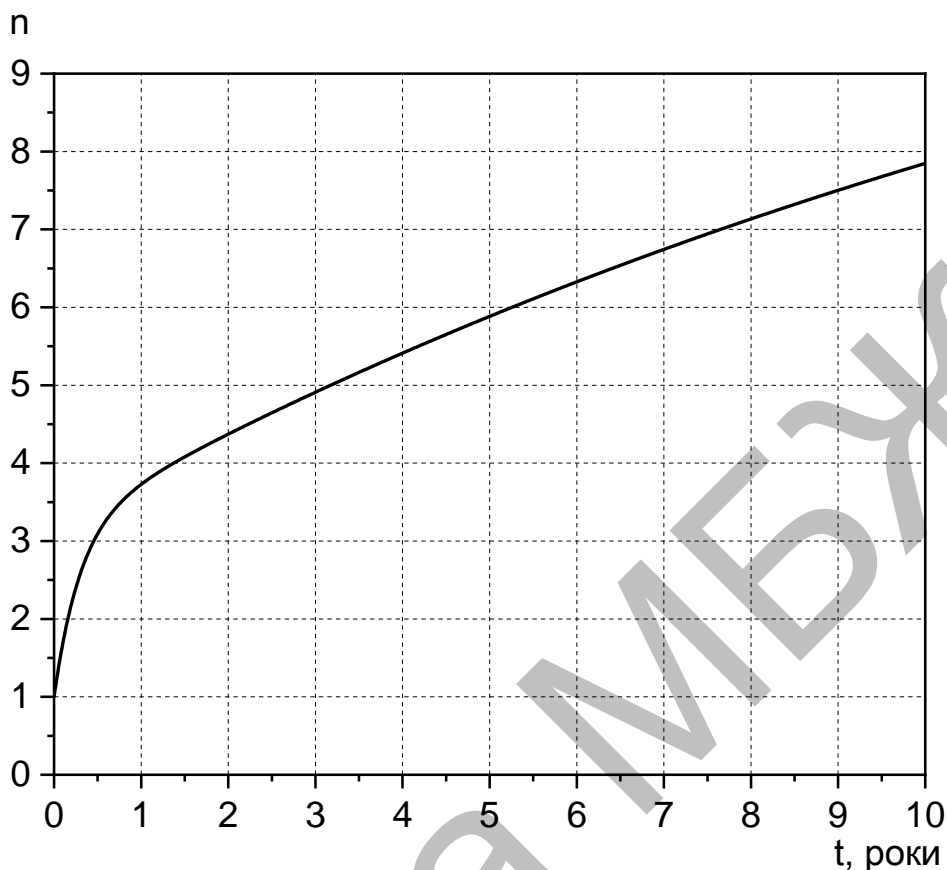


Рисунок 2.12 – Залежність кількості  $n$  апроксимаційних функцій від терміну експлуатації  $t$  датчика тиску

$$H_1(t) = 0,16 + \frac{439}{4 \cdot (t-70)^2 + 900} + \frac{1369}{4 \cdot (t-90)^2 + 1849} + \frac{18,6}{4 \cdot (t-193)^2 + 854,6} + \frac{37}{4 \cdot (t-280)^2 + 841}, \quad (2.9)$$

$$H_5(t) = 0,258 - \frac{305,6}{4 \cdot (t-17)^2 + 3600} + \frac{2567}{4 \cdot (t-87)^2 + 3969} + \frac{140}{4 \cdot (t-138)^2 + 484} + \frac{2447}{4 \cdot (t-200)^2 + 21360} - \frac{128}{4 \cdot (t-274)^2 + 4474} - \frac{326}{4 \cdot (t-285,5)^2 + 16,28}, \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned}
H_{10}(t) = & 0,344 - \frac{153}{4 \cdot (t-25)^2 + 3600} + \frac{1662}{4 \cdot (t-100)^2 + 3047} + \\
& + \frac{126}{4 \cdot (t-156)^2 + 400} + \frac{4858}{4 \cdot (t-207)^2 + 1697} - \frac{3920}{4 \cdot (t-207,8)^2 + 1568} - \\
& - \frac{5,48}{4 \cdot (t-296)^2 + 273} - \frac{142}{4 \cdot (t-338)^2 + 1814} . \quad (2.11)
\end{aligned}$$

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

$$\delta_H(t) = \frac{H_e(t) - H_a(t)}{H_e(t)} , \quad (2.12)$$

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

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

На (рис. 2.13, 2.15, 2.17) приведені графіки апроксимованих усереднених імпульсних характеристик  $H(t)$  датчиків тиску з термінами експлуатації відповідно 1, 5 та 10 років, які побудовані за виразами (2.9) – (2.11). Відносні похибки апроксимації  $\delta_H(t)$  усереднених імпульсних характеристик  $H(t)$  датчиків тиску зображені на (рис. 2.14, 2.16, 2.18). 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 ВКТ, що є адаптивними до його тривалість експлуатації.

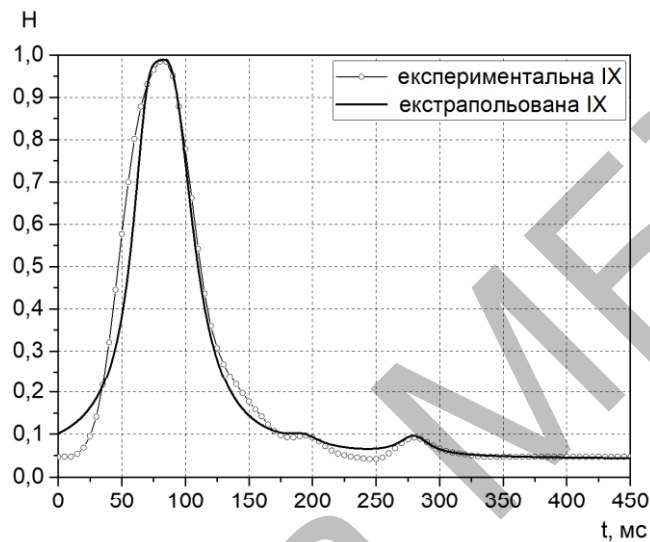


Рисунок 2.13 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 1 рік

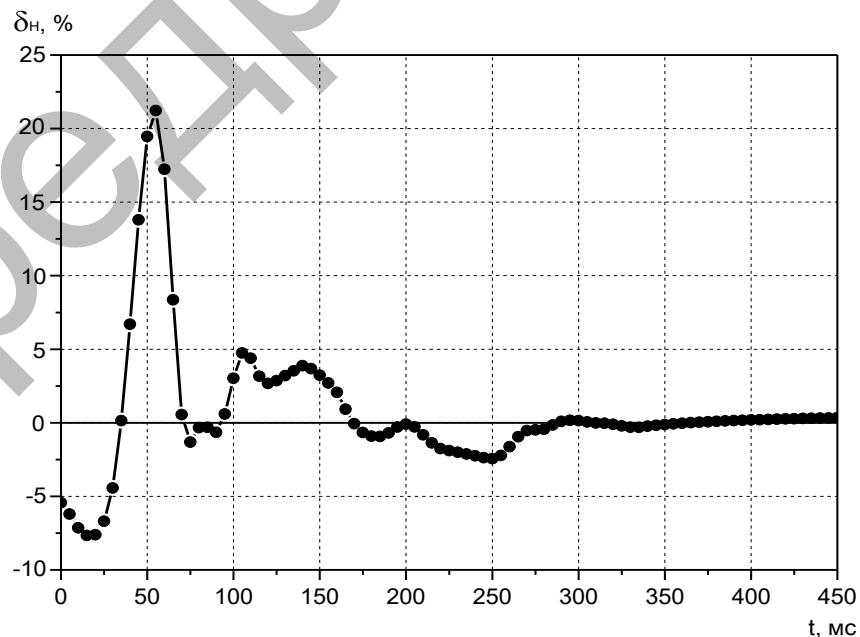


Рисунок 2.14 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 1 рік

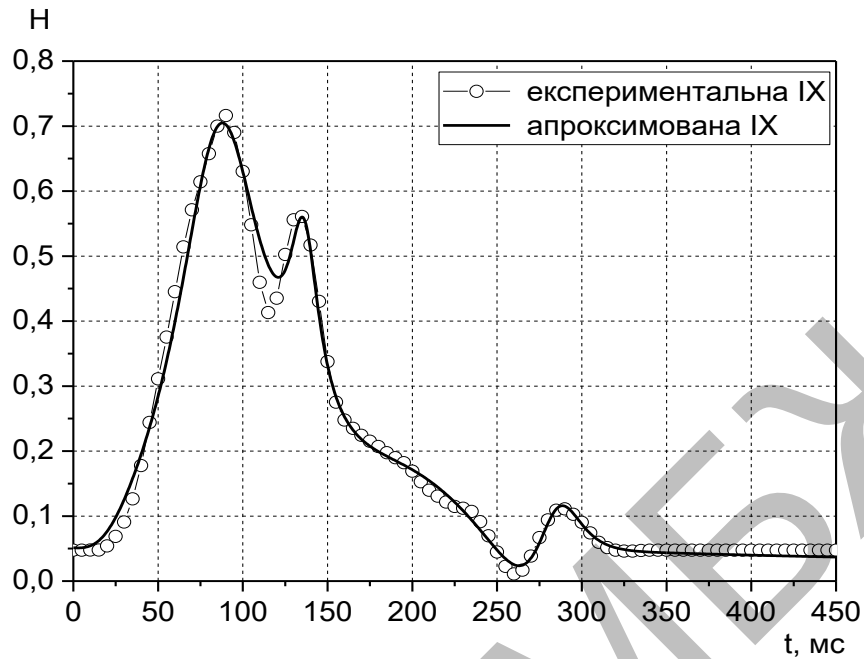


Рисунок 2.15 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$   
датчиків тиску з терміном експлуатації 5 років

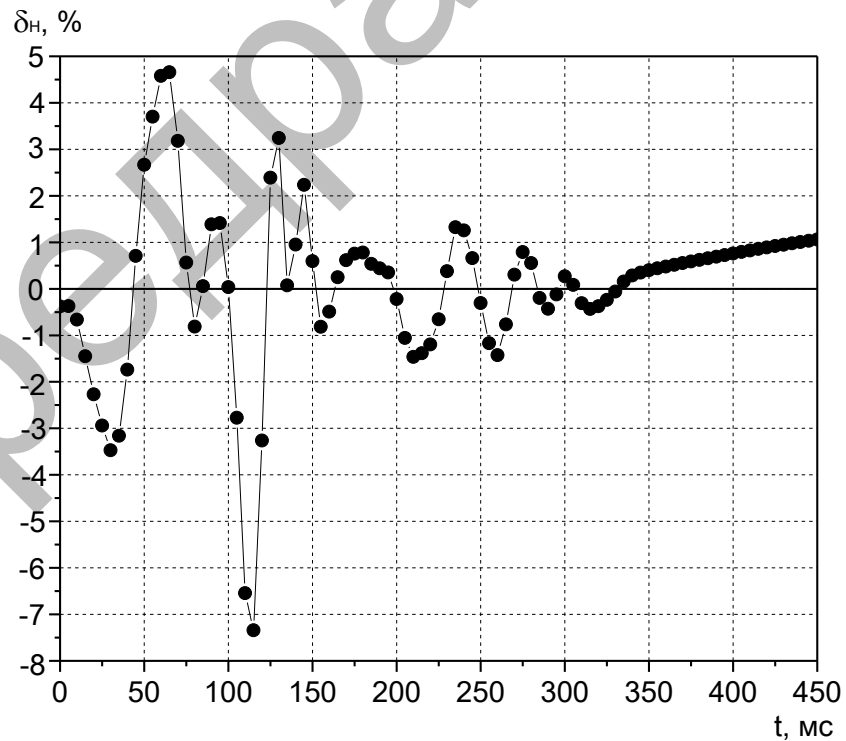


Рисунок 2.16 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної  
характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 5 років



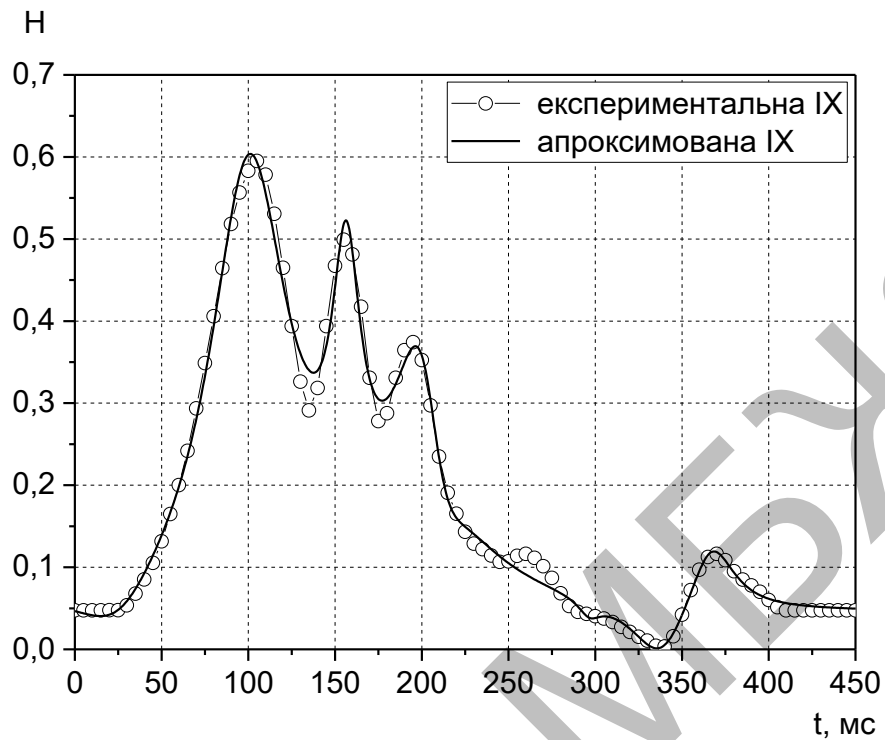


Рисунок 2.17 – Апроксимована усереднена імпульсна характеристика  $H(t)$   
датчиків тиску з терміном експлуатації 10 років

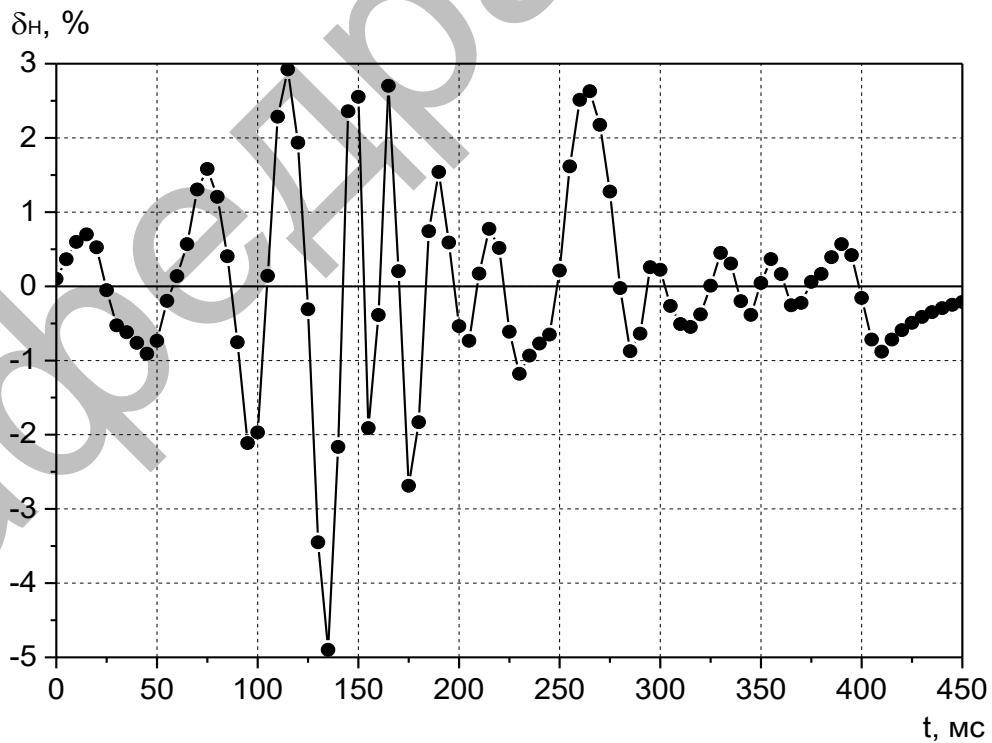


Рисунок 2.18 – Відносна похибка апроксимації  $\delta_H(t)$  усередненої імпульсної  
характеристики  $H(t)$  датчиків тиску з терміном експлуатації 10 років

Відновлені за експериментальними імпульсними характеристиками АЧХ датчиків приведені на (рис. 2.19). Внаслідок тривалість експлуатації датчиків зменшується амплітуда АЧХ.

