

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет
Кафедра метрології та БЖД

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц



І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц



О. І. Богатов

Студент гр. ММ-61-22



В. Ф. Подригало

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

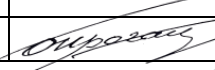

О. І. Богатов
О. І. Богатов

« 11 » жовтня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Подригало Вілю Феліксовичу

1. Тема роботи: "Дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем."
Керівник роботи Богатов Олег Ігорович, канд. техн. наук, доц.
Затверджені наказом Вченої ради механічного факультету від "11" жовтня 2023 р. № 130.
2. Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.
3. Вхідні дані до роботи: 1) Дані вимірювань інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи тиску; 2) Режими роботи вимірювального каналу в інтелектуальній вимірювальній інформаційній системі тиску; 3) Вимірюваний параметр – тиск..
4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Аналіз методів визначення перехідної характеристики датчика тиску; 3. Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску; 4 Дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем; 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 « 13 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

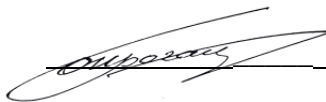
Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Аналіз методів визначення перехідної характеристики датчика тиску.	30.09.2023	виконано
3	Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску	01.10.2023	виконано
4	Дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем	20.10.2023	виконано
5	Охорона праці і навколишнього середовища	01.11.2023	виконано
8	Формулювання висновків	10.11.2023	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2023	виконано
10	Створення презентації у Power Point	27.11.2023	виконано
11	Подання роботи керівнику.	30.11.2023	виконано
12	Подання роботи на рецензію.	01.12.2023	виконано
13	Допуск до захисту.	05.12.2023	виконано

Студент



Подригало В.Ф.

Керівник роботи



Богатов О. І.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 90 с., 25 рис., 5 табл., 17 джерел, 2 додатки
ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛУ ТИСКУ, ДАТЧИК ТИСКУ, ДИНАМІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНА
ХАРАКТЕРИСТИКА

Об'єкт дослідження – вимірювальний канал тиску.

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

Методи дослідження – статистичний, часовий та спектральний аналіз часових вибірок.

Останнім часом проводиться багато досліджень з вдосконалення методів з підвищення точності динамічних вимірювань та визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів та систем. Це викликане з одного боку значним ростом інтенсифікації виробництва, а з іншого зростанням вимог до точності та достовірності контролю параметрів технологічного процесу. Разом з тим слід відмітити що на сьогодні не має чітко окреслених меж застосування того чи іншого методу з метрологічної точки зору.

Таким чином, має місце задача розробки метрологічного забезпечення застосування того чи іншого методу оцінки похибок динамічних вимірювань та визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів.

В даній дипломній роботі на основі всебічного аналізу та системного підходу обгрунтована методика дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем при використанні методів оберненої задачі, внутрішнього контролю та нейромережевого методу для визначення перехідних характеристик і постійної часу вимірювального каналу тиску технічно складного об'єкту.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску	12
1.1 Дослідження методів визначення статичних та динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску.....	19
1.2 Дослідження методів визначення динамічних характеристик вимірювальних ліній вимірювального каналу тиску.....	21
2 Обґрунтування структурної схеми стенду дослідження вимірювального каналу тиску.....	24
2.1 Дослідження впливу старіння вимірювальної лінії на динамічні характеристики вимірювальних каналів тиску	24
2.2 Висновки до розділу.....	35
3 Дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.....	37
3.1 Аналіз методу шумів для online діагностики вимірювальних систем на техногенно-небезпечних об'єктах.....	38
3.2 Дослідження методу online вимірювань для контролю метрологічних характеристик датчиків тиску.....	39
3.3 Online діагностика старіння датчика тиску.....	41
3.4 Online діагностика втрати масла в датчиках тиску.....	45
3.5 Нормування і визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску.....	48
3.6 Аналіз точності блоку вимірювання параметрів вихідного сигналу вимірювального каналу тиску.....	51
3.7 Обґрунтування вимог до точності методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску.....	57
3.8 Висновки до розділу.....	60
4 Охорона праці і навколишнього середовища.....	65
Висновки.....	71
Перелік посилань.....	63

Додаток А Графіки залежності ентропійного коефіцієнта від співвідношення сумарних складових і їх ентропійних коефіцієнтів...	65
Додаток Б Ілюстративний матеріал до дипломної роботи	67

Кафедра МБЖД

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦП	Аналого-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

Прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем (ІВІС) є важливою задачею, оскільки це дозволяє забезпечити точність та достовірність вимірювань. Ось кілька причин, чому це важливо:

Достовірність вимірювань: Інтелектуальні вимірювальні системи використовуються для вимірювання різних параметрів, таких як температура, тиск, вологість, тощо. Якщо вимірювання не є достовірними, це може призвести до неправильних висновків і негативно вплинути на процеси, які базуються на цих даних.

Якість продукції: У багатьох галузях, таких як медицина, промисловість, авіація і т. д., важлива якість виробленої продукції. Надійні вимірювання дозволяють підтримувати високу якість продукції та уникнути виробничих дефектів.

Безпека: В деяких випадках невірні вимірювання можуть призвести до небезпечних ситуацій. Наприклад, в області енергетики невірні дані можуть призвести до аварій та нещасних випадків.

Вартість: Невірні вимірювання можуть призвести до витрат на повторні вимірювання, ремонт або заміну обладнання. Прогнозування метрологічної надійності дозволяє зменшити витрати, пов'язані з невірними вимірюваннями.

Існує кілька методів для прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів ІВІС, таких як аналіз історичних даних, використання математичних моделей, моніторинг стану обладнання, технічне обслуговування та калібрування. Здійснення прогнозів дозволяє вчасно виявляти можливі проблеми та забезпечувати стабільну роботу системи.

Прогнозування метрологічних характеристик в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах включає в себе ряд процесів та аспектів, спрямованих на забезпечення точності, надійності та відтворюваності

вимірювань. Основні етапи прогнозування метрологічних характеристик можуть включати:

1. Аналіз вимог. Визначення вимог до точності інструментів та вимірювань згідно з конкретними завданнями та стандартами.

2. Вибір вимірювальних засобів. Відбір вимірювальних пристроїв, їх характеристик та можливостей відповідно до вимог до точності.

3. Метрологічне забезпечення. Забезпечення належної метрологічної підтримки для вимірювальних засобів, включаючи періодичні перевірки та калібрування.

4. Моделювання та аналіз похибок. Розробка математичних моделей для аналізу та корекції похибок вимірювальних засобів, зокрема урахування впливу середовища та умов вимірювань.

5. Контроль якості. Встановлення системи контролю якості для визначення відповідності вимірювальних засобів встановленим стандартам та вимогам.

6. Калібрування та апаратне забезпечення. Проведення калібрування вимірювальних засобів та забезпечення наявності сучасного апаратного забезпечення для виконання цих завдань.

7. Статистичний аналіз. Застосування методів статистичного аналізу для визначення рівня невизначеності вимірювань та вдосконалення точності.

8. Автоматизація інтелектуальних систем. Використання інтелектуальних технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, для автоматизації процесів прогнозування та корекції метрологічних характеристик.

Загальний підхід може різнитися в залежності від конкретного типу вимірювань та вимог до системи. Важливо враховувати, що прогнозування метрологічних характеристик є постійним процесом, який вимагає систематичного аналізу та вдосконалення для забезпечення високої якості вимірювань.

Прогнозування метрологічних характеристик в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах може використовувати різноманітні інструменти та методи, залежно від конкретного завдання та характеристик системи. Ось деякі з них:

1. Математичне моделювання. Використання математичних моделей для аналізу та прогнозування метрологічних характеристик системи. Використання різних математичних методів, таких як диференціальні рівняння, статистика, імітаційне моделювання тощо.

2. Методи статистики. Аналіз статистичних даних для визначення розподілів та характеристик вимірювальних величин. Використання регресійного аналізу для моделювання залежностей між різними параметрами.

3. Методи машинного навчання. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу та прогнозування метрологічних характеристик. Використання нейронних мереж для виявлення складних залежностей та патернів у вимірювальних даних.

4. Системи фільтрації та обробки сигналів. Використання фільтрів для виділення корисної інформації та приглушення шумів у вимірювальних сигналах.

5. Калібрування. Використання калібрувальних процедур для підтримки та покращення точності вимірювань.

6. Системи моніторингу та діагностики. Використання систем моніторингу для постійного відстеження характеристик системи та вчасного виявлення змін. Використання методів діагностики для визначення стану обладнання та ідентифікації можливих проблем.

Ці інструменти можуть використовуватися окремо чи в комбінації залежно від конкретної задачі та характеристик системи вимірювань.

Прогнозування метрологічних характеристик в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах може використовувати різні методи і підходи, залежно від конкретного завдання та умов вимірювань. Нижче наведено деякі загальні методи, які можуть бути застосовані у цьому контексті:

- статистичні методи:
- регресійні аналізи: використовуються для встановлення залежності між вимірними характеристиками та іншими факторами, що можуть впливати на них.
- часові ряди: дозволяють аналізувати зміни в часі та прогнозувати метрологічні параметри на майбутнє.
- машинне навчання;
- алгоритми класифікації та регресії: використовуються для прогнозування значень метрологічних характеристик на основі історичних даних.
- нейронні мережі: можуть виявити складні залежності в даних та покращити точність прогнозування.
- фізичні моделі: використовуються для прогнозування метрологічних характеристик на основі фізичних принципів, що лежать в основі вимірювань.
- методи оптимізації параметрів: застосовуються для покращення точності вимірювань та прогнозування.
- байєсівські методи – байєсівські мережі: використовують ймовірнісний підхід для моделювання та прогнозування невизначеності вимірювань.
- фільтри Калмана: використовуються для оптимального оцінювання стану системи на основі доступних вимірювань та даних про систему.

Ці методи можуть застосовуватися як окремо, так і в комбінації, залежно від конкретної задачі та доступних даних. Важливо враховувати специфіку вимірювань та властивості системи при виборі методу прогнозування.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

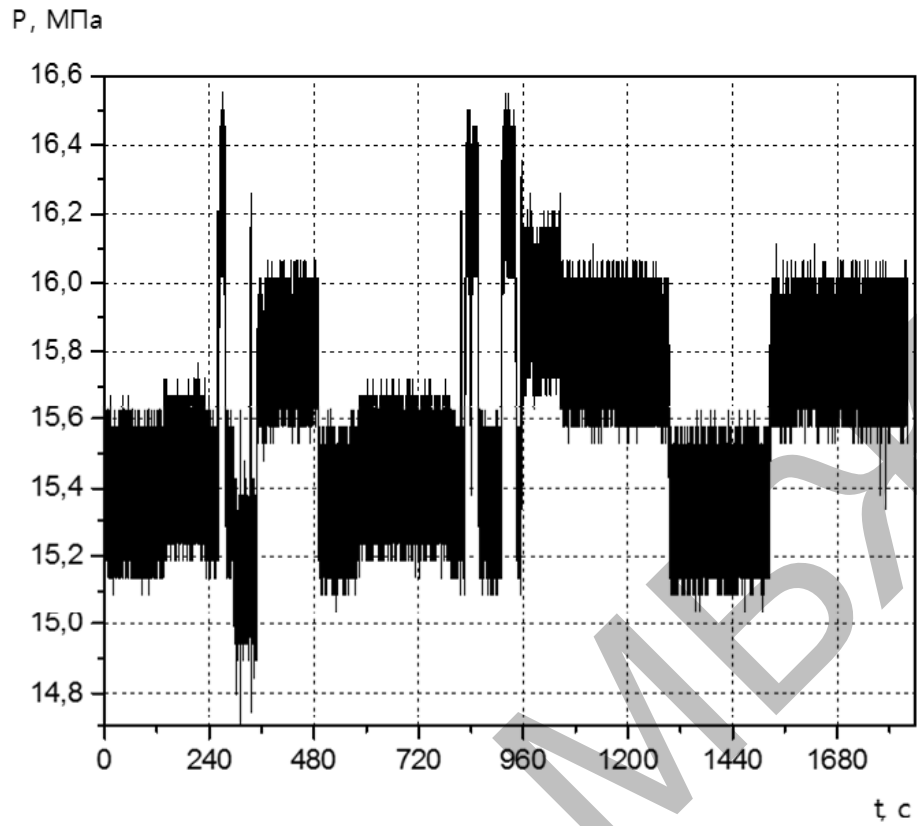
Оцінка стаціонарності виміряного вихідного сигналу вимірювального каналу тиску на сьогоднішній день здійснюється з допомогою статистичних пакетів, які основну увагу приділяють класичним методам математичної статистики – кореляційному, регресійному, факторному аналізу та іншим. Ці методи, однак, неможливо ефективно застосовувати для поточного (автоматичного, без участі експерта) аналізу даних. Крім того, системи, що ґрунтуються на статистичній обробці інформації, вимагають від аналітиків апріорних припущень про моделі та спеціальної підготовки вихідних даних (наприклад, формування вибірок), певний вибір моделей з сукупності допущених (для перевірки адекватності опису даних) і, нарешті, професійної інтерпретації результатів. Методи традиційної математичної статистики, що лежать в основі статистичних пакетів, корисні головним чином для перевірки заздалегідь сформульованих гіпотез і для попереднього аналізу, що становить основу оперативної аналітичної обробки даних (OLAP) [1, 2, 3, 4] і зовсім не придатні для поточного автоматичного аналізу вимірювальних даних.

В роботі для обробки вимірювальних даних використовувались інтелектуальна система аналізу даних на основі нейронних мереж, в основу роботи якої покладено технології Data Mining. Data Mining – це технологія пошуку в великих об'ємах даних неочевидних, об'єктивних закономірностей, періодичностей, трендів, інтервалів стаціонарності, а також їх перевірки на нових вимірювальних вибірках. Знайдені закономірності не виявляються стандартними статистичними методами обробки вимірювальної інформації або навіть досвідченими експертами і тому наперед не можуть вважатись очевидними. Вони будуть цілком відповідати дійсності на відміну, наприклад, від висновку експерта, яке ґрунтується на суб'єктивному і, як наслідок, обмеженому баченні ситуації.