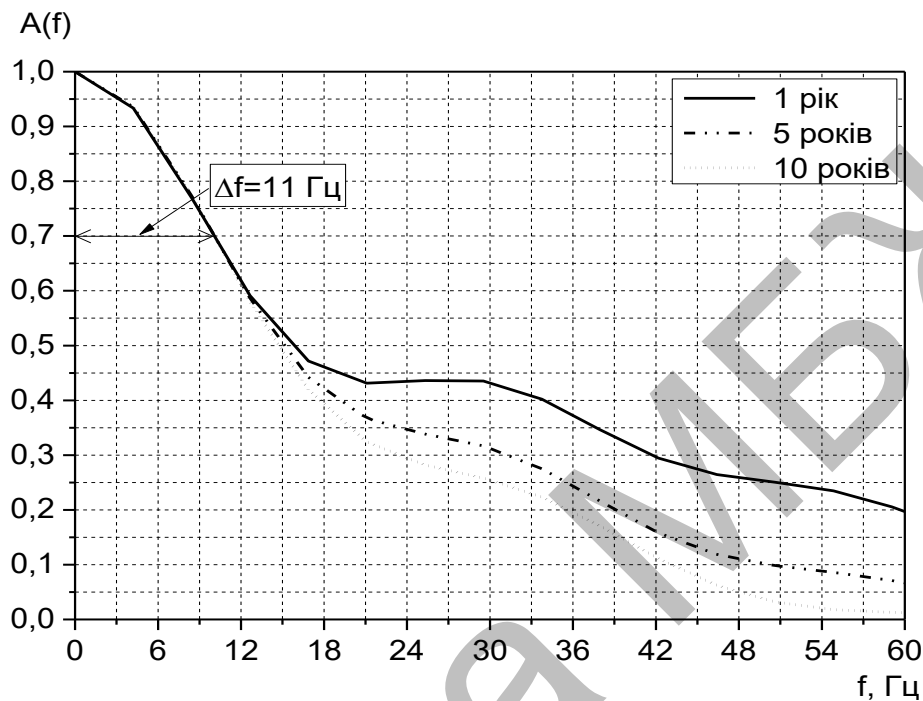


Рисунок 2.19 – Нормовані амплітудно-частотні характеристики  $A(f)$  датчиків тиску

Суттєвим є те, що за аналогією з тривалістю переднього фронту ПХ датчика це зменшення від  $A_{\text{макс}}$  до  $0,632 \cdot A_{\text{макс}}$  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 (рис. 2.19) зменшується в залежності від рівня тривалість експлуатації датчика майже в 2 рази. Це свідчить про те, що складові спектру вхідного сигналу датчика тиску, які попадають в смугу від 18 Гц до 40 Гц, будуть гаситися. Це в свою чергу приведе до спотворень форми вихідного сигналу датчика, що необхідно враховувати як при оцінці похибок вимірювань ВКТ з різним терміном експлуатації, так і при моделюванні ВКТ.

Отже, з проведених досліджень впливу тривалість експлуатації датчиків тиску на їх динамічні характеристики впливає:

1. Внаслідок тривалість експлуатації в процесі експлуатації датчиків тиску змінюються як статичні, так і динамічні характеристики датчиків тиску, зокрема постійна часу датчика, перехідна, імпульсна та амплітудно-частотна характеристики.

2. тривалість експлуатації датчика викликає дрейф відносної похибки вимірювань тиску, який протягом 10 років експлуатації може перевищити межі відносної похибки вимірювань. Тому такі датчики тиску потребують посиленого контролю похибки вимірювань.

3. тривалість експлуатації датчика в найбільшій мірі впливає на його постійну часу, яка може зрости майже в 2 рази, а також на амплітудно-частотну характеристику і, як наслідок, на форму сигналу на виході датчика.

Для ТСО важливими є, однак, ДХ всього ВКТ, що потребує аналізу вимірювальної лінії сумісно з датчиком тиску.

#### 2.4 Дослідження впливу вимірювальної лінії на динамічні характеристики датчиків високого тиску

В процесі експлуатації у вимірювальній лінії, що заповнена технологічною рідиною, внаслідок її тривалість експлуатації утворюються закупорки, порожнечі та повітряні пробки і витіки, внаслідок чого лінія втрачає свою лінійність і тому не можна використовувати для дослідження впливу тривалість експлуатації вимірювальної лінії на ДХ ВКТ ті ж самі методи, що і для датчика тиску. Крім того, в цьому випадку внаслідок нелінійної взаємодії вимірювальної лінії і датчика не можна визначити окремо ДХ вимірювальної лінії і датчика тиску. Це можна робити, використовуючи метод аналізу шумів. Дійсно, одним з основних переваг перевірки часу реакції за допомогою методу аналізу шумів є те, що його результати обов'язково включають вплив вимірювальних ліній, тобто будь-який результат для каналів тиску, що отриманий методом аналізу шумів, враховує довжину і діаметр вимірювальних

ліній, а також будь-які закупорки, порожнечі та витoki, які можуть бути присутні у цих лініях.

В процесі досліджень з визначення впливу тривалість експлуатації вимірювальної лінії на ДХ ВКТ було розроблено вимірювальний комплекс (рис. 2.20), в якому був реалізований метод аналізу шумів [9–19].

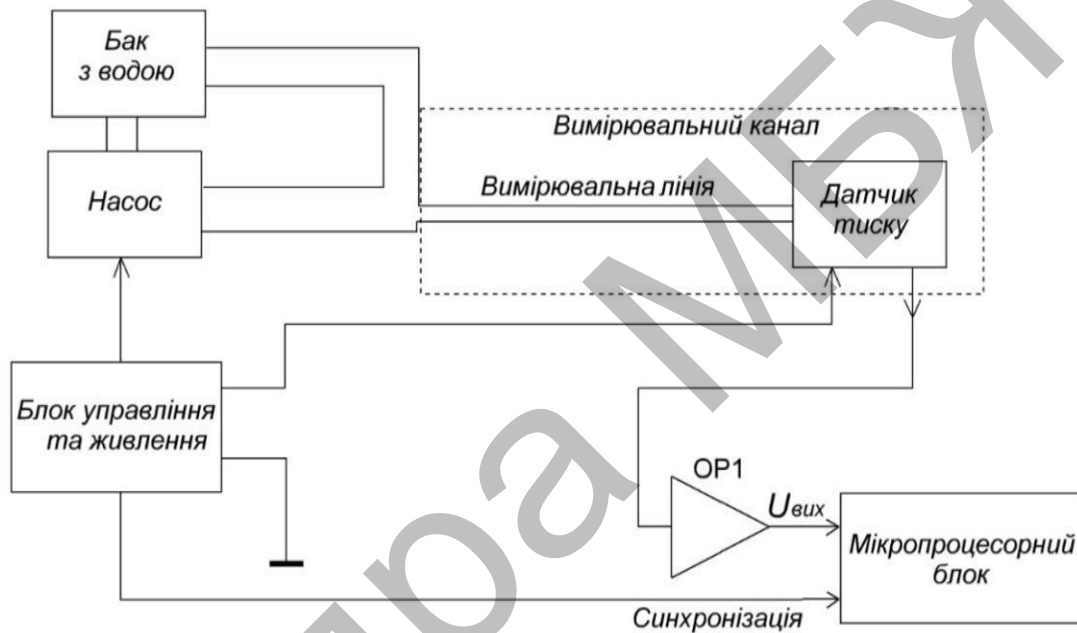


Рисунок 2.20 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик вимірювального каналу

Стенд для досліджень вимірювальних ліній зображено на (рис. 2.21). В дипломній роботі був проведений аналіз впливу кожного чинника тривалість експлуатації вимірювальної лінії на ДХ ВКТ.

Вплив порожнеч у вимірювальній лінії тиску викликаний наявністю в ній повітря або газу. Цей чинник приводить до додаткових похибок вимірювання тиску, уповільненої реакції каналу тиску й сторонніх шумів в результаті акустичних резонансів. Попадання повітря у вимірювальну лінію робить рідину стискаємою, що приводить до сповільнення передачі сигналу тиску з входу на вихід вимірювальної лінії. Хоча й можна було б очікувати, що пухирці повітря

розчиняться в рідині при високих тисках, характерних для промислових вимірювань, позбутися порожнеч у вимірювальній системі важко.

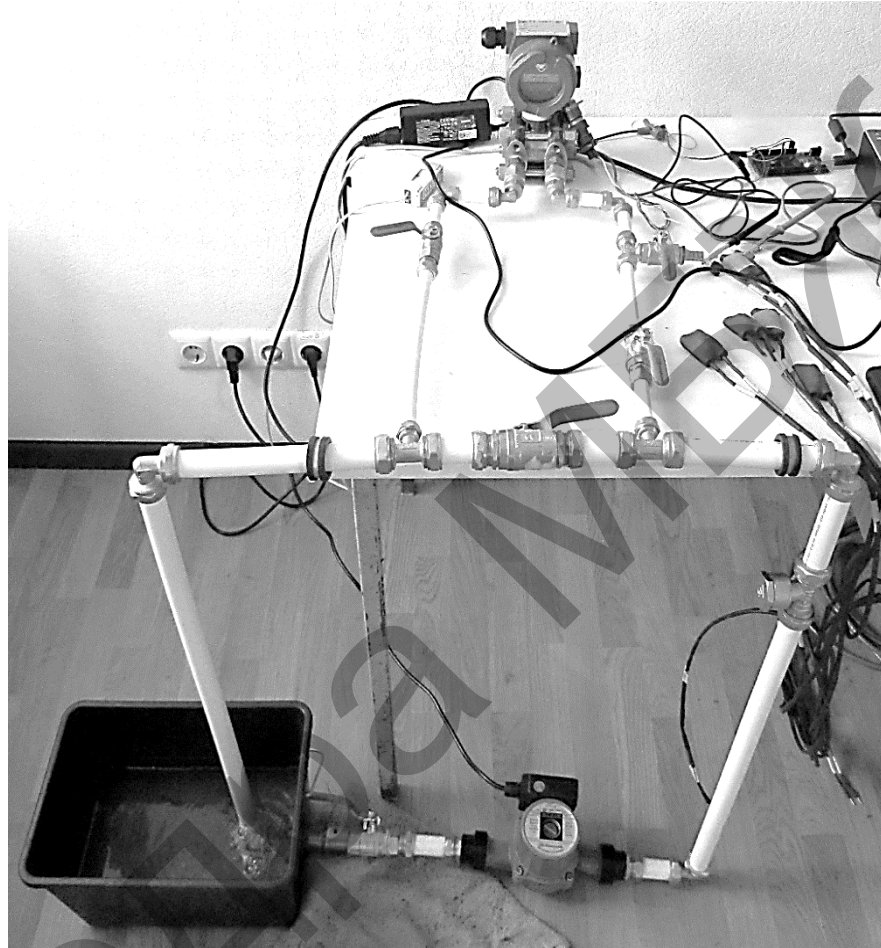


Рисунок 2.21 – Зовнішній вигляд стенду дослідження вимірювальних ліній

Наявність повітря або порожнеч у вимірювальних лініях тиску впливає на форму графіка спектральної щільності потужності (СЩП) сигналів шуму. На (рис. 2.22) представлені результати експериментів, що показують вплив наявності повітря на ДХ ВКТ. Як і очікувалося, наявність повітря приводить до збільшення постійної часу ВКТ  $\tau_{вк}$ . Аналіз результатів досліджень з використанням методу аналізу шумів показав, що наявність повітря змушує резонанс СЩП зміщатися у бік більш низьких частот і що постійна часу каналу  $\tau_{вк}$  зростає в міру збільшення кількості повітря в лінії.

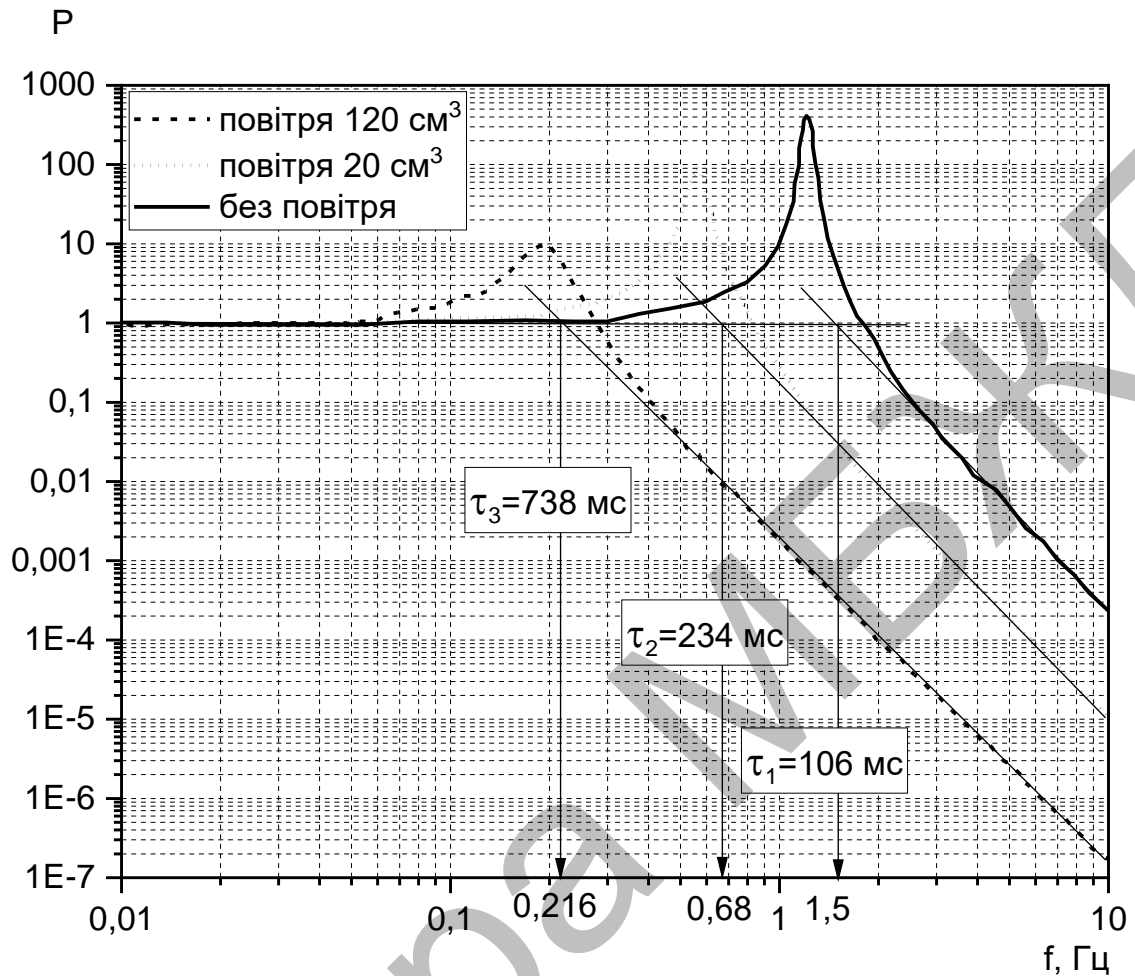


Рисунок 2.22 – Графіки СЦП при наявності повітря в каналі вимірювання тиску  $\tau_{\text{вк}}$

Встановлено, що залежність постійної часу ВКТ від об'єму повітря в ньому може описуватись аналітичним виразом:

$$\tau_{\text{вк}} = 106 + 1664 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{V}{251}\right) \right). \quad (2.13)$$

Графік залежності  $\tau_{\text{вк}}$  від об'єму  $V$  повітря у вимірювальній лінії приведений на (рис. 2.23).