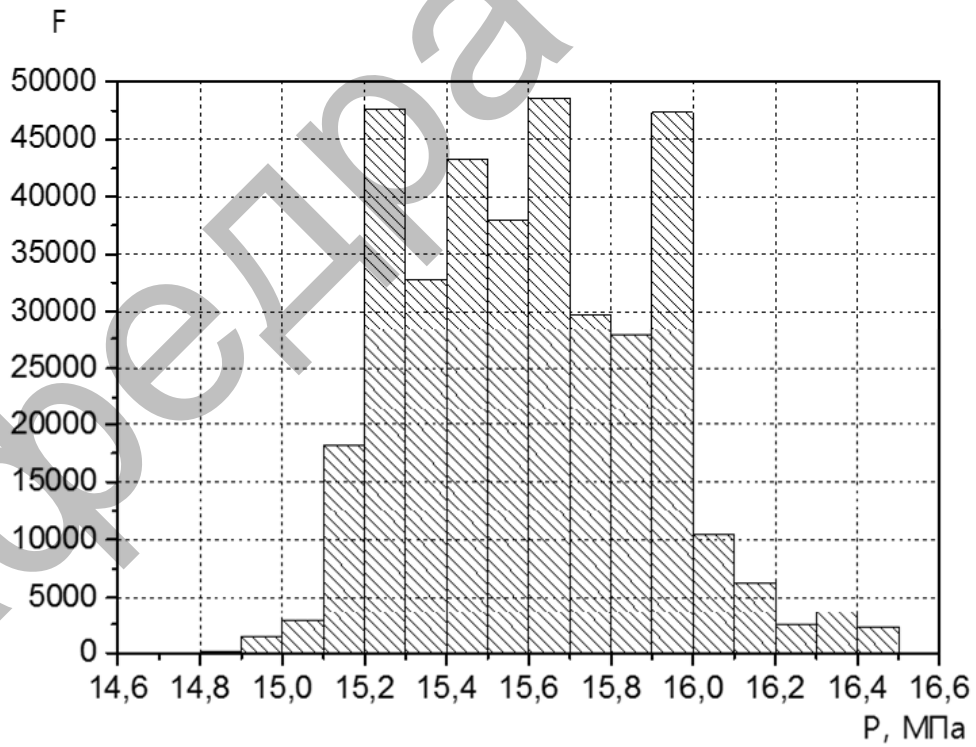
В результаті попередніх статистичних оцінювань було встановлено, що у більшості отриманих вимірних часових рядів тиску можна виділити систематичну складову (яка включає декілька компонент) і випадкову похибку (залишок, шум), яка ускладнює виявлення регулярних компонентів. Як правило, тренд являє собою загальну систематичну лінійну або нелінійну компоненту, яка змінюється в часі. Інерційність технологічних процесів реалізується через цей еволюторний елемент часового ряду.

В окремих технологічних процесах можна виявити певні цикли. Сезонна складова – це періодично повторювана компонента. Її зміна описується, як правило, двома моделями: адитивною і мультиплікативною.

Для виявлення тренду було використано два основні підходи: оцінювання регресії в часі та обчислення послідовних різниць (Differencing). При оцінюванні залежності регресії від часу використовувались лінійний, квадратичний (парабола) та експонентний тренди. Також в процесі досліджень отриманих вимірних відрізків фрагментів вихідного сигналу вимірювального каналу оцінювались послідовні різниці. Застосування цих підходів дозволило вилучити з вимірювальних даних тренд, тобто одержати стаціонарні залишки за умови відсутності періодичної й циклічної складових. При використанні процедур видалення тренда було важливо розрізнити характер тренда, що видаляється. Він може бути детермінованим або стохастичним (випадковим). Дослідження показали, що близько 97% отриманих в результаті експериментів часових рядів є стаціонарними щодо деякого детермінованого тренда – TS ряди (TS – trend stationary). Часові ряди зі стохастичним трендом, який видаляється тільки диференціюванням, становили лише 3% – DS (difference stationary) ряди. Результати досліджень нестационарності вхідного сигналу каналу тиску приведені на рис. 1.1-1.3. Дослідження засвідчили той факт, що вхідний сигнал є нестационарним. Він містить декілька складових з законами розподілу близькими до нормального та змінними середніми значеннями та дисперсіями в часі. Кількість складових, як і їх параметри, змінюються в часі в процесі роботи ТСО.



а) вихідний сигнал ВКТ

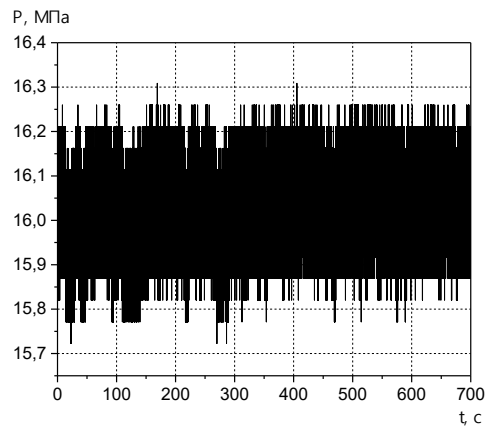


б) гістограма вихідного сигналу ВКТ

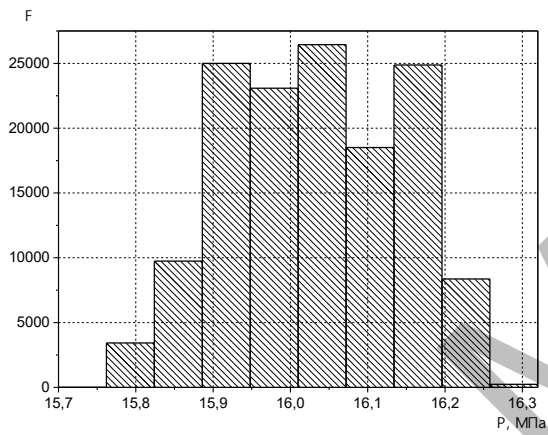
Рисунок 1.1 – Вихідний сигнал ВКТ

Для прикладу, на рис. 1.1а приведена часова вибірка вихідного сигналу ВКТ тривалістю 30 хвилин, яка характеризується декількома сталими режимами, число яких залежить від режиму роботи ТСО. Також видно, що у вихідному сигналі присутні декілька складових, параметри яких (середнє значення та тренд) змінюються в часі. Разом з тим на гістограмі (рис. 1.1б) складові не вирізняються, що свідчить про те, що складові вихідного сигналу мають змінні в часі середнє значення і дисперсію, тобто існує нестационарність сигналу. Це змушує здійснювати статистичну обробку на окремих часових фрагментах вихідного сигналу, оскільки для визначення ДХ ВКТ будуть використовуватись тільки сталі режими роботи ТСО. В якості прикладу на рис. 1.2а приведений фрагмент часової вибірки вихідного сигналу ВКТ тривалістю 12 хв (720 с). Гістограма сигналу даного фрагменту приведена на рис. 1.2б. Згідно з нею даний вихідний сигнал являє собою випадковий процес, який розподілений за законом близьким до нормального з середнім значенням 16 МПа. Однак гістограма цього процесу, яка показана на рис. 1.2б, показує наявність в сигналі двох складових з середніми значеннями близькими до 15,98 МПа та 16,045 МПа. Графік автокореляційної функції (рис. 1.2в) містить періодичні сплески, що свідчить про наявність циклічної компоненти у вибраному часовому фрагменті.

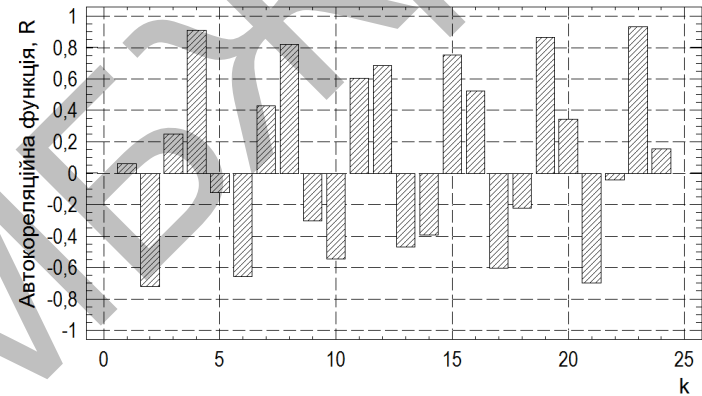
Оскільки модель тренду нам не відома, то найпростіше оцінити тренд і циклічну компоненту можна за допомогою ковзаючого середнього. На рис. 1.2г приведено графік вихідного сигналу даного фрагменту, який згладжено ковзаючим середнім прямокутного вікна тривалістю 10 с (2000 вимірів). Тут вже можна виділити циклічні складові і приблизно оцінити тренд. Оцінка періоду флуктуацій згладженого сигналу (рис. 1.2г) показує наявність двох періодичних складових, про що свідчать гістограма (рис. 1.2д) та спектр (рис. 1.3в) даного сигналу. Автокореляційна функція згладженого сигналу приведена на рис. 1.2е. Вона має вигляд, що характерний для часового ряду з трендом. Автокореляційна функція не наближається до нуля з ростом лагу k (лаг – кількість інтервалів аналізу на даній часовій вибірці).