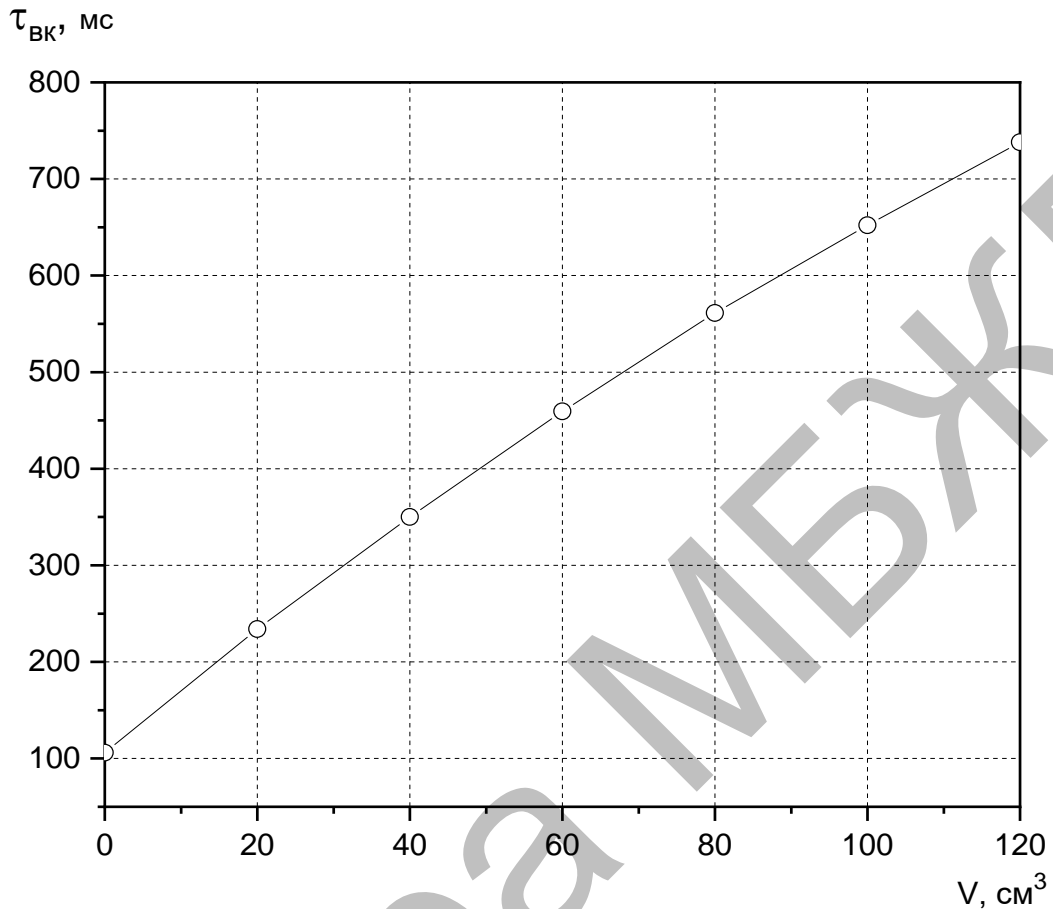


Рисунок 2.23 – Залежність постійної часу  $\tau_{\text{ВКТ}}$  від об'єму  $V$  повітря у вимірювальній лінії

Проведемо аналіз впливу закупорок вимірювальних ліній ВКТ на його ДХ. Встановлено, що закупорки вимірювальних ліній відбуваються, коли хімікалії, які використовуються для обробки води і її відстоювання, твердіють або коли накопичуються інші забруднювачі. Це також відбувається через перешкоди, що виникають у вимірювальній лінії, і через неточність установки та вирівнювання урівнювальних і відсікаючих вентилів, і через обтиснення вимірювальних трубок.

Часткові закупорки негативно позначаються лише на динамічній реакції каналу вимірювання тиску і не погіршують його статичну характеристику, але коли лінія повністю закупорена, інформація про тиск втрачається повністю.

Дослідження проводились з використанням аналога закупорки – відносного перекриття діаметру трубопровода вимірювальної лінії за допомогою шарового крану (рис. 2.21).

В якості критерію оцінки рівня закупорки вимірювальної лінії було прийнято відносний рівень закупорки  $d$  :

$$d = \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \cdot 100\% , \quad (2.14)$$

де  $\alpha$  – кут повороту рукоятки шарового крану в градусах;

$\alpha_{\max} = 90^0$  – максимальний кут повороту рукоятки крана при якому він повністю перекривається.

Досліджувались відносні закупорки з рівнями, від 0 % до 50% з дискретністю в 5%. В результаті досліджень були отримані СЦП вихідного сигналу ВКТ при наявності та при відсутності закупорок у вимірювальній лінії (рис. 2.20) та апроксимаційна функція залежності постійної часу  $\tau_{\text{вк}}$  ВКТ від відносної закупорки  $d$  вимірювальної лінії (рис. 2.21):

$$\tau_{\text{вк}} = 97 + 1664 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{V}{680}\right) \right). \quad (2.15)$$

Витоки у вимірювальних лініях тиску зустрічаються досить часто, це приводить до дрейфу сигналу на виході ВКТ. Для дослідження впливу витоків у вимірювальній лінії на ДХ ВКТ використовувався стенд дослідження вимірювальних ліній, що зображений на (рис. 2.21), і аналіз проводився методом аналізу шумів. На (рис. 2.26) приведено сигнал шуму на виході справного каналу тиску і каналу, у вимірювальній лінії якого є витік. Очевидно, що витік зменшує амплітуду вихідного сигналу ВКТ.



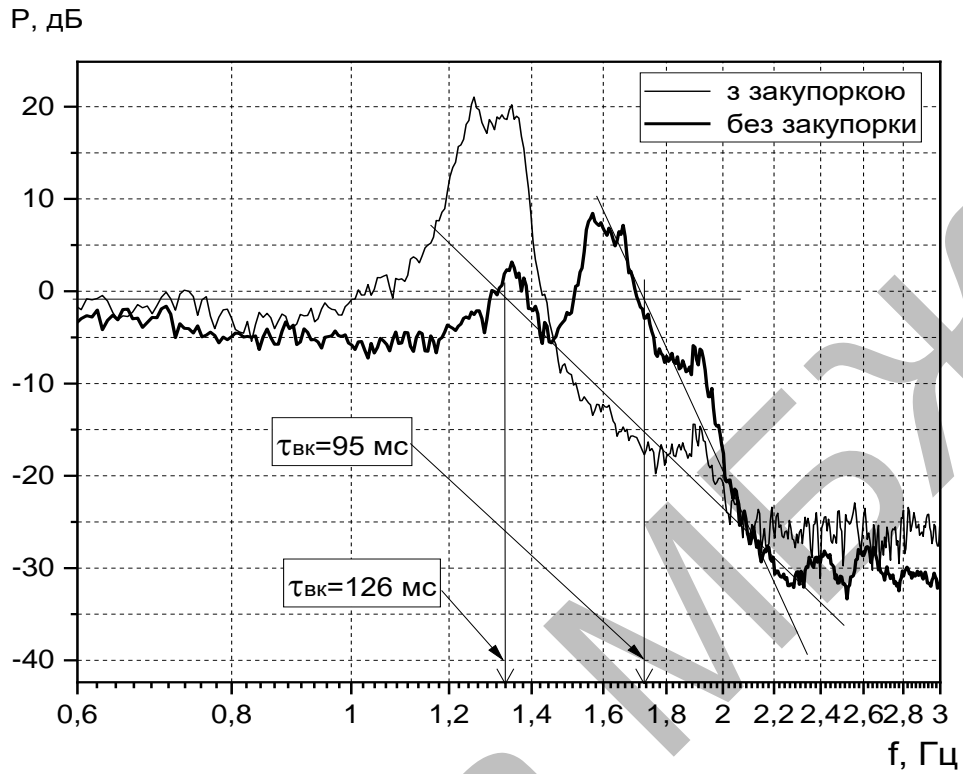


Рисунок 2.24 – СЦП сигналу для каналу вимірювання тиску при наявності та при відсутності закупорок у вимірювальній лінії

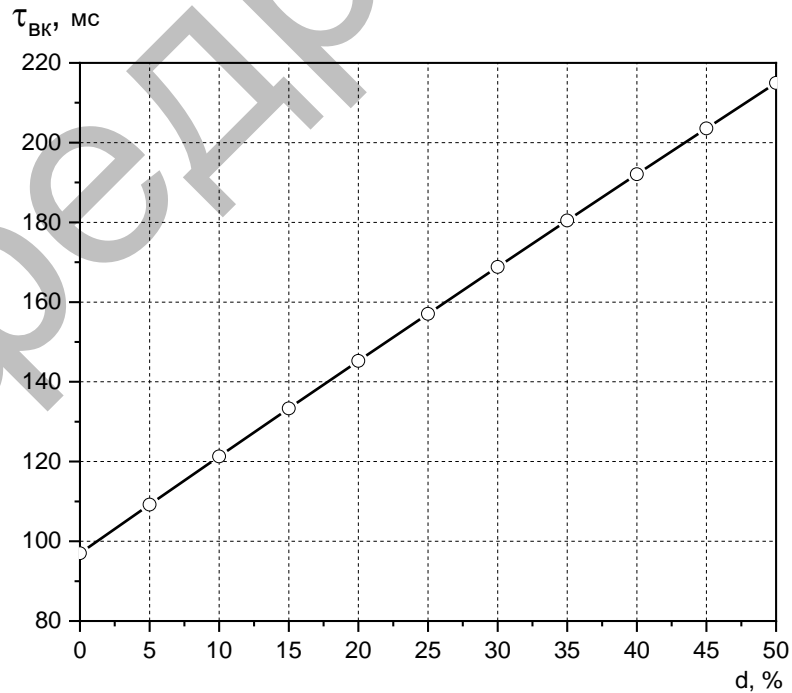


Рисунок 2.25 – Залежність постійної часу  $\tau_{BK}$  ВКТ від відносної закупорки  $d$  вимірювальної лінії

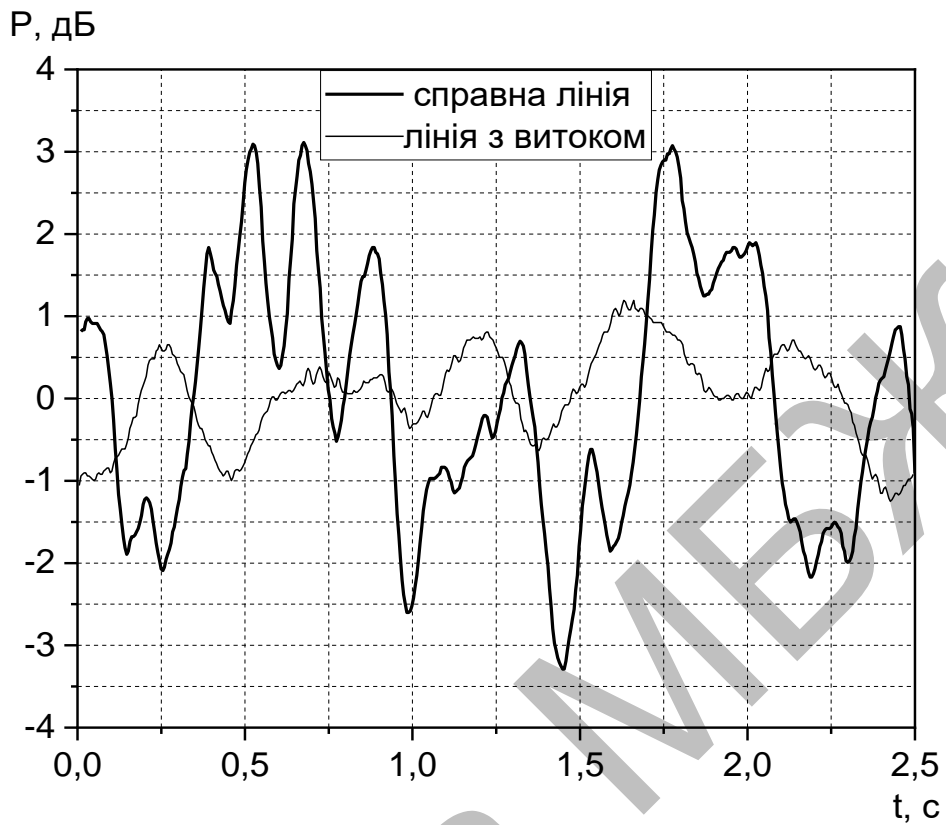


Рисунок 2.26 – Сигнал шуму на виході каналу тиску

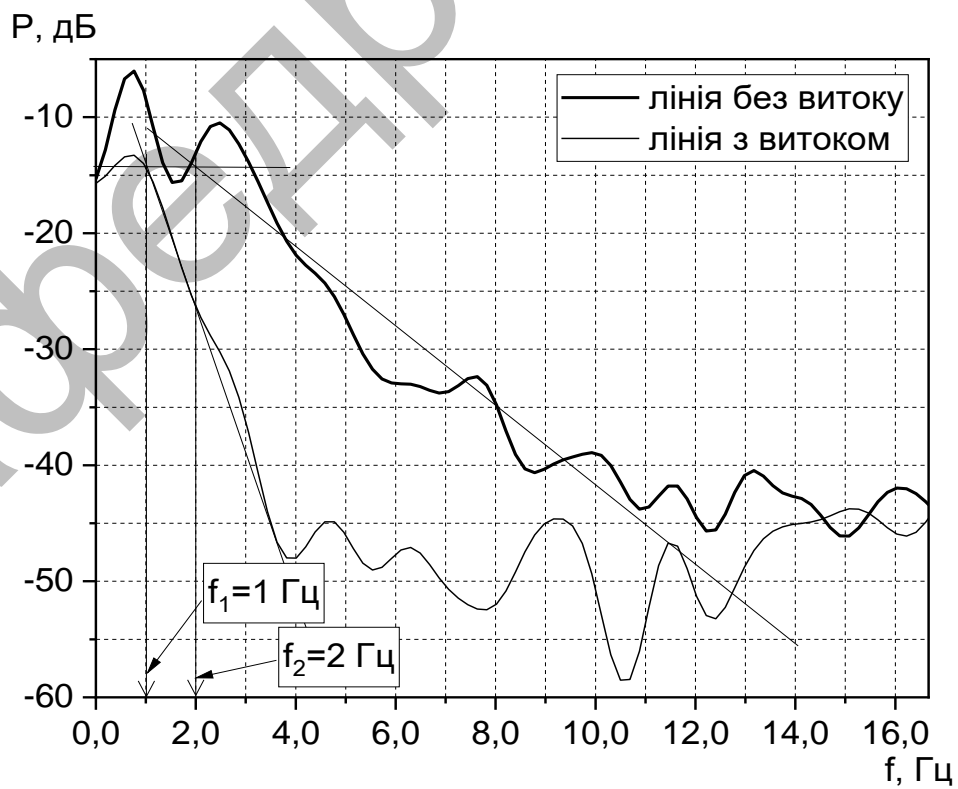


Рисунок 2.27 – СЦП на виході каналу тиску

На (рис. 2.27) приведена СЦП вихідного сигналу такого каналу тиску. Аналіз графіків СЦП вихідного сигналу ВКТ (рис. 2.26–2.27) показав, що наявність витоків у вимірювальній лінії приводить до звуження спектру вихідного сигналу ВКТ. При цьому додаткові резонанси не утворюються. В якості критерію оцінки витоків був прийнятий відносний рівень витоків  $q$ :

$$q = \left(1 - \frac{Q_1}{Q}\right) \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

де  $Q_1$  – витрата води після місця протічки, л/год.;

$Q$  – витрата води до місця протічки, л/год.