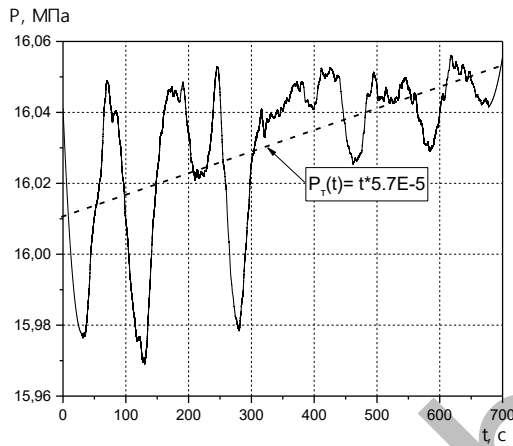
а) вихідний



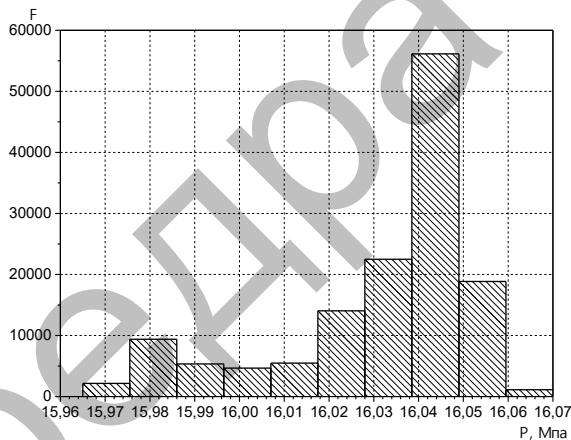
б) гістограма сигналу



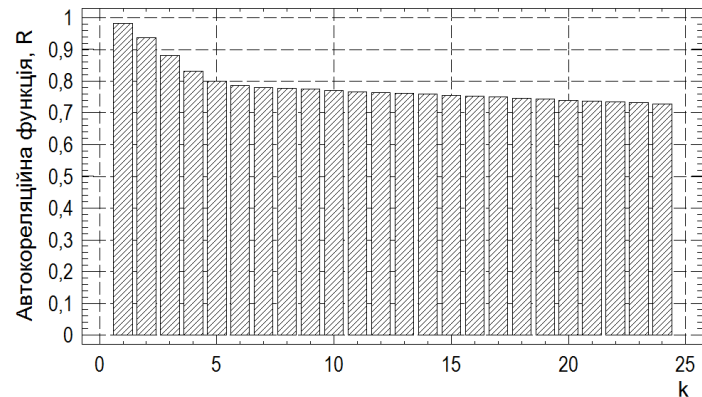
в) автокореляційна функція



г) флуктуації згладженого сигналу

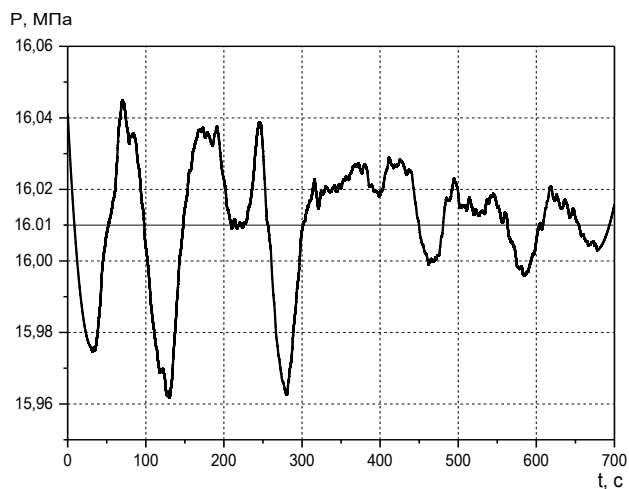


д) гістограма згладженого сигналу ВКТ

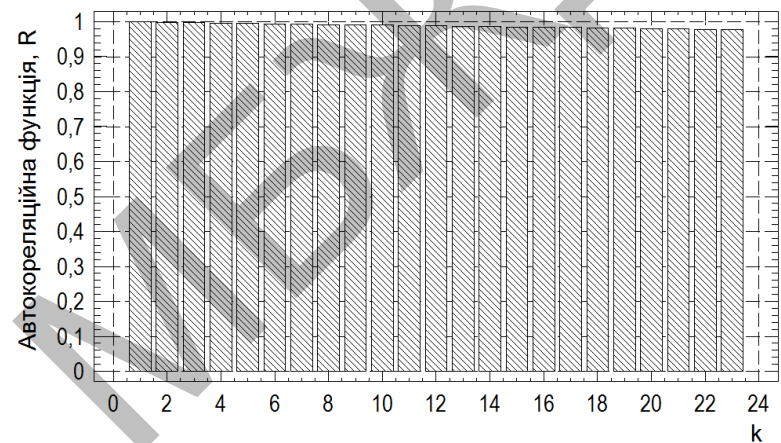


е) автокореляційна функція згладженого сигналу ВКТ

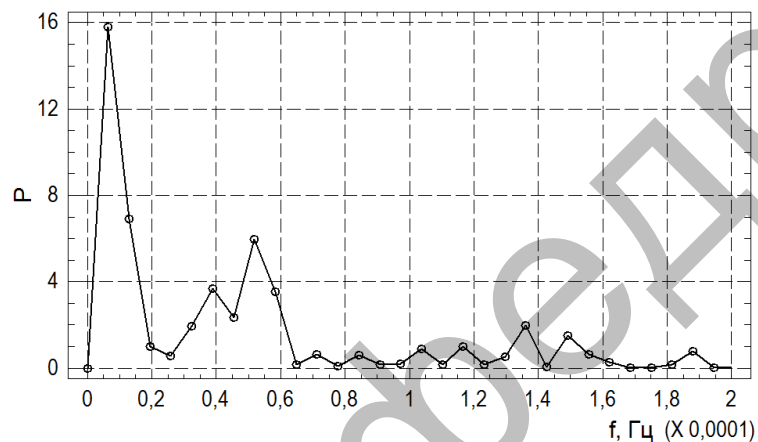
Рисунок 1.2 – Графіки результатів досліджень на стаціонарність фрагменту часової вибірки вихідного сигналу ВКТ тривалістю 12 хвилин



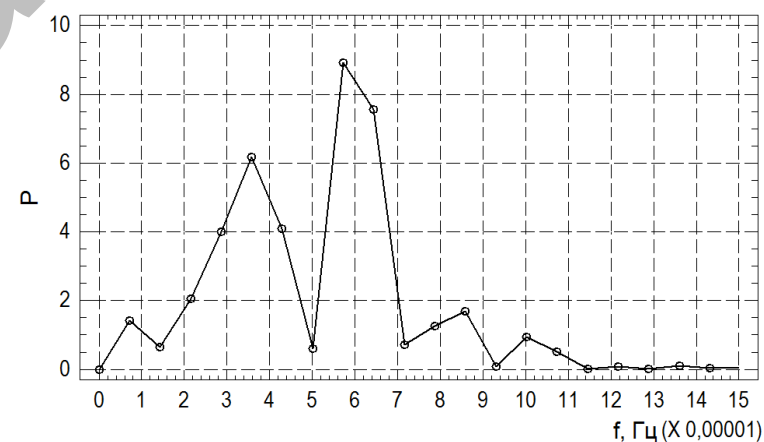
а) вихідний сигнал ВКТ з видаленим трендом



б) автокореляційна функція обробленого сигналу ВКТ



в) спектр вихідного сигналу ВКТ до обробки



г) спектр вихідного сигналу ВКТ після обробки

Рисунок 1.3 – Графіки результатів видалення нестационарності фрагменту часової вибірки вихідного сигналу ВКТ тривалістю 12 хв

Для оцінки та видалення трендів з часових вибірок вихідного сигналу ВКТ використовувався метод найменших квадратів.

Візуальне вивчення графіків дозволило припустити, що тренд цього ряду носить лінійний характер. Визначений тренд (рис. 1.2г) описується виразом:

$$P(t) = t \cdot 5,7 \cdot 10^5. \quad (1.1)$$

Таким чином, з вибраного часового фрагменту вихідного сигналу ВКТ необхідно видалити тренд (1.1). На рис. 1.3а приведено графік вихідного сигналу досліджуваного фрагменту з вже видаленим трендом. Автокореляційна функція цього сигналу (рис. 1.3б) на тривалості фрагменту в 12 хв змінюється від 1 до 0,985, що свідчить про наявність залишків нестационарності. Подальший аналіз показав, що залишки нестационарності складають: за флуктуаціями середнього значення та дисперсії 0,15%, а по флуктуаціям амплітуди 0,3%.

Загалом вихідний сигнал вибраного фрагменту часової вимірної вибірки після проведеної обробки на усунення нестационарності можна вважати квазістационарним. Це також підтверджує спектр обробленого сигналу (рис. 1.3г), кількість його складових практично не змінилось і він тільки незначно змістився.

Таким чином, в результаті проведених досліджень вихідного сигналу ВКТ на стационарність встановлено що:

- вихідний сигнал ВКТ є нестационарним флуктуючим процесом;
- причина нестационарності вихідного сигналу обумовлена специфікою роботи ТСО;
- вихідний сигнал ВКТ складається з багатьох часових фрагментів сталих амплітуд, тривалість цих фрагментів різна і складає від одиниць секунд до 30 хв;
- нестационарність вихідного сигналу ВКТ усувається з використанням методу згладжування ковзаючим середнім та методу найменших квадратів на тривалості всієї вимірної вибірки (але при цьому буде втрачена інформативність сигналу і появиться додаткова похибка вимірювань тиску) або на тривалості

окремих часових фрагментів, що вирізані з вимірної вибірки;

– усунути нестационарність вихідного сигналу ВКТ повністю неможливо, рівень залишків носить як суб'єктивний так і об'єктивний характер: він визначається як рівнем підготовки дослідника, так і можливостями програмного забезпечення, яке використовується, і становить від 0,3% до 0,7%;

– за результатами досліджень встановлено, що інтервал стаціонарності вихідного сигналу ВКТ визначається тривалістю часового фрагменту сталої амплітуди і лежить в межах від 5 с до 25 хв.;

– з метою автоматизації обробки часових фрагментів сталої амплітуди і усунення нестационарності вихідного сигналу ВКТ необхідно додатково розробляти нечіткі вимірні алгоритми.

Отже, в подальшому для визначення ДХ ВКТ в роботі будуть використовуватись стаціонарні вибірки сигналу, що отримуються після проведення операцій, які описані в даному розділі. При цьому потрібно дотримуватись наступної методики.

1.1 Дослідження методів визначення статичних та динамічних характеристик вимірних каналів тиску

Перед початком досліджень перевірявся технічний стан та справність вимірної лінії і проводилось калібрування датчиків тиску [5, 6].

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 вимірні лінія, на якій також моделювалось штучне "старіння" шляхом утворення відповідних закупорок, витоків та повітряних пробок.

Досліджувались спочатку статичні і ДХ ВКТ без вимірювальної лінії, а потім проводились дослідження цих характеристик всього ВКТ.

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 $1 \cdot 12 \cdot 10^6$ вимірних 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 [7].

В результаті експериментальних випробовувань датчиків тиску були визначені:

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

Були визначені за результатами експериментів усереднені перехідна та імпульсна характеристики датчика тиску з терміном служби 1 рік. Визначені такі параметри перехідної характеристики датчика як його постійна часу τ_δ та час затримки t_3 . Середнє значення постійної часу датчика склало $\tau_\delta = 77 \pm 1$ мс. Розкид значень τ_δ 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. Оскільки імпульсна характеристика має

дзвіноподібну форму, то її ширина визначалась на рівні E/e . Для нормованої імпульсної характеристики амплітудне значення $E=1$, тоді рівень $E/e=0,366$, а $\tau_{ix}=76$ мс. Разом з тим було встановлено наявність незначних перехідних процесів у перехідній характеристиці на рівні від 0,9 до 1,0 від максимального амплітудного значення вихідного сигналу датчика тиску.

Експериментально встановлено, що функція перетворення має лінійний характер і з досить високою точністю може бути апроксимована виразом:

$$U = 0,098 + 0,184 \cdot P. \quad (1.2)$$

Відносна похибка δ_U апроксимації експериментально отриманої ФП $U(P)$ не перевищує $\delta_U \leq \pm 0,3\%$ (рис. 1.7), що в повній мірі відповідає вимогам технічних умов ДК ПП 33.20.52.830 на випробовувані датчики тиску – $\delta_{TV} \leq \pm 0,5\%$.

1.2 Дослідження методів визначення динамічних характеристик вимірювальних ліній вимірювального каналу тиску

Вимірювальні лінії тиску використовуються на ТСО для того, щоб розмістити датчики тиску подалі від технологічного середовища з метою знизити вплив навколишньої температури на їхню працездатність і номінальний термін експлуатації. Високі температури навколишнього середовища можуть негативно вплинути на механічні компоненти датчика, а також зменшити термін служби його електроніки, в якій використовуються напівпровідники

Додатковими причинами для розташування датчиків далеко від зони процесу є зниження вібрації й полегшення доступу до них для заміни або технічного обслуговування.

При цьому використовувались нові справні і повірені датчики тиску з вже визначеними статичними та динамічними характеристиками.

В процесі досліджень використовувалась одна вимірювальна лінія заповнена

водою. Вона була виготовлена з суцільних труб невеликого діаметра (20 мм) з вуглецевої сталі з товщиною стінок 1,5 мм. Безпосередній підвід до датчика тиску був виконаний з металопластикових труб. В силу того, що довжина ліній впливає на повний час реакції вимірювального каналу тиску, її треба вибирати короткою.

Реально на ТСО, в залежності від їх призначення, вимірювальні лінії можуть істотно відрізнятись за довжиною: від кількох метрів до 300 м з середнім значенням від 10 м до 50 м. Щоб задовольнити вимогам ідентичності досліджуваної вимірювальної лінії її об'єктовому аналогу, для досліджень була вибрана лінія довжиною 25 м.

Методика визначення ДХ вимірювальної лінії каналу тиску повністю аналогічна методиці визначення ДХ датчика тиску. По своїй суті буде визначені динамічні характеристики справного нового (опорного) ВКТ. Оскільки динамічні характеристики використаного в експерименті датчика тиску відомі, то можна визначити постійну часу вимірювальної лінії як:

$$\tau_{вл} = \tau_{вк} - \tau_{д}, \quad (1.3)$$

де $\tau_{вл}$ – постійна часу вимірювальної лінії тиску;

$\tau_{вк}$ – постійна часу ВКТ.

Час реакції вимірювальної лінії, що заповнена рідиною, має два головні компоненти: звукову затримку і гідравлічну затримку. Звукова затримка відповідає часу, який потрібно сигналу тиску, щоб зі швидкістю звуку пройти по повністю заповненій вимірювальній лінії від зони процесу до датчика. При довжині лінії 25 м цей час складає приблизно 20 мс.