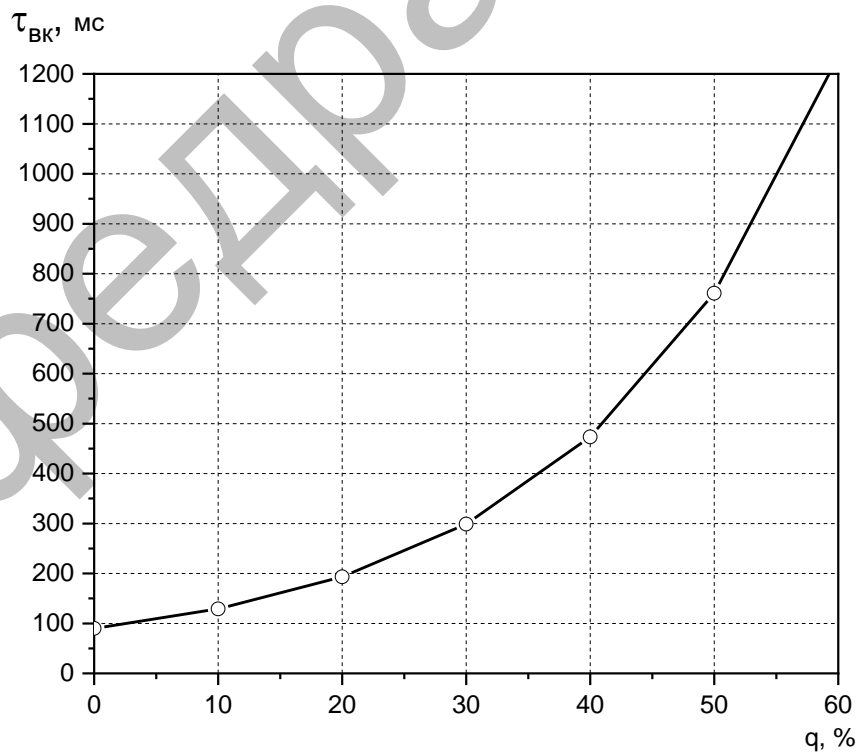


Рисунок 2.28 – Залежність постійної часу  $\tau_{ВКТ}$  від відносного витоків  $q$  рідини в вимірювальній лінії

Витрата води вимірювалась з використанням двох витратомірів (рис. 2.21), які встановлювались до місця імітації витоку та після нього. За результатами узагальнення досліджень була отримана залежність постійної часу  $\tau_{ек}$  ВКТ від відносного витоку  $q$  рідини в вимірювальній лінії (рис. 2.28), яка описується виразом:

$$\tau_{ек} = 30 + 60 \cdot e^{\left(\frac{5 \cdot Q_1}{Q}\right)}. \quad (2.17)$$

Аналіз експериментально отриманих результатів досліджень впливу тривалості експлуатації вимірювальної лінії на ДХ ВКТ (рис. 2.22 – 2.28) показав, що ці чинники можна класифікувати. Критеріями класифікації є можливість їх виявлення в процесі повсякденної експлуатації (при візуальному контролі) та рівень їх впливу на ДХ ВКТ.

До першої групи, чинники якої виявляються візуально і швидко усуваються, відносяться витоки рідини з вимірювальної лінії тиску. Але незначні витоки (до 10%), які в більшості ситуацій спостерігаються на ТСО, незначно впливають на постійну часу ВКТ (рис. 2.28). В цьому випадку постійна часу ВКТ зростає на 23% (в 1.2 рази) і  $\tau_{ек} \leq 120$  мс, тобто знаходиться в межах допуску. До другої групи, чинники якої приховані і не можуть бути виявлені візуально та швидко не усуваються, відносяться наявність повітря та закупорки вимірювальної лінії. Наявність повітря у вимірювальній лінії в найбільшій мірі впливає на постійну часу ВКТ. Так наявність у вимірювальній лінії (рис. 2.23) тільки  $20 \text{ см}^3$  повітря збільшує постійну часу ВКТ більше ніж в два рази – на 137%, а при  $30 \text{ см}^3$  постійна часу ВКТ зростає на 205%.

Таким чином, цей чинник є дуже критичним до зміни постійної часу ВКТ. Закупорки є характерним чинником для вимірювальних ліній які експлуатуються

тривалий час. Незначні закупорки (до 10%) незначно впливають на постійну часу. Вона зростає тільки на 23%.

Слід мати на увазі, що всі проаналізовані в дослідженнях чинники діють одночасно у вимірювальній лінії і сумарний вплив буде значним. Наприклад, якщо проаналізувати вимірювальну лінію без витоків з  $10 \text{ см}^3$  повітря та 2.5% відносною закупорки, то внаслідок її тривалість експлуатації постійна часу ВКТ зросте на 220% і буде становити 310 мс, що більше ніж в два рази перевищує межі допуску.

Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють в певній мірі прогнозувати стан вимірювального каналу тиску в залежності від рівня тривалість експлуатації його вимірювальної лінії. Так, якщо прийняти, що витoki в лінії відсутні і кількість повітря в ній складає лише  $10 \text{ см}^3$  (при умові що на протязі 10 років експлуатації її відносна закупорка не перевищить 20%), постійна часу ВКТ зросте з 77 мс до 430 мс і на 286% перевищить межі допуску. Залежність постійної часу ВКТ від його терміну експлуатації буде мати вид, що приведений на (рис. 2.29), і може бути описана рівнянням:

$$\tau_{ек}(t) = 78 + 49 \cdot t^{0,84} - 0,6 \cdot \left( \frac{t}{0,81} \right)^{1,67} . \quad (2.18)$$

Вплив тривалості експлуатації ВКТ необхідно враховувати при усуненні нестационарності вихідного сигналу ВКТ. На (рис. 2.25) приведено вихідні сигнали двох взаємодублюємих датчиків з різним терміном роботи (1 та 10 років) одного і того ж ВКТ. Вони мають відмінності як по амплітуді і за частотними складовими. Це пояснюється різними постійними часу цих датчиків, які змінилися внаслідок тривалої експлуатації.

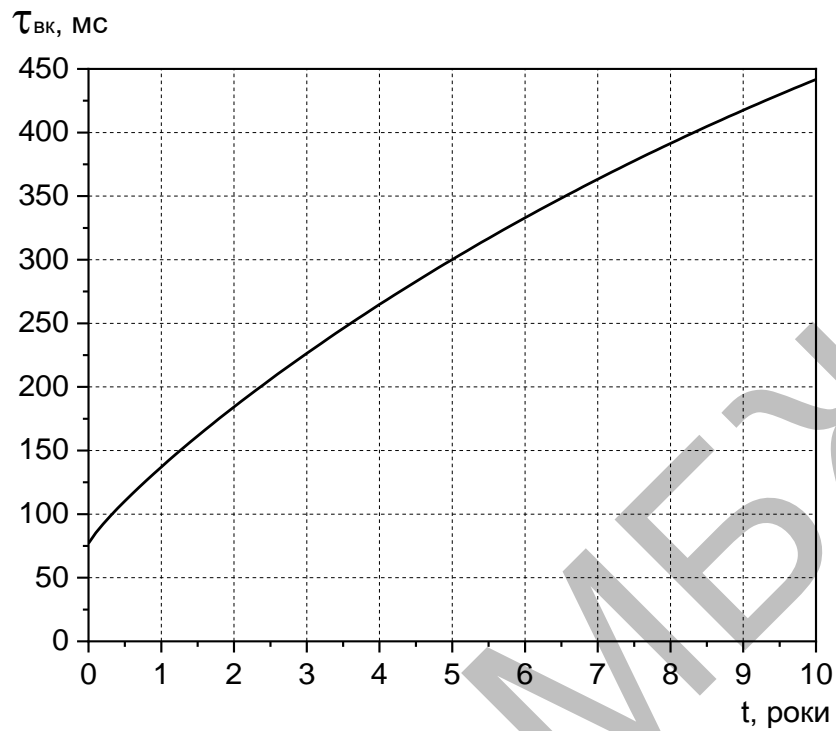


Рисунок 2.29 – Залежність постійної часу  $\tau_{ВКТ}$  ВКТ від тривалість експлуатації вимірювальної лінії

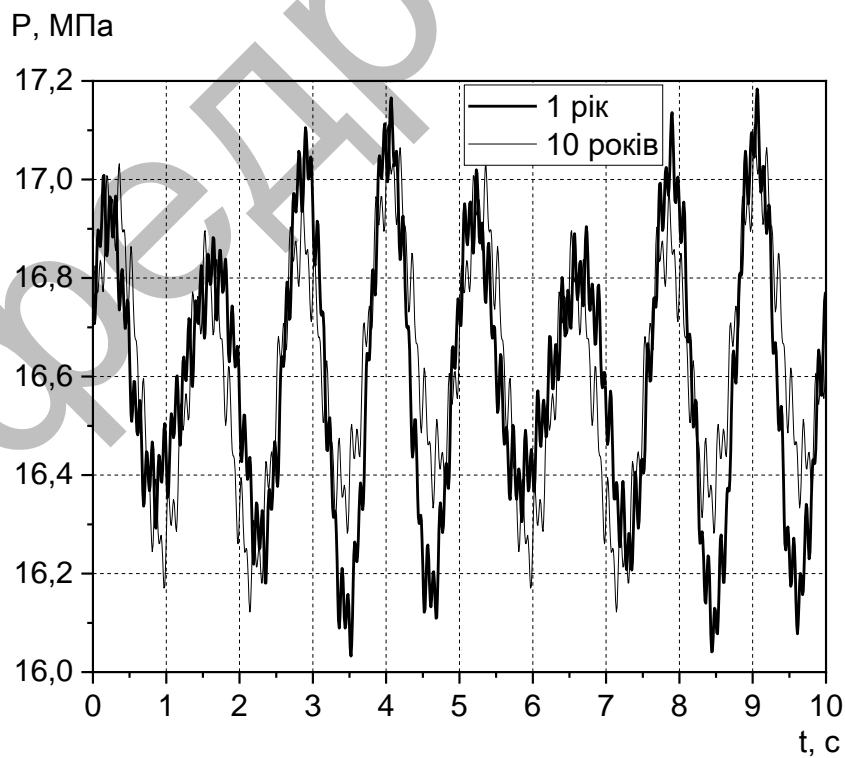


Рисунок 2.30 – Вихідні сигнали ВКТ з двох взаємодублюємих датчиків тиску з терміном роботи 1 та 10 років

На (рис 2.31) зображено вихідні сигнали ВКТ з датчиком з 10 річним терміном експлуатації після усунення нестаціонарності адаптивними цифровими фільтрами (ЦФ) ЦФ1 та ЦФ2. На виході ЦФ1 ( $\tau_{цф} = 10$  мс) зменшуються як флуктуації сигналу, так і його тренд і зберігається при цьому інформативність сигналу. ЦФ2 ( $\tau_{цф} = 80$  мс), більш інерційний. Він досить сильно згладжує сигнал і тренд не усувається. Це свідчить про те, що при виборі постійної часу ЦФ необхідно враховувати постійну часу ВКТ, яка змінюється унаслідок тривалість експлуатації.

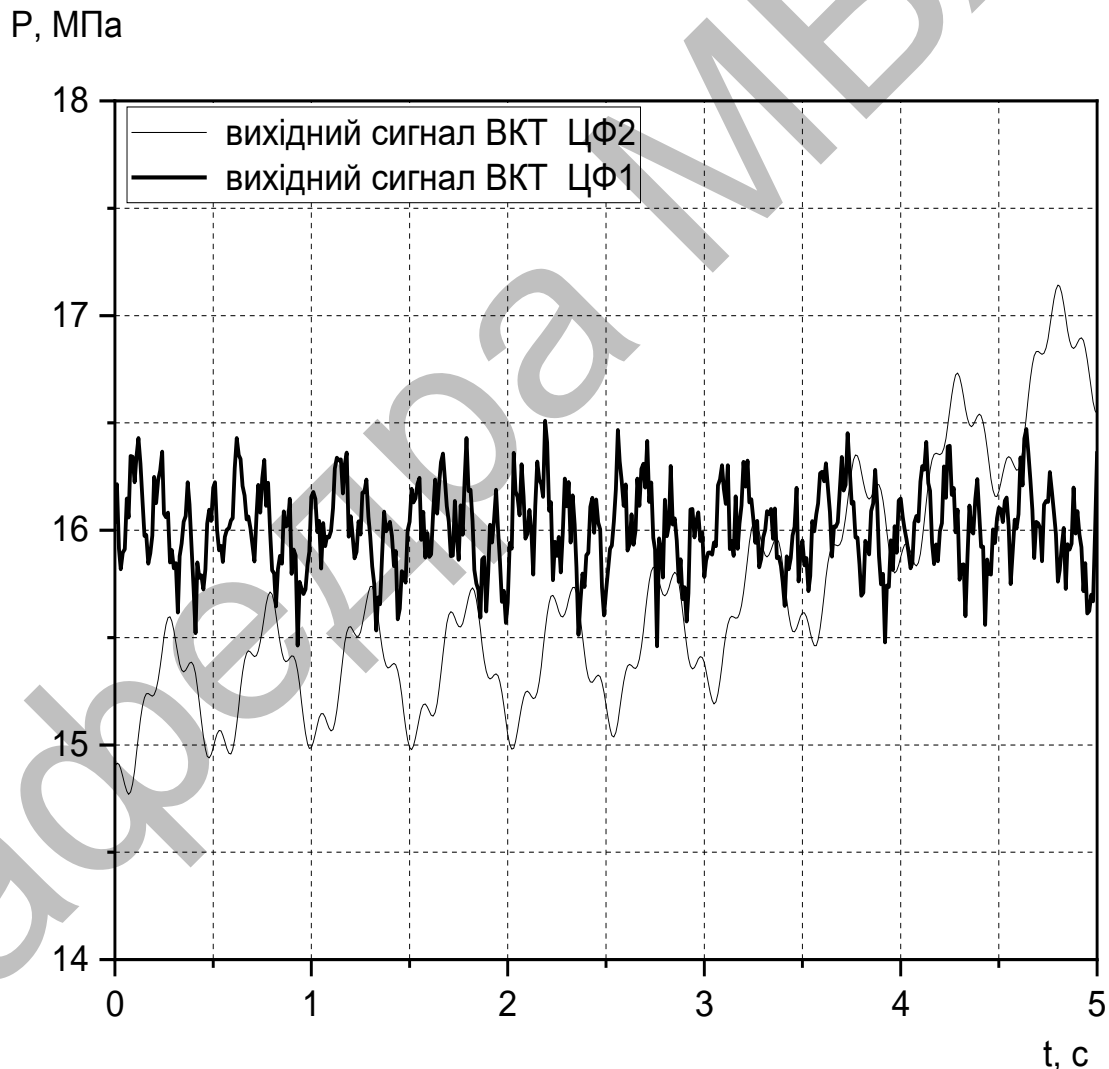


Рисунок 2.31 – Вихідні квазістаціонарні сигнали ВКТ на виході ЦФ1 з  $\tau_{цф} = 10$  мс, та ЦФ2 з  $\tau_{цф} = 80$  мс

## 2.5 Висновки до розділу

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень встановлено:

- тривалість експлуатації вимірювальної лінії в більшій мірі впливає на ДХ ВКТ, ніж тривалість експлуатації датчика тиску;

- не всі чинники тривалість експлуатації вимірювальної лінії можуть бути усунені повністю в процесі її експлуатації і їх вплив може зростати від року до року;

- тривалість експлуатації ВКТ носить комплексний характер, тому для визначення його ДХ необхідно підходити з позицій системного аналізу.



### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТИСКУ

Вдосконалені методи визначення ДХ ВКТ з використанням стенду дослідження вимірювального каналу тиску є прийнятними при умові виконання низки вимог до умов їх застосування. Такі вимоги повинні бути обґрунтованими для конкретних практичних ситуацій, що ставить нові завдання перед метрологічним забезпеченням вдосконалених методів визначення ДХ вимірювальних каналів тиску на ТСО, але воно на цей час практично відсутнє. Звідси виникає завдання розробки основних положень метрологічного забезпечення (МЗ) ВКТ при визначенні ДХ ВКТ на ТСО.

Основним завданням є досягнення єдності і точності вимірювань. Вдосконалені в роботі методи носять загальний характер і не відносяться тільки до конкретного ТСО. Для порівняння метрологічних характеристик методів необхідно мати відповідні еталони, зокрема, еталон ВКТ. Однак, вимірювальний канал тиску на ТСО є по суті унікальним об'єктом і створити для нього еталон важко і економічно недоцільно. Існує можливість створення еталонів окремих елементів ВКТ, зокрема, датчика тиску. Якщо вимірювальна лінія повністю заповнена водою і не має ніяких неоднорідностей, які описані раніше, то можна вважати, що близьким до еталону ВКТ з точки зору ДХ є еталон датчика тиску. У цьому випадку постійна часу ВКТ визначається практично постійною часу датчика, бо в зазначеному випадку вимірювальна лінія є безінерційною. Оскільки сутність розроблених в роботі методів є справедливою не тільки для вимірювальної лінії та датчика тиску, а і для всього вимірювального каналу, то можна сподіватись, що метрологічні характеристики ВКТ можна визначити аналогічно [12–15]. З іншого боку,

може виявитись, що динамічні характеристики датчика, що взятий окремо, і його ж ДХ, але у складі вимірювального каналу, не завжди співпадають. Ось чому виникає необхідність визначення ДХ як всього ВКТ, так і його складових.

На цей час в існуючих ТСО на спеціалізованих стендах визначаються тільки статичні характеристики датчиків тиску, регулювання яких не приводить до зміни ДХ. Аналіз законодавчої бази з метрологічного забезпечення свідчить, що державні стандарти та інші документи державної системи забезпечення єдності вимірювань при визначенні ДХ ВКТ не розроблені, а нові експлуатаційні вимоги вже їх потребують. В цих умовах важливими завданнями є нормування і визначення динамічних характеристик ВКТ та оцінювання похибок визначення ДХ ВКТ.

Дані, що характеризують шум, аналізуються в частотному і (або) часовому діапазонах. Для аналізу даних у частотному діапазоні спочатку за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (або алгоритму, йому еквівалентному) отримують спектральну щільність потужності (СЩП) сигналу шуму. Потім для цієї СЩП підбирають математичну модель системи вимірювання тиску, використовуючи яку і визначають час реакції системи. Графіки СЩП для датчиків тиску, застосовуваних на техногенно-небезпечних об'єктах, приймають різні форми, що залежить від того, яким чином встановлений і обслуговується датчик, від технологічного режиму і від інших умов. Для аналізу в часовому діапазоні, дані шуму обробляють за допомогою одновимірної програми авторегресивного моделювання, в результаті чого отримують реакцію на імпульс тиску (тобто, реакцію на короткочасний стрибок тиску) і реакцію на ступеневу зміна тиску, з яких розраховується час реакції системи тиску. Зазвичай дані шуму аналізують як в частотному, так і в часовому діапазонах, і результати усереднюють, щоб отримати час реакції

системи. На рис. 3.1 представлений графік СЩП для датчика тиску системи охолодження другого контуру Хмельницької АЕС.

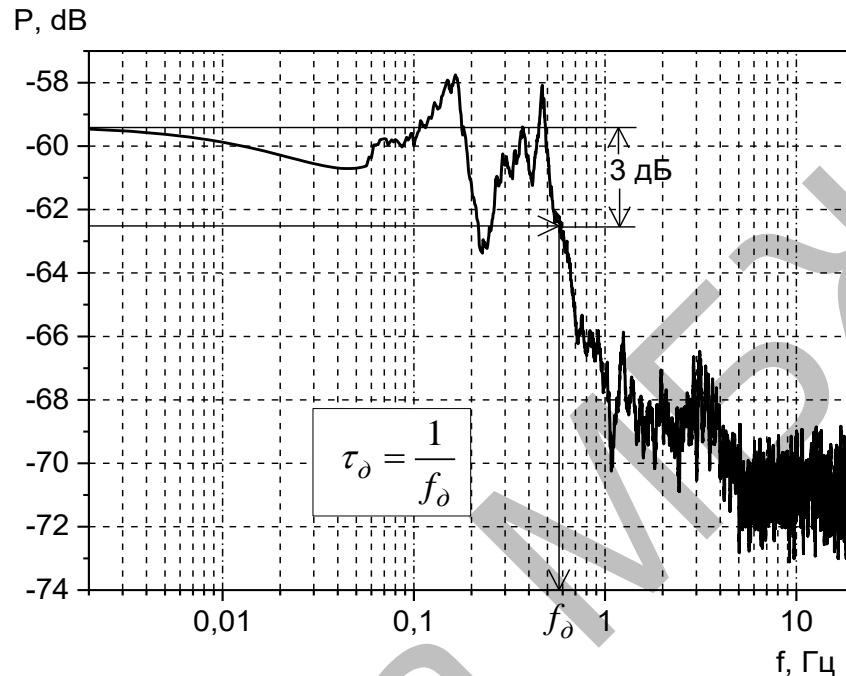


Рисунок 3.1- – Приклад СЩП для датчика тиску

### 3.1 Дослідження методу online вимірювань для контролю метрологічних характеристик датчиків тиску

Для вимірювання кожного технологічного параметра на АЕС використовують звичайно від двох до чотирьох датчиків [16–26]. Таке взаємодублювання датчиків покращує працездатність АЕС і дозволяє уникнути виникнення проблем з її експлуатацією або безпекою при виході з ладу одиночного датчика. Хоча дублювання приладів використовується в конструкції АЕС головним чином для підвищення безпеки й працездатності станцій, в останні роки в атомній енергетиці це дублювання використовується і для інших цілей, таких як перевірка калібрування технологічних приладів. Для датчиків тиску, що не мають дублювання, моніторинг у режимі online застосовується для визначення дрейфу калібрування. У цьому методі сигнали

на виході датчиків усереднюються, або моделюються. На рис. 3.2 показані дані моніторингу в режимі online, отримані від чотирьох датчиків у парогенераторі АЕС.

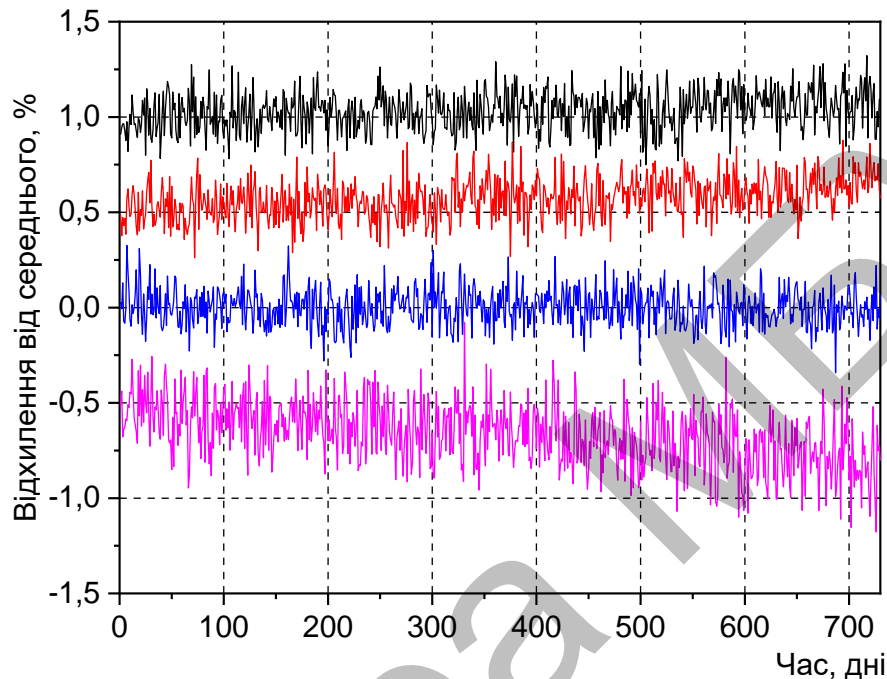


Рисунок 3.2- – Моніторинг у режимі online сигналів чотирьох взаємодублюємих датчиків САФІР-2171

Кожний графік являє собою відхилення сигналу відповідного датчика від усередненого значення сигналів усіх чотирьох датчиків. Представлені дані охоплюють період часу у два роки, що відповідає повній тривалості міжциклового технічного обслуговування реактора. Із представлених даних випливає, що ці датчики не зазнають калібровочного дрейфу, і тому їх не треба піддавати повторному калібруванню. Цей приклад ілюструє принцип моніторингу калібрування приладів технологічного контролю в режимі online на АЕС. Дані рис. 3.2 стосуються перевірки калібрування чотирьох датчиків в одній точці калібровочної кривої. Щоб перевірити калібрування датчика в більш широкому діапазоні значень, дані online моніторингу реєструють не

тільки під час експлуатації станції, але й під час періодів пуску й зупинки [5,6,7].

На рис. 3.3 показані результати моніторингу в режимі online для датчика тиску у вигляді функції його робочого діапазону. Видно, що дрейф калібрування датчика не перевищує 0,5% від його діапазону при роботі в області від 7,5% до 70% робочого діапазону.

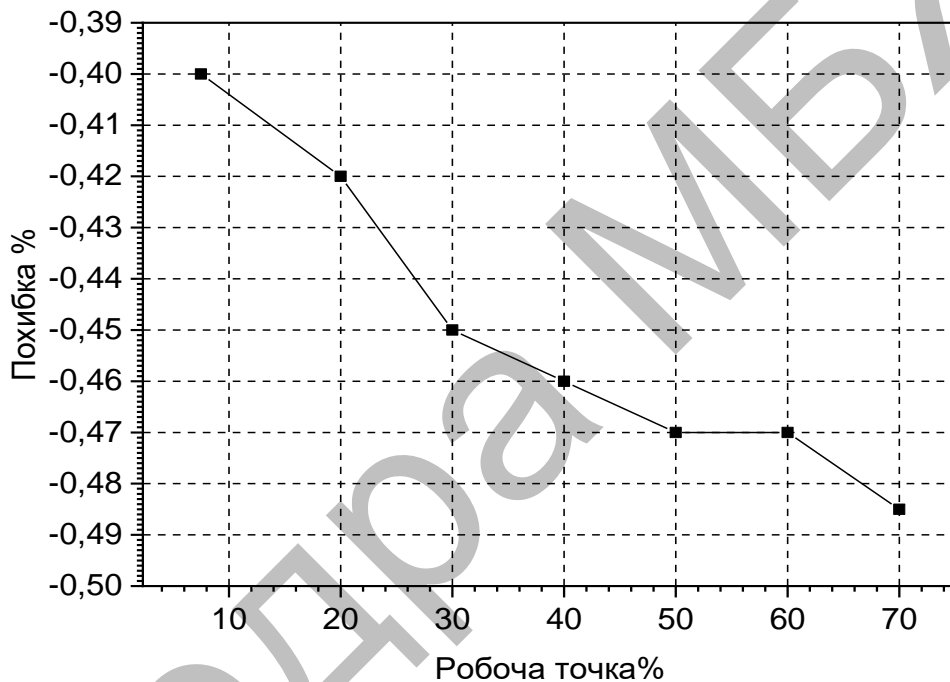


Рисунок 3.3 – Результати перевірки калібрування датчика тиску САФІР-2171 в широкому діапазоні

### 3.2 Online діагностика старіння датчиків тиску

Уповільнення реакції датчиків тиску на техногенно-небезпечних об'єктах з часом безсумнівно є, але дана проблема не настільки серйозна. І навпаки, дрейф калібрування становить для датчиків тиску більше неприємностей, ніж для ТДС. На рис. 3.4 представлені підсумкові результати досліджень впливу старіння датчиків на калібрування і на час реакції ряду

датчиків тиску ядерного класу. Ясно, що негативний вплив старіння позначається сильніше на калібруванні датчиків тиску, ніж на їх часу реакції.

В таблиці 3.1 представлені результати визначення часу реакції методом аналізу шумів для 16 датчиків протягом п'яти років.