В результаті проведених досліджень з використанням вимірювального комплексу була визначена перехідна характеристика ВКТ. Аналіз отриманої ПХ ВКТ та ПХ датчика тиску, яка визначена раніше, показав, що ПХ ВКТ практично повторює ПХ датчика. При цьому час затримки t_3 ПХ ВКТ збільшився з 20 мс до

40 мс, а постійна часу залишилася незмінною – $\tau_{\text{вк}} = \tau_{\text{д}} = 74$ мс. Сумарний час затримки ВКТ визначається як:

$$t_3 = t_{\text{звл}} + t_{\text{зд}}, \quad (1.4)$$

де $t_{\text{звл}}$ – час затримки вимірювальної лінії тиску;

$t_{\text{зд}}$ – час затримки датчика тиску.

З урахуванням співвідношення (1.4), а також того, що $t_{\text{зд}} \approx 20$ мс, визначимо час затримки вимірювальної лінії тиску – $t_{\text{звл}} = 20$ мс.

Отже, експериментально показано, що справна, нова без заторів і витоків вимірювальна лінія без спотворень передає вхідний сигнал з виходу на вхід з затримкою, яка визначається її довжиною.

Виходячи з лінійності вимірювальної лінії, можна безпосередньо визначити її ПХ за отриманими експериментальними даними як різницю між ПХ ВКТ і ПХ датчика тиску. Встановлено, що реакція вимірювальної лінії на скачок тиску має певну (близько 1 мс) тривалість. Це пояснюється двома причинами:

- неможливо на практиці створити миттєвий стрибок вхідного сигналу тиску в трубі довжиною 25 м;
- вимірювальна лінія на практиці не є строго лінійною без викривлень та неоднорідностей у вигляді вентилів, фітингів та з'єднувачів.

Звідси випливає, що реакція вимірювальної лінії дорівнює тривалості вхідної дії (тривалості поширення хвилі повітряного тиску після підриву піропатрона). Імпульсна характеристика нової вимірювальної лінії має тривалість близько 1 мс, що свідчить про широку смугу пропускання частот лінії. В процесі експлуатації характеристики вимірювальної лінії будуть змінюватись

2 ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СТЕНДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

2.1 Дослідження впливу "старіння" вимірювальної лінії на динамічні характеристики вимірювальних каналів тиску

В процесі експлуатації у вимірювальній лінії, що заповнена технологічною рідиною, внаслідок її "старіння" утворюються закупорки, порожнечі та повітряні пробки і витоки, внаслідок чого лінія втрачає свою лінійність і тому не можна використовувати для дослідження впливу "старіння" 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 [8]. Це можна робити, використовуючи метод аналізу шумів [9, 10]. 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 витоки, які можуть бути присутні у цих лініях.

В процесі досліджень з визначення впливу "старіння" вимірювальної лінії на ДХ ВКТ було розроблено вимірювальний комплекс (рис.2.1), в якому був реалізований метод аналізу шумів. В роботі був проведений аналіз впливу кожного чинника "старіння" вимірювальної лінії на ДХ ВКТ.

Вплив порожнечі 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.

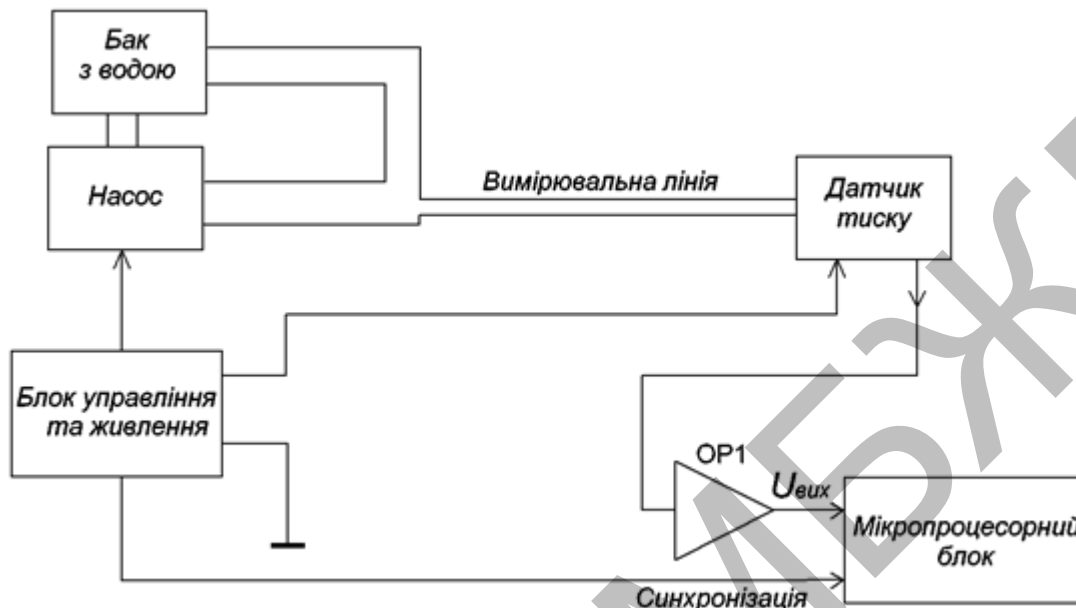


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик вимірювального каналу

Наявність повітря або порожнеч у вимірювальних лініях тиску впливає на форму графіка спектральної щільності потужності (СЩП) сигналів шуму. На рис. 2.2 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 зміститися у бік більш низьких частот і що постійна часу каналу $\tau_{вк}$ зростає в міру збільшення кількості повітря в лінії. Встановлено, що залежність постійної часу ВКТ від об'єму повітря в ньому може описуватись аналітичним виразом:

$$\tau_{вк} = 106 + 1664 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{V}{251}\right) \right). \quad (2.1)$$

Графік залежності τ_{BK} від об'єму V повітря у вимірювальній лінії приведений на рис. 2.3.

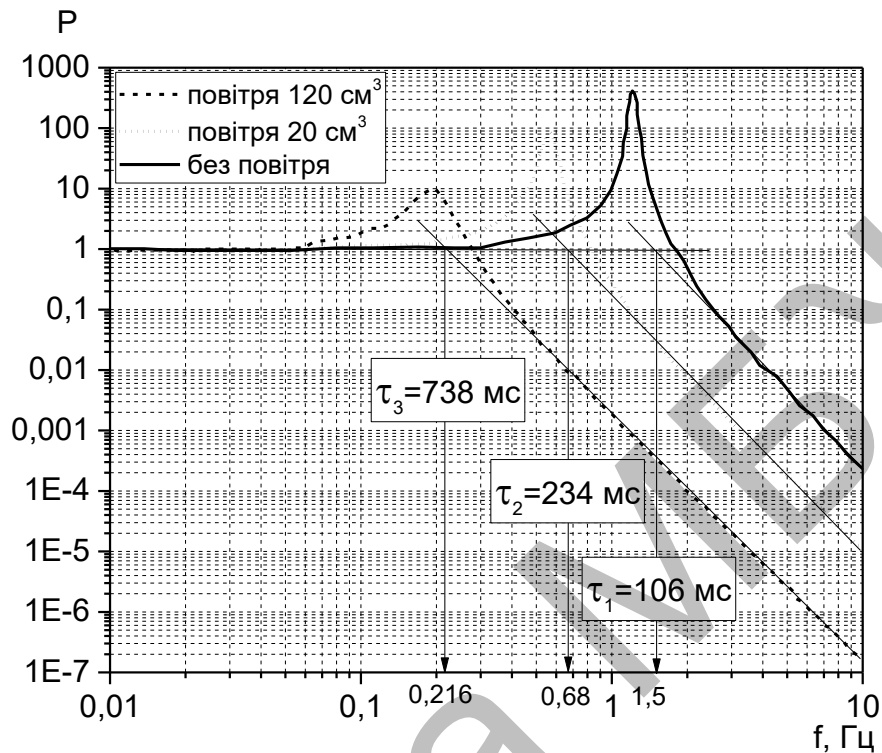


Рисунок 2.2 – Графіки СЦП при наявності повітря в каналі вимірювання тиску τ_{BK}