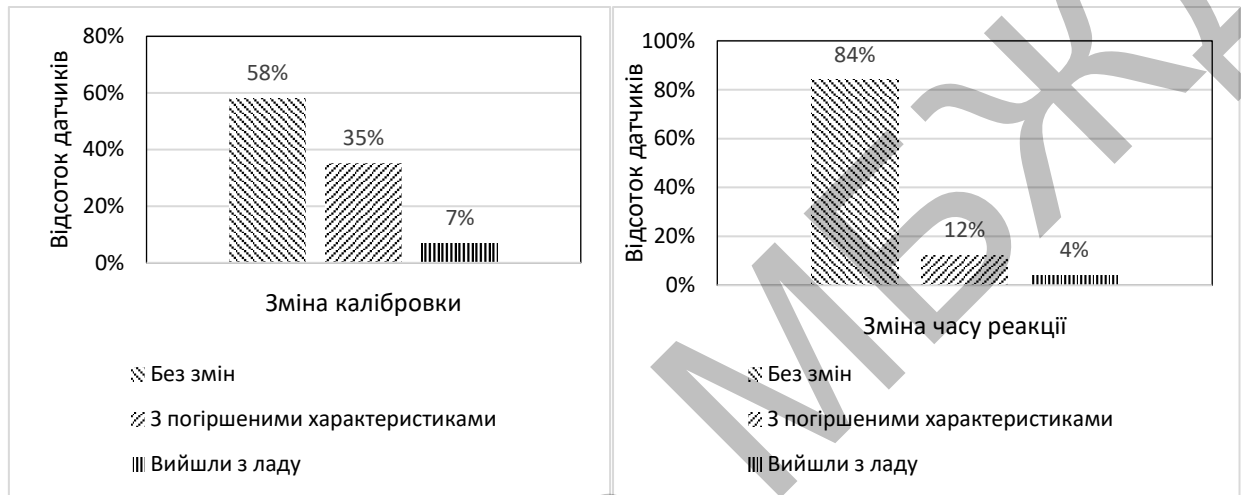


Рисунок 3.4 – Результати дослідження впливу штучного старіння датчиків тиску АЕС на їх характеристики

Таблиця 3.1 – Типові результати аналізу тенденцій у ставленні часу реакції групи датчиків тиску, застосовуваних на АЕС

Номер датчика	Первісне значення	18 місяців тому	36 місяців тому	48 місяці тому	64 місяці тому
АЕ-ЛТ-0011А	0,36	0,46	0,43	0,44	0,44
АЕ-ЛТ-0012А	0,38	0,42	0,43	0,43	0,43
АЕ-ЛТ-0013А	0,45	0,43	0,45	0,47	0,41
АЕ-ЛТ-0014А	0,43	0,41	0,44	0,47	0,43
АЕ-ЛТ-0021А	0,41	0,45	0,43	0,43	0,42
АЕ-ЛТ-0022А	0,39	0,42	0,42	0,43	0,42
АЕ-ЛТ-0023А	0,44	0,49	0,47	0,46	0,43
АЕ-ЛТ-0024А	0,46	0,48	0,44	0,66	0,41
АЕ-ЛТ-0031А	0,39	0,42	0,41	0,41	0,40
АЕ-ЛТ-0032А	0,43	0,46	0,44	0,48	0,42

Продовження таблиці 3.1

AE-LT-0033A	0,45	0,48	0,44	0,46	0,44
AE-LT-0034A	0,45	0,47	0,42	0,45	0,41
AE-LT-0041A	0,38	0,44	0,40	0,41	0,44
AE-LT-0042A	0,44	0,42	0,43	0,45	0,41

Погіршення часу реакції приблизно на 30 % після 36 місяців роботи було відзначено лише для одного датчика і згодом було виявлено, що це погіршення було викликано не датчиком, а закупоркою вимірювальної лінії. Ці дані узгоджуються з досвідом, накопиченим в атомній промисловості, який свідчить про те, що погіршення часу реакції датчиків тиску пов'язане частіше з закупорками вимірювальних ліній, ніж з погіршенням властивостей самого датчика.

### 3.3 Оцінка невизначеності вимірювань тиску багатопараметричною комп'ютеризованою вимірювальною системою

Датчики тиску, які застосовуються на ТСО є цифровим. Кожний його канал обслуговується 16 розрядним АЦП. Таким чином ми маємо рівноточні вимірювання. Оскільки вимірювання тиску в кожному каналі датчика проводяться в межах від 10 МПа до 80 МПа, то ціна найменшого розряду (розрізнявальна здатність АЦП) становить  $70 / 2^{16} = 70 / 65536 \approx 0,0011$  МПа. А це означає, що потенційна невизначеність будь якого каналу (при відсутності шумів) становить:

$$u_B = \frac{q}{2\sqrt{3}} = \frac{0,0011}{3,464} = 0,00032 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Але при наявності внутрішніх шумів:

$$u_{BX} = \frac{q}{2\sqrt{3}} = \frac{0,11}{3,464} = 0,032 \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

Таким чином аналіз результатів досліджень показав, що реальна невизначеність вимірювань тиску в статичному режимі в різних умовах буде різною і майже в 100 разів буде перевищувати теоретичну потенційну невизначеність. А це потребує використання додаткових методів щодо її зменшення. В процесі виконання роботи було досліджено два методи зменшення невизначеності в статичному режимі роботи датчика: цифрова низькочастотна фільтрація ФНЧ з  $f_{зр} = 15 \text{ Гц}$  та згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків.

### 3.4 Висновки до розділу

Аналіз отриманих експериментальним шляхом результатів використання методів цифрової низькочастотної фільтрації та згладжування ковзаючим вікном для зменшення невизначеності вимірювань тиску датчика САФІР-2171 показав:

1. Використання цифрового фільтра з частотою зрізу в 15 Гц дозволяє зменшити невизначеність вимірювань у всіх каналах в 3 рази, що є недостатнім. Разом з тим слід відмітити відносну складність реалізації фільтра в мікроконтролерних системах.
2. Використання методу згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків (що є досить припустимим щодо необхідного розміру оперативної пам'яті мікроконтролерної системи) дозволило зменшити невизначеність вимірювань в 12 раз.
3. Слід відмітити також вирівнюючу здатність методу згладжування ковзаючим вікном. З його використанням досягнута невизначеність вимірювань по



каналах  $P = 0,022$  МПа, при вхідній невизначеності  $P_{BX} = 1,5$  МПа.

- При проведенні вимірювань в динамічному режимі необхідно проводити калібрування та зменшення шумів датчиків модуля всієї вимірювальної системи з використання всіх 4 датчиків САФІР-217.

Кафедра МБЖД

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Дана дипломна робота розглядає систему передачі інформації від різного виду датчиків, які фіксують температуру, відносну вологість, атмосферний тиск на екран комп'ютеру. Оператором детально обґрунтовуються значення цих параметрів.

Розглянемо охорону праці при роботі з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) на основі електронно-променевих трубок (ЕПТ), що використовуються в електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ) колективного використання та персональних ЕОМ (ПЕОМ).

Правовою основою законодавства по охороні праці є:

- Конституція України;
- Закони України: «Про охорону праці»;
- Кодекс Законів про працю України (Кзот) і ін.

Конституція України (прийнята Верховною Радою України в 1996 р.).

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.

Закон України “Про охорону праці”.

В Україні – першої 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

Кодекс законів про працю України (КЗоТ) 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.

В Україні державні нормативні акти про охорону праці (укр. 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

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.

#### 4.1 Виробнича санітарія

Метеорологічні умови виробничого середовища визначаються поєднанням рядові факторів: температурою, відносною вологістю і швидкістю рухові повітря. Від стану повітряного середовища залежати 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.

Робота користувача КІТ відноситься до категорії робіт 1а, 1б категоріям. 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:

озону -  $0.1 \text{ мг/ м}^3$  ;

оксидів азоту -  $5 \text{ мг/ м}^2$ ;

пилу -  $4 \text{ мг/ м}^2$ .

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

#### 4.2 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 300-500 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 більш 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:

— 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>;

— необхідно обмежувати відбиті прямі відблиски шляхом вибору типів світильників і розміщенням робочих місць щодо джерел природного і штучного освітлення. Яскравість відблисків на екрані відеотерміналу 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>;

— 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;

— 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;

— необхідно очищати шибку і світильники не рідше чим 2 рази в рік і вчасно проводити заміну перегорілих ламп.

#### 4.3 Вимоги до рівнів шуму

Рівень шуму не повинен перевищувати:

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

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

— 55 дБА – при виконанні висококваліфікованої розумової роботи, що вимагає зосередженості;

— 65 дБА – 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 незгораючи або спеціальні перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот 31,5-8000 Гц або інші матеріали аналогічного призначення. Крім того, необхідно застосовувати підвісні стелі з аналогічними властивостями.

#### 4.4 Техніка безпеки

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

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 трьохпровідна 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 звичайного двупровідної електромережі, у тому числі з використанням перехідних пристосувань.

У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більш п'яти ПЕВМ, на видному і доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, що може цілком відключити електроживлення приміщення, крім освітлення.



Електромережа для живлення ПЕВМ, 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 електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів і меблів. Нарощувати проводу можна тільки шляхом пайки з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Нульовий захисний провідник використовується для занулення електроприемників. 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 по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному ланцюзі.

Штепсельні з'єднання і електророзетки на напругу 12 В и 36 В по своїй конструкції повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань на напругу 127 В и 220 В.

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

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 відеотерміналу від пилу й інших забруднень. Під час виконання робіт необхідно дотримуватися режимів праці і відпочинку. Після закінчення роботи відеотермінал і персональна ЕОМ повинні бути відключені від електричної мережі. У випадку виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити відеотермінал 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:

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

#### 4.5 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 по вибухопожежній небезпеці. 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 пристрою 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 однотипних 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 оповіщувачами і переносними углекислотними вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з обліком гранично припустимих концентрацій вогнегасної речовини.

#### 4.6 Висновки до розділу

В результаті вивчення робочих місць в дослідницькій лабораторії виявлені небезпечні, шкідливі фактори та приведені міри по їх усуненню. Це значно підвищить безпечну експлуатацію обладнання та устаткування. Прийняті міри дозволять покращити умови праці на робочих місцях, попередити травмуватизм при виконанні досліджень.

## ВИСНОВКИ

Динамічні характеристики мають важливе значення для оцінки працездатності вимірювального каналу тиску. Існуючі методи їх визначення мають обмеження і не враховують в повній мірі тривалість експлуатації елементів каналу. Тому основним напрямом дипломної роботи є визначення динамічних та статичних характеристик датчиків тиску в процесі їх тривалої експлуатації.

За результатами досліджень вихідного сигналу датчика тиску, його статичних та динамічних характеристик і впливу його тривалість експлуатації на динамічні характеристики встановлено:

- вимірювальна лінія тиску є лінійною і без інерційною тільки за відсутності в ній повітря, витоків та запорів;
- внаслідок тривалість експлуатації в процесі експлуатації вимірювальних ліній та датчиків тиску суттєво змінюються динамічні характеристики вимірювального каналу тиску;
- внаслідок тривалість експлуатації датчика виникає дрейф відносної похибки вимірювань тиску, який протягом 10 років експлуатації може перевищити межі відносної похибки вимірювань.

Датчик тиску є лінійною інерційною ланкою. Такою ж ланкою є нова справна вимірювальна лінія, яка в окремих випадках може бути практично без інерційною.

Аналіз результатів досліджень показав, що реальна невизначеність вимірювань тиску в статичному режимі в різних умовах буде різною і майже в 100 разів буде перевищувати теоретичну потенційну невизначеність. А це потребує використання додаткових методів щодо її зменшення.

В процесі виконання магістерської роботи було досліджено два методи зменшення невизначеності в статичному режимі роботи датчика: цифрова низькочастотна фільтрація ФНЧ з  $f_{зр} = 15 \text{ Гц}$  та згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків.

Аналіз отриманих експериментальним шляхом результатів використання методів цифрової низькочастотної фільтрації та згладжування ковзаючим вікном для зменшення невизначеності вимірювань тиску датчика САФІР-2171 показав:

1. Використання цифрового фільтра з частотою зрізу в 15 Гц дозволяє зменшити невизначеність вимірювань у всіх каналах в 3 рази, що є недостатнім. Разом з тим слід відмітити відносну складність реалізації фільтра в мікроконтролерних системах.

2. Використання методу згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків (що є досить припустимим щодо необхідного розміру оперативної пам'яті мікроконтролерної системи) дозволило зменшити невизначеність вимірювань в 12 раз.

3. Слід відмітити також вирівнюючу здатність методу згладжування ковзаючим вікном. З його використанням досягнута невизначеність вимірювань по каналах  $P = 0,022$  МПа, при вхідній невизначеності  $P_{BX} = 1,5$  МПа.

Таким чином, в результаті проведених досліджень мета роботи досягнута, а завдання на магістерську роботу виконано у повному обсязі.

Результати досліджень доцільно використовувати при проектуванні, випробуваннях і експлуатації вимірювальних каналів тиску; для поглибленого аналізу протікаючих процесів у вимірювальних каналах тиску; у вищих навчальних закладах – при підготовці фахівців за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

## 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. Хашемиан Х. М. Датчики технологических процессов: характеристики и методы повышения надежности. Москва. 2008. 336 с.
8. Хашемиан Х. М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях. Москва. 2012. 350 с.
9. Коваль А. О., Полярус О. В. Вплив "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 6. С. 123– 126.
10. 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.

11. 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.

12. Чалый В. П. Неопределенность и погрешность, их сходство, различие и употребление в разных метрологических процедурах. *Збірник наукових праць ХПІ. Системи обробки інформації. Невизначеність вимірювання: наукові, нормативні та прикладні аспекти*. Харків, 2006. №7. С. 82–86.

13. Про метрологію та метрологічну діяльність  
URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-%D0%B2%D1%80>  
(дата звернення: 15.10.2022)

14. ДСТУ–Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування "Руководства по выражению неопределенности измерений" (РМГ 43:2001, IDT). [Чинний від 2012-02-12]. Вид. офіц. Київ, 2012. 18 с. (Інформація та документація).

15. 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>.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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>.

20. Бугаков И. А. Метод динамических измерений параметров экстремальных воздействий. *Датчики и системы*. Москва. 2001. №10. С. 6–11.

21. Иосифов Д. Ю., Шестаков А. Л. Динамические измерительные системы с измеряемым вектором параметров состояния датчиков: учебник. Москва : Приборостроение, 2002. 198 с.3.

22. Хашемиан Х. М. Датчики технологических процессов: характеристики и методы повышения надежности. Москва. 2008. 336 с.

23. Хашемиан Х. М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях. Москва. 2012. 350 с.

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

25. 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.

26. 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.

Кафедра МЕЖД

ДОДАТОК А  
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 ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М. В. Москаленко

Керівник, канд. техн. наук, доц.



А. О. Коваль

Студентка гр. ММ-61-21



Г. Р. Овсієнко

м. Харків - 2022

## МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження – процес вимірювання тиску в багатопараметричних вимірювальних інформаційних системах.

Мета роботи – дослідження методів зменшення динамічних похибок вимірювань в багатопараметричних вимірювальних інформаційних системах.

Методи дослідження – системного аналізу, математичного моделювання та експериментальних досліджень, теорії ймовірності і випадкових процесів, математичної статистики і теорії похибок вимірювань.

Предмет дослідження – динамічні характеристики датчиків високого тиску. В магістерській роботі проведені дослідження методів визначення динамічних характеристик вимірювальних ліній та датчиків високого тиску. Плинні динамічні характеристики датчика тиску визначаються з врахуванням його терміну експлуатації.