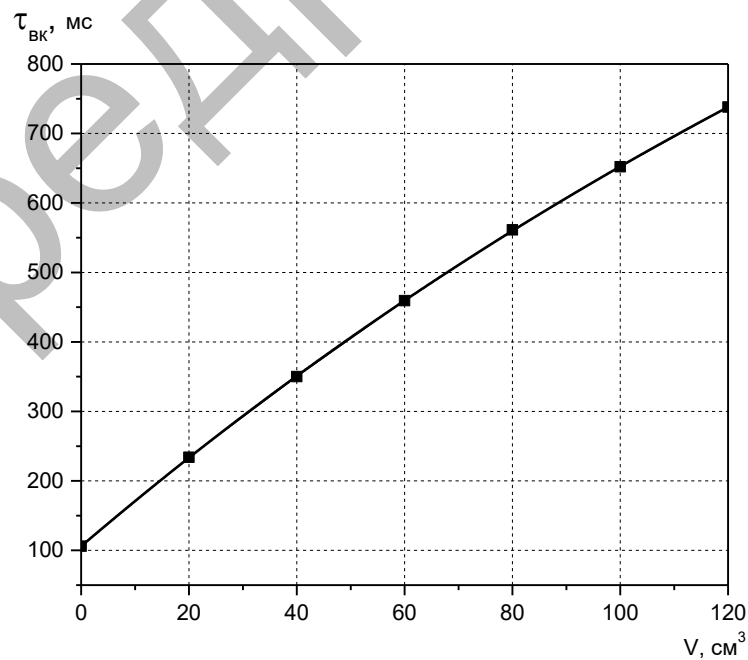


Рисунок 2.3 – Залежність постійної часу τ_{BK} ВКТ від об'єму V повітря у вимірювальній лінії

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 трубопроводу вимірювальної лінії за допомогою шарового крану. В якості критерію оцінки рівня закупорки вимірювальної лінії було прийнято відносний рівень закупорки d :

$$d = \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де α – кут повороту рукоятки шарового крану в градусах;

$\alpha_{\max} = 90^{\circ}$ – 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. 2.4) та апроксимаційна функція залежності постійної часу $\tau_{\text{вк}}$ ВКТ від відносної закупорки d вимірювальної лінії (рис. 2.5):

$$\tau_{\text{вк}} = 97 + 1664 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{V}{680}\right) \right), \quad (2.3)$$

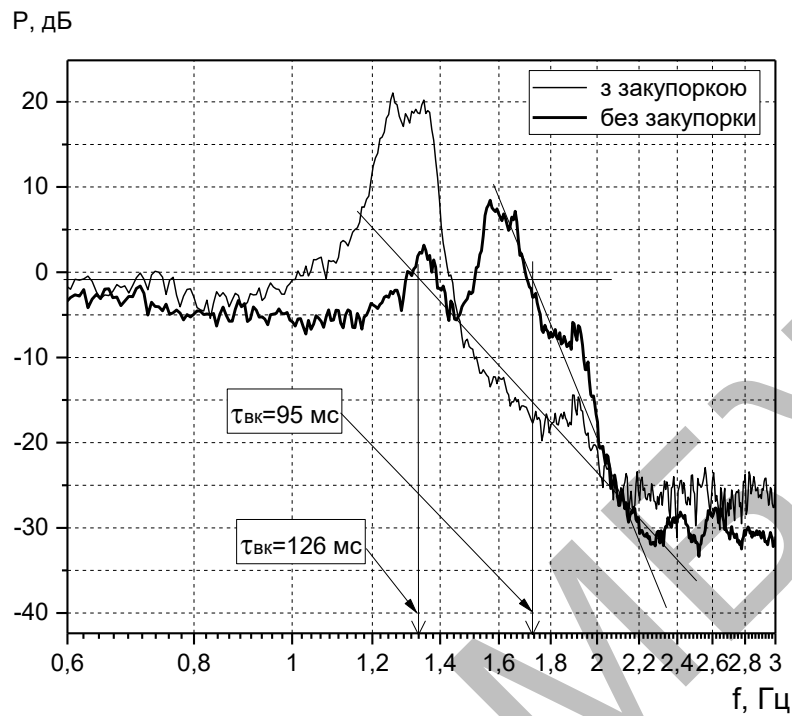


Рисунок 2.4 – СЦП сигналу для каналу вимірювання тиску при наявності та при відсутності закупорок у вимірювальній лінії

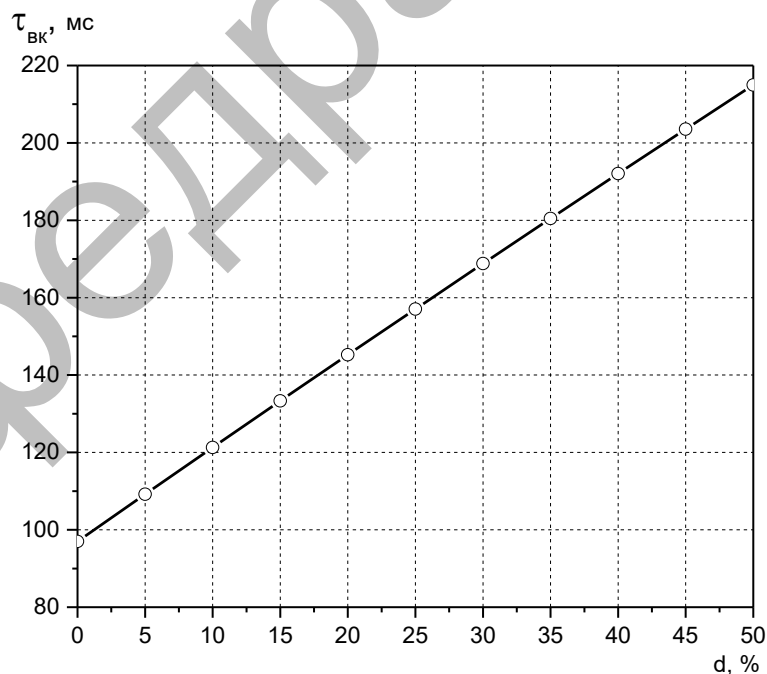


Рисунок 2.5 – Залежність постійної часу τ_{BK} ВКТ від відносної закупорки d вимірювальної лінії

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 випробувальний стенд, і аналіз проводився методом аналізу шумів [10]. На рис. 2.6 приведено сигнал шуму на виході справного каналу тиску і каналу, у вимірювальній лінії якого є витік.