## СТРУКТУРНА СХЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ТИСКУ

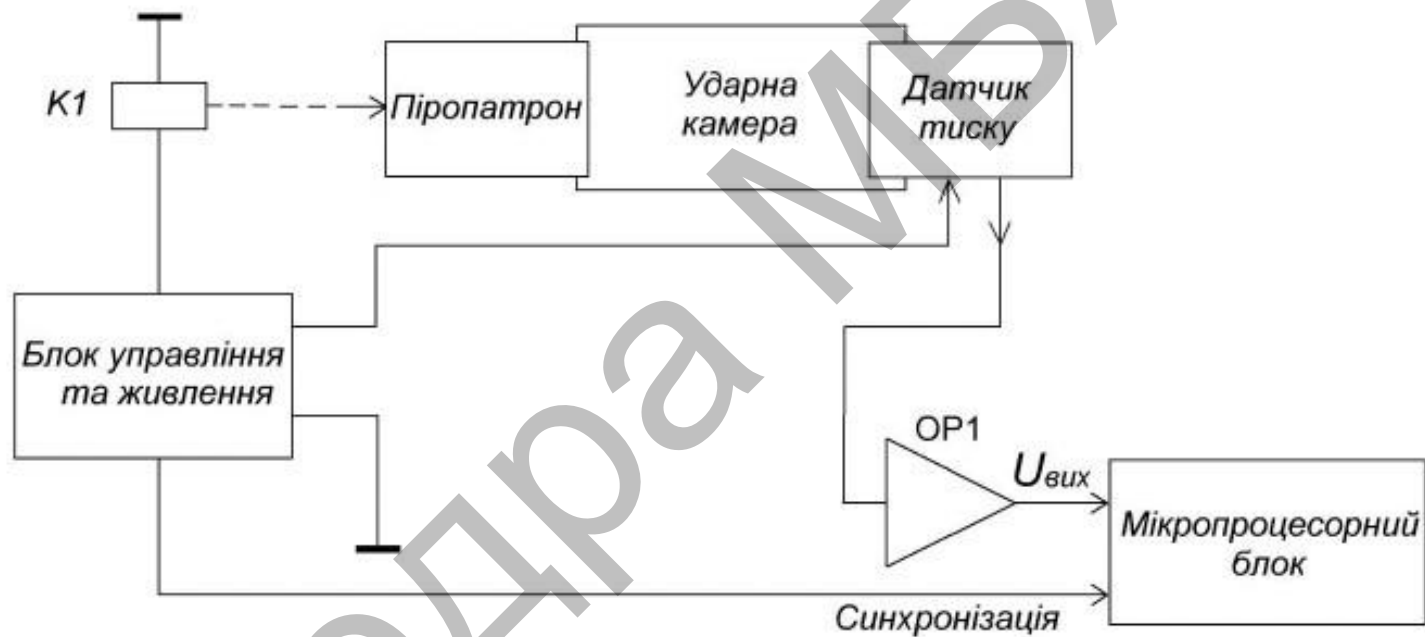


Рисунок 1 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик датчика тиску

## СТРУКТУРНА СХЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

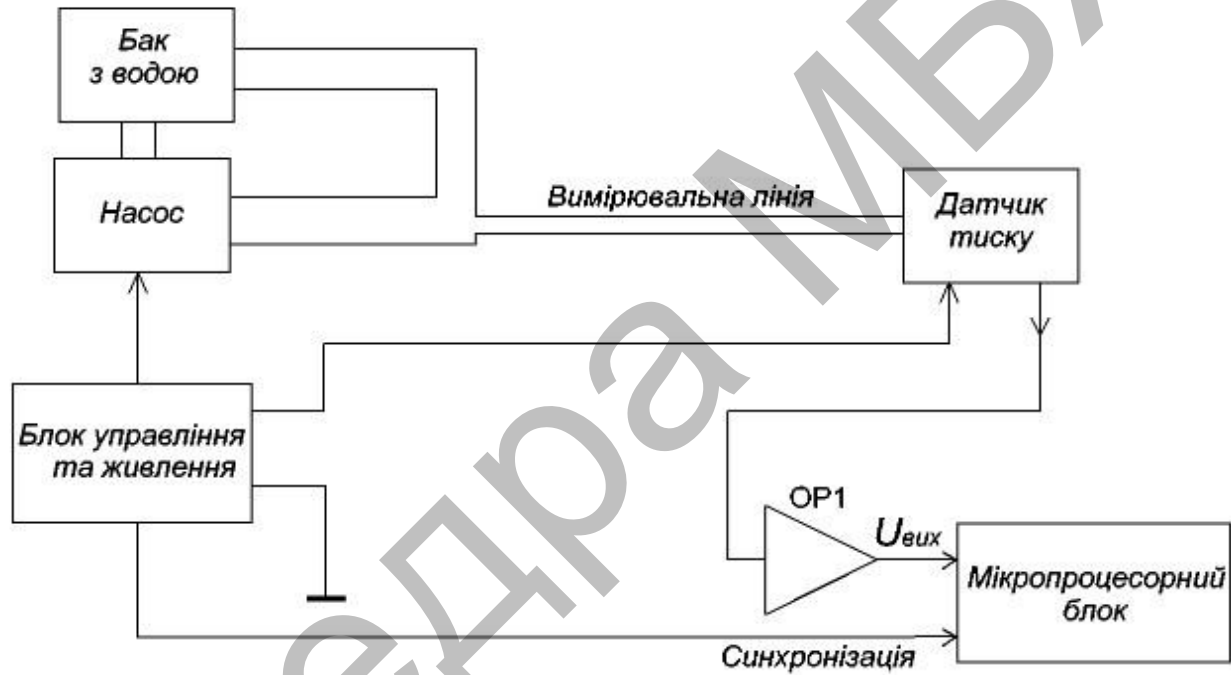
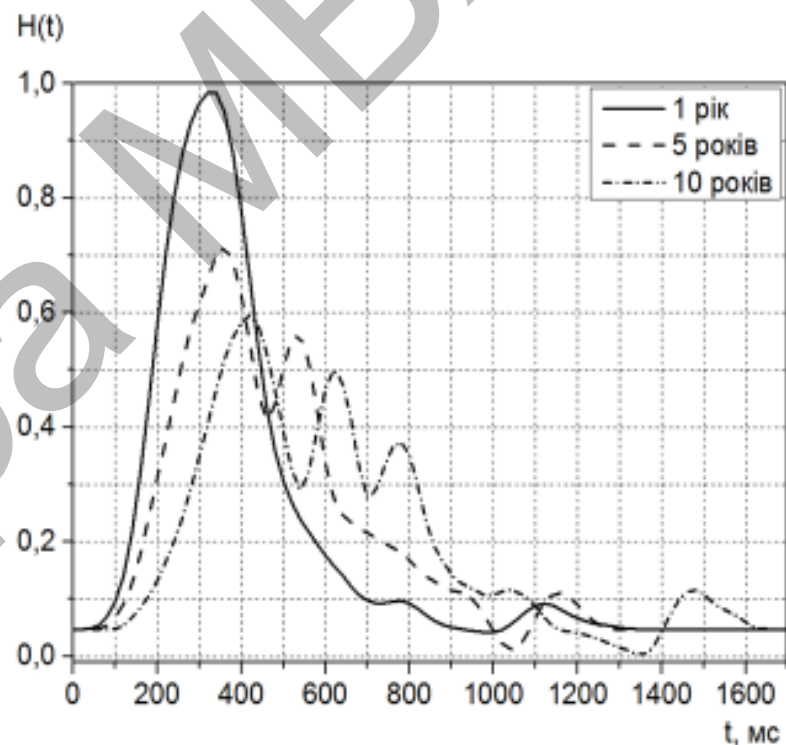
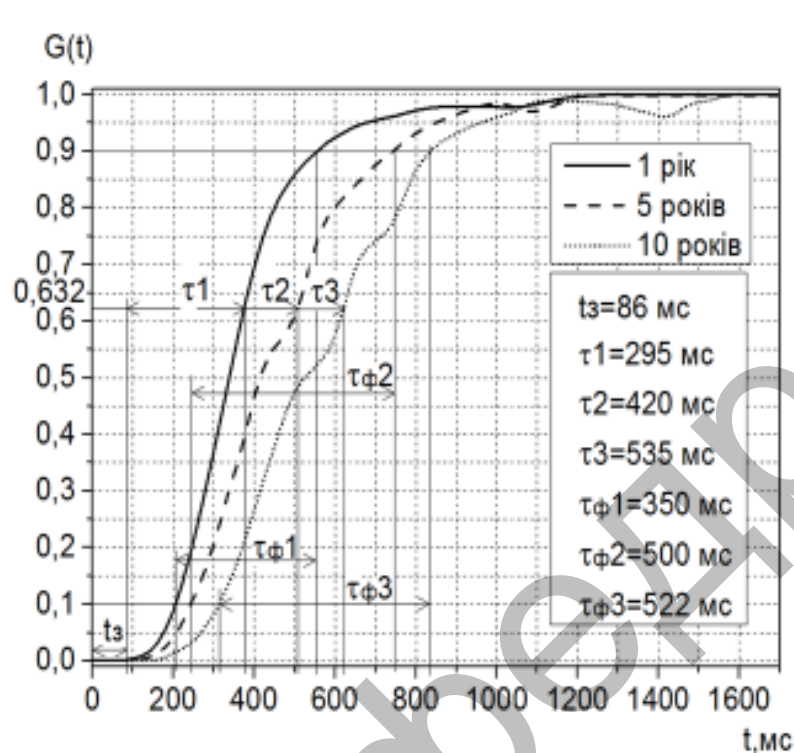


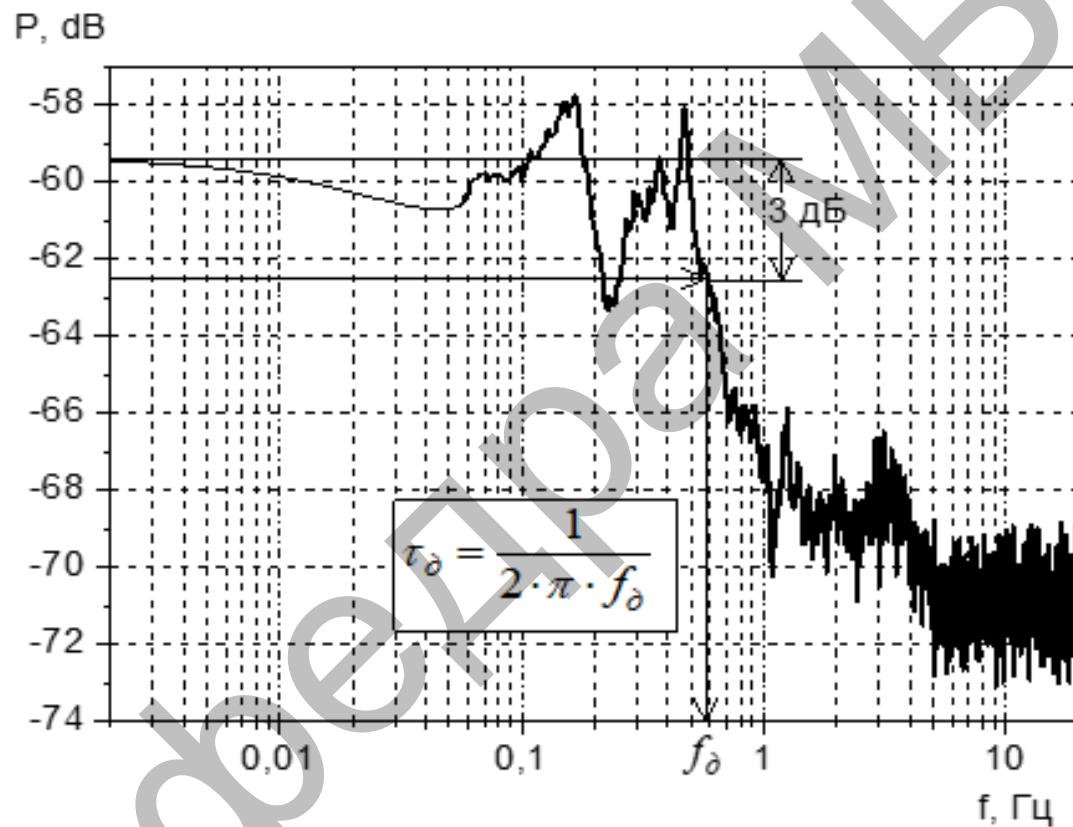
Рисунок 2 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик вимірювального каналу

# ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА ТИСКУ САФІР-2171





# ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ДАТЧИКА ТИСКУ МЕТОДОМ ШУМІВ



## ВПЛИВ НАЯВНОСТІ ПОВІТРЯ В КАНАЛІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ЙОГО ПОСТІЙНУ ЧАСУ

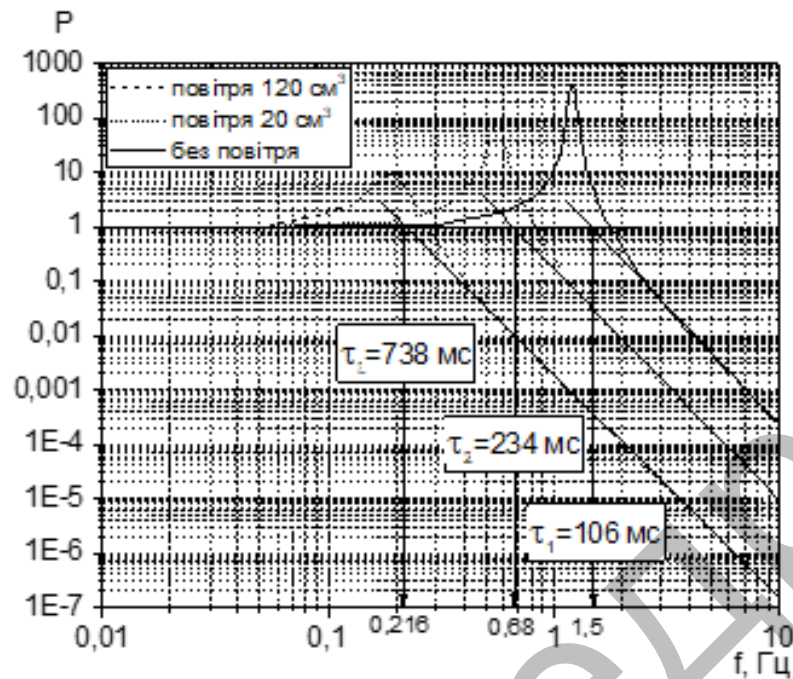


Рисунок 3 – Графіки спектральної щільності потоку вихідного сигналу при наявності повітря в каналі вимірювання тиску

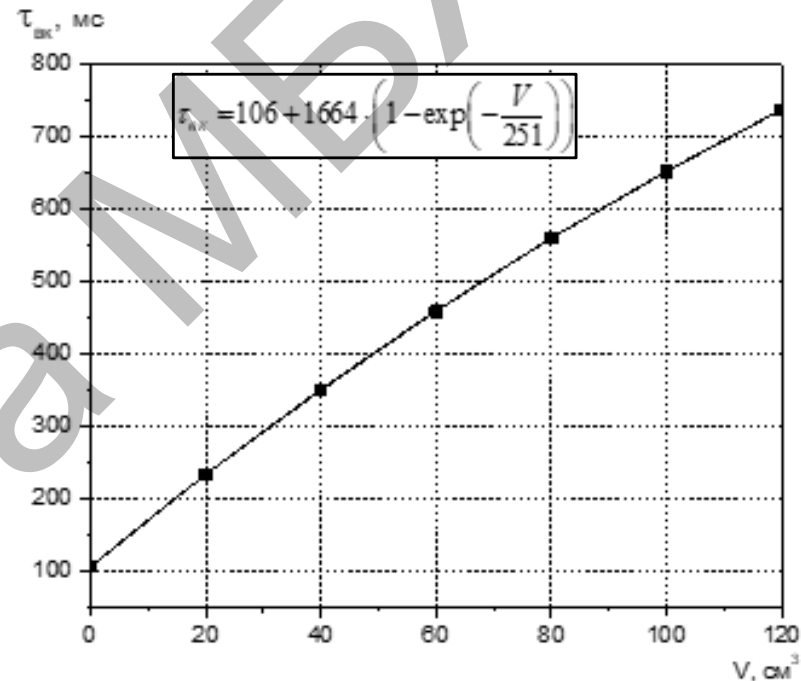


Рисунок 4 – Залежність постійної часу ВКТ від об'єму повітря у вимірювальній лінії

## ВПЛИВ ЗАКУПОРОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ЙОГО ПОСТІЙНУ ЧАСУ

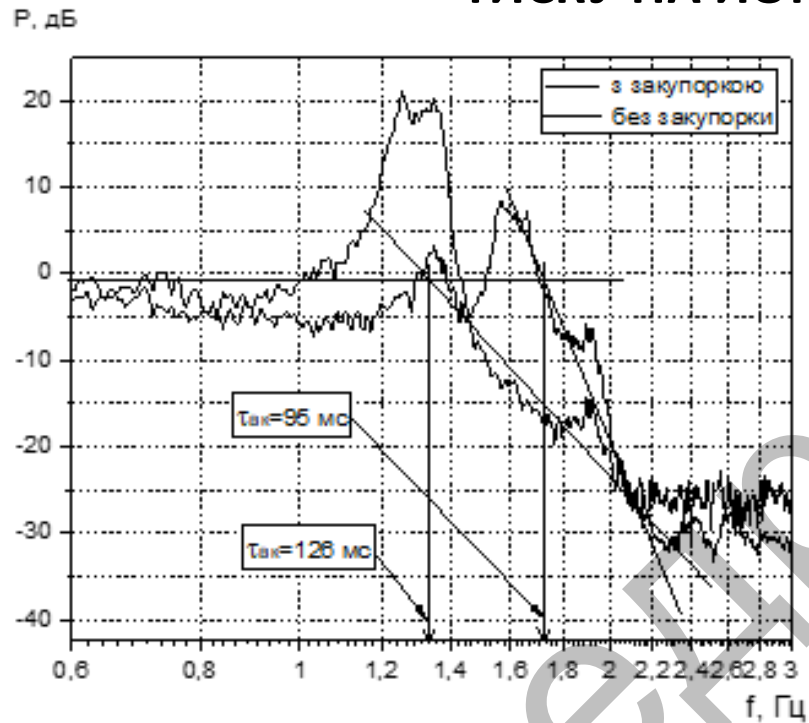


Рисунок 5 – Спектр вихідного сигналу каналу вимірювання тиску при наявності та при відсутності закупорок у вимірювальній лінії

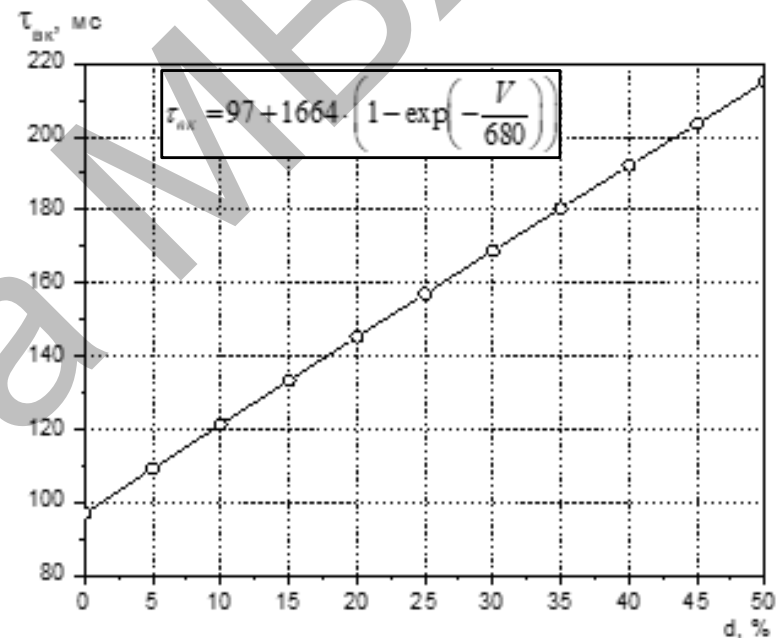


Рисунок 6 – Залежність постійної часу ВКТ від відносної закупорки вимірювальної лінії

## ВПЛИВ ВИТОКІВ В ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ЙОГО ПОСТІЙНУ ЧАСУ

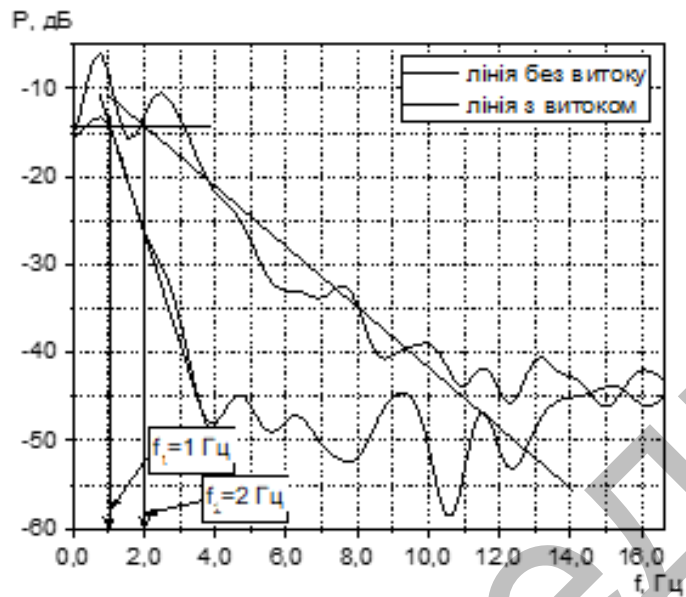


Рисунок 7 – Спектр сигналу на виході каналу тиску при відсутності і наявності витоків в вимірювальній лінії

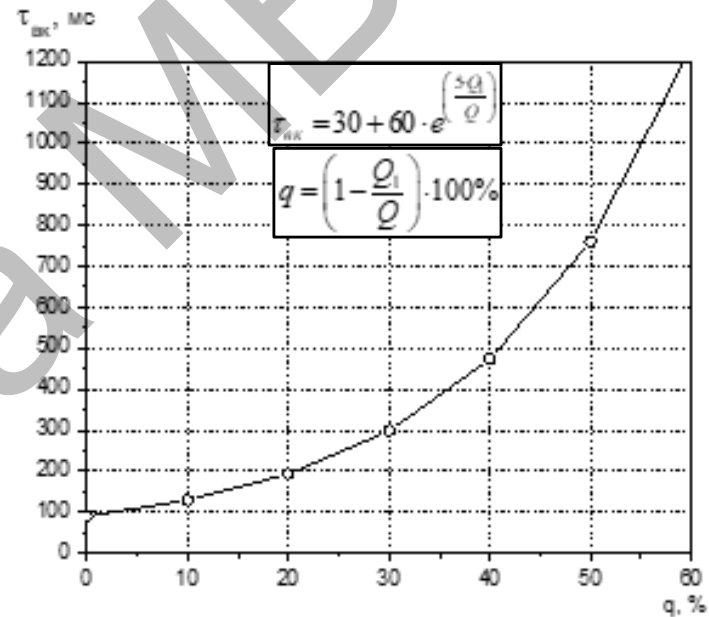


Рисунок 8 – Залежність постійної часу ВКТ від відносного витоків рідини в вимірювальній лінії

## МОНІТОРИНГ ДАТЧИКІВ ТИСКУ В РЕЖИМІ ONLINE

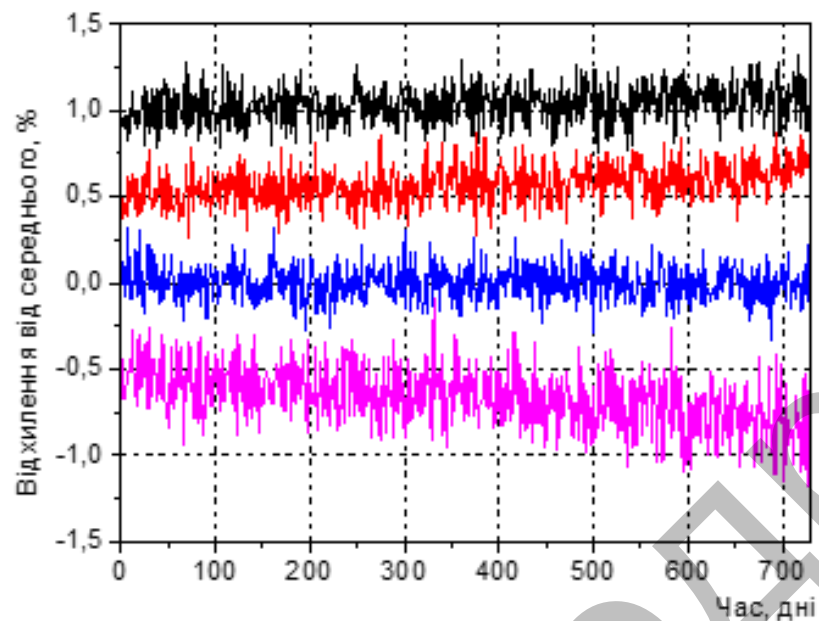


Рисунок 9 – Моніторинг у режимі online сигналів чотирьох взаємодублюємих датчиків САФІР-2171

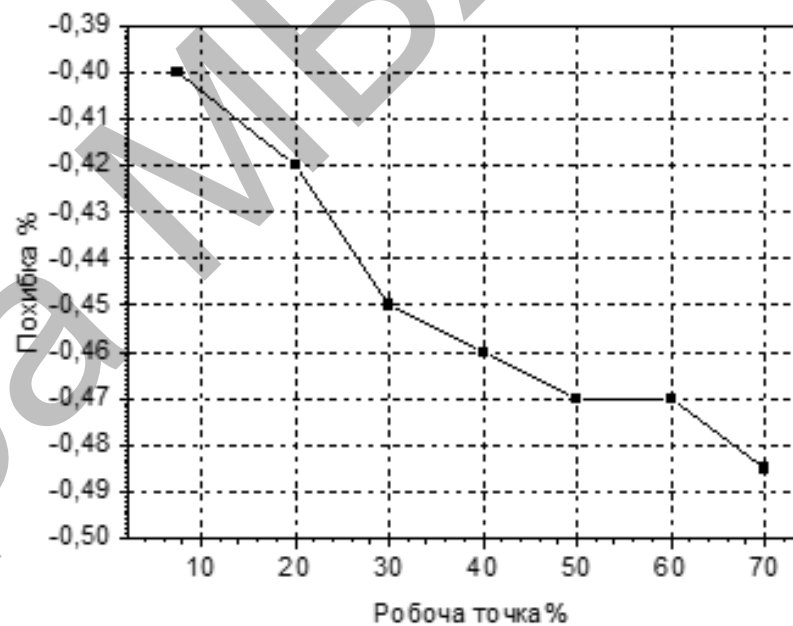


Рисунок 10 – Результати перевірки калібрування датчика тиску САФІР-2171 в широкому діапазоні

## ВПЛИВ ШТУЧНОГО СТАРІННЯ ДАТЧИКІВ ТИСКУ НА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

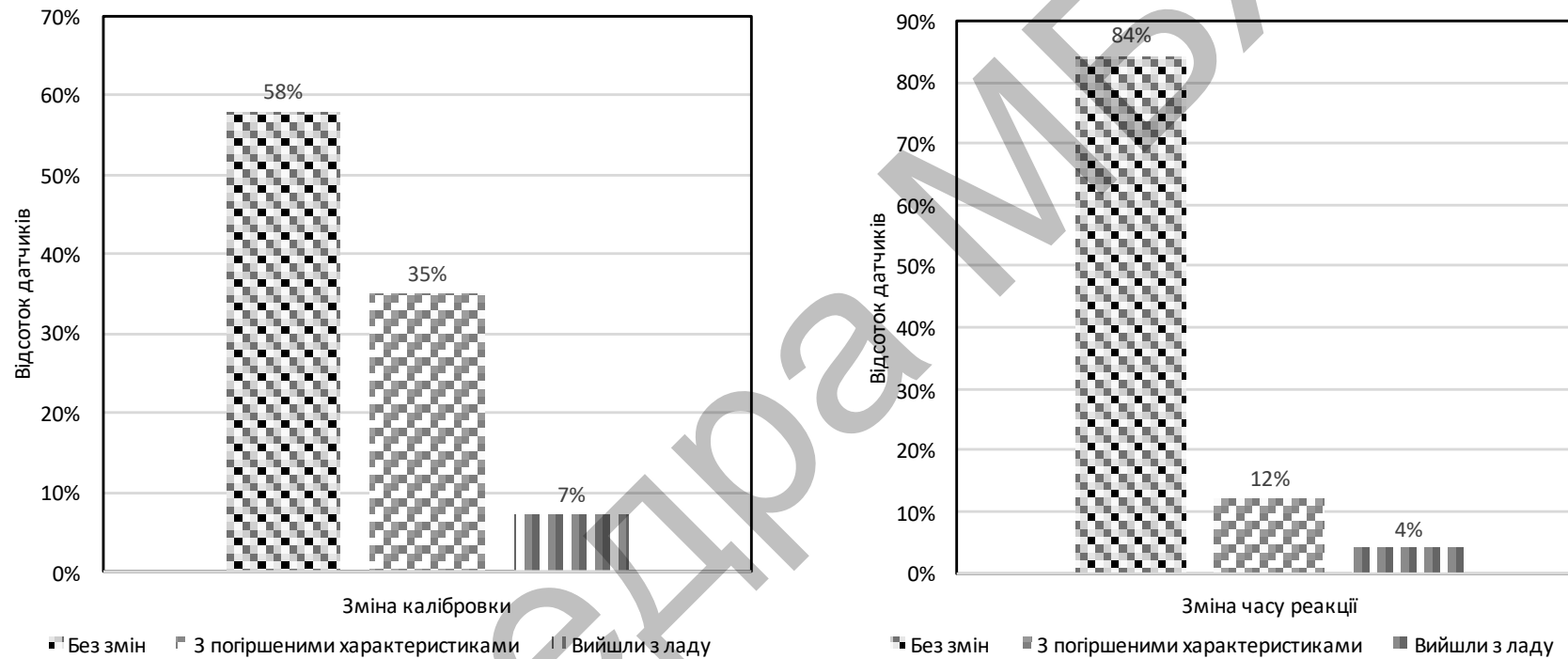


Рисунок 11- Результати досліджень впливу штучного старіння датчиків тиску на їх характеристики

## ВИСНОВКИ

За результатами досліджень вихідного сигналу датчика тиску, його статичних та динамічних характеристик і впливу його тривалої експлуатації на динамічні характеристики встановлено:

–вимірювальна лінія тиску є лінійною і без інерційною тільки за відсутності в ній повітря, витоків та запорів;

–внаслідок тривалість експлуатації в процесі експлуатації вимірювальних ліній та датчиків тиску суттєво змінюються динамічні характеристики вимірювального каналу тиску;

–внаслідок тривалість експлуатації датчика виникає дрейф відносної похибки вимірювань тиску, який протягом 10 років експлуатації може перевищити межі відносної похибки вимірювань.

Аналіз результатів досліджень показав, що реальна невизначеність вимірювань тиску в статичному режимі в різних умовах буде різною. В процесі виконання магістерської роботи було досліджено два методи зменшення невизначеності в статичному режимі роботи датчика: цифрова низькочастотна фільтрація ФНЧ з та згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків.

## ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих експериментальним шляхом результатів використання методів цифрової низькочастотної фільтрації та згладжування ковзаючим вікном для зменшення невизначеності вимірювань тиску датчика САФІР-2171 показав:

1. Використання цифрового фільтра з частотою зрізу в 15 Гц дозволяє зменшити невизначеність вимірювань у всіх каналах в 3 рази, що є недостатнім. Разом з тим слід відмітити відносну складність реалізації фільтра в мікроконтролерних системах.

2. Використання методу згладжування ковзаючим вікном розмірністю в 50 відліків (що є досить припустимим щодо необхідного розміру оперативної пам'яті мікроконтролерної системи) дозволило зменшити невизначеність вимірювань в 12 раз.

3. Слід відмітити також вирівнюючу здатність методу згладжування ковзаючим вікном. З його використанням досягнута невизначеність вимірювань по каналах 0,022 МПа, при вхідній невизначеності 1,5 МПа.

Таким чином, в результаті проведених досліджень мета роботи досягнута, а завдання на магістерську роботу виконано у повному обсязі.

Запропоновані в даній дипломній роботі рішення доцільно використовувати в процесі наукових досліджень просторово розподілених інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем та в навчальному процесі.