Рисунок 2.6 – Сигнал шуму на виході вимірювального каналу тиску при відсутності і наявності витоків у вимірювальній лінії

Очевидно, що витік зменшує амплітуду вихідного сигналу ВКТ. На рис. 2.7 приведена СЩП вихідного сигналу такого каналу тиску. Аналіз графіків СЩП вихідного сигналу ВКТ (рис. 2.7) 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 :

$$q = \left(1 - \frac{Q_1}{Q}\right) \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

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

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

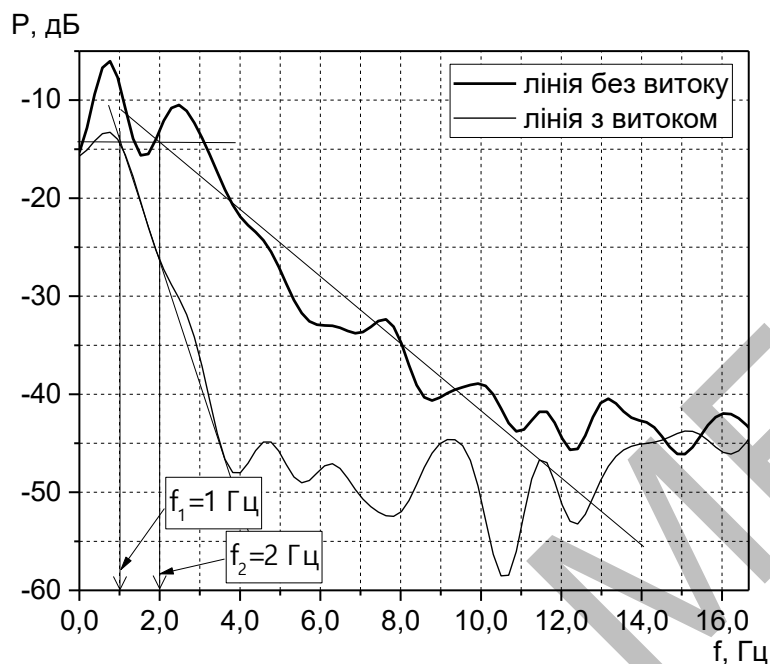


Рисунок 2.7 – Спектр сигналу на виході каналу тиску при відсутності і наявності витоків у вимірювальній лінії

Витрата води вимірювалась з використанням двох витратомірів, які встановлювались до місця імітації витоків та після нього. За результатами узагальнення досліджень була отримана залежність постійної часу $\tau_{вк}$ ВКТ від відносного витоків q рідини в вимірювальній лінії (рис. 2.8), яка описується виразом:

$$\tau_{вк} = 30 + 60 \cdot e^{\left(\frac{5 \cdot Q_1}{Q}\right)}. \quad (2.5)$$

Аналіз експериментально отриманих результатів досліджень впливу чинників "старіння" вимірювальної лінії на ДХ ВКТ, а також вивчення досвіду експлуатації ВКТ на ТСО 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.

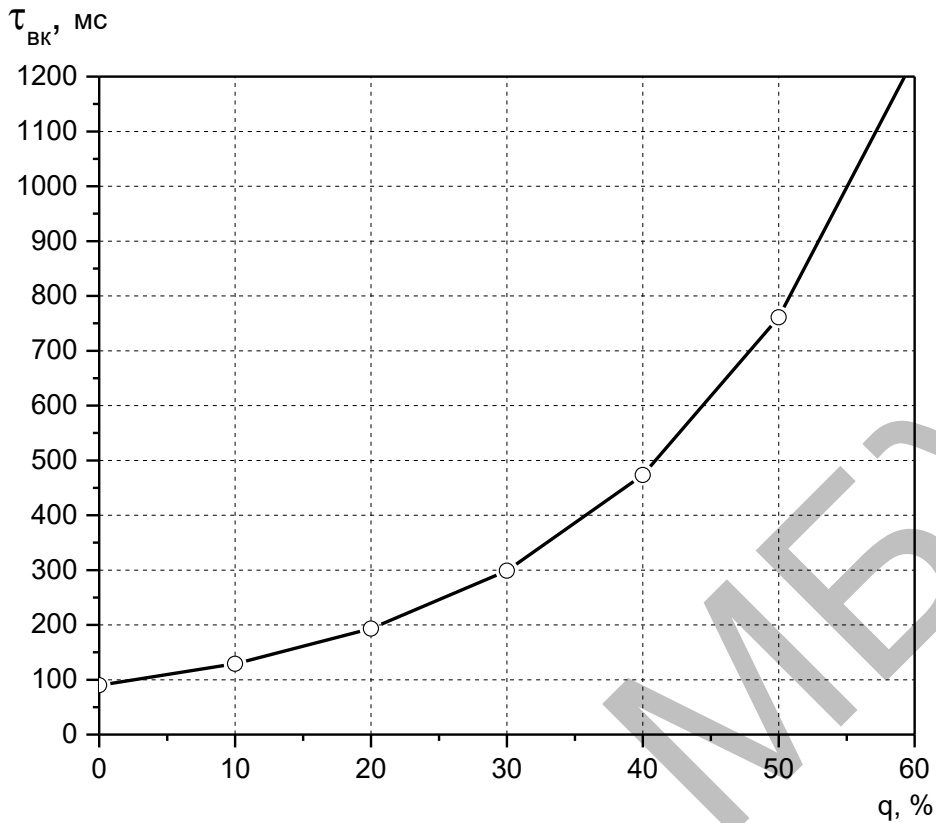


Рисунок 2.8 – Залежність постійної часу $\tau_{\text{ВКТ}}$ ВКТ від відносного витoku q рідини в вимірювальній лінії

До першої групи, чинники якої виявляються візуально і швидко усуваються, відносяться витoki рідини з вимірювальної лінії тиску. Але незначні витoki (до 10%), які в більшості ситуацій спостерігаються на ТСО, незначно впливають на постійну часу ВКТ (рис. 2.8). В цьому випадку постійна часу ВКТ зростає на 23% (в 1,2 рази) і $\tau_{\text{ВКТ}} \leq 120$ 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 тільки 20 см³ повітря збільшує постійну часу ВКТ більше ніж в два рази – на 137%, а при 30 см³ 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 см^3 повітря та 2,5% відносної закупорки, то внаслідок її "старіння" постійна часу ВКТ зростає 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 "старіння" його вимірювальної лінії [8, 9, 10]. Так, якщо прийняти, що виточки в лінії відсутні і кількість повітря в ній складає лише 10 см^3 (при умові що на протязі 10 років експлуатації її відносна закупорка не перевищить 20%), постійна часу ВКТ зростає з 97 мс до 480 мс і на 300% перевищить межі допуску. Залежність постійної часу ВКТ від його терміну експлуатації буде мати вид, що приведений на рис. 2.9.

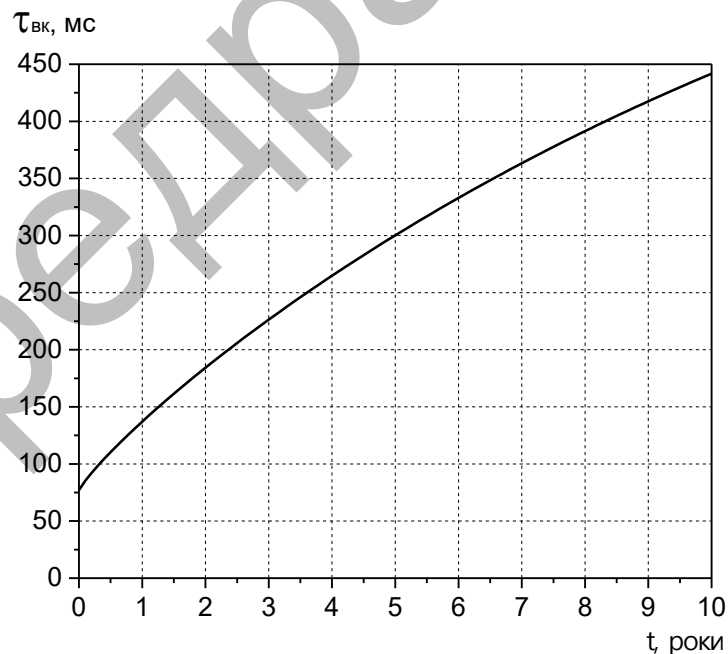


Рисунок 2.9 – Залежність постійної часу $\tau_{ВК}$ ВКТ від "старіння" вимірювальної лінії

Ця залежність може бути описана рівнянням:

$$\tau_{ек}(t) = 78 + 49 \cdot t^{0,84} - 0,6 \cdot \left(\frac{t}{0,1} \right)^{1,67}, \quad (2.6)$$

Вплив "старіння" ВКТ необхідно враховувати при усуненні нестационарності вихідного сигналу ВКТ.

На рис. 2.10 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 "старіння".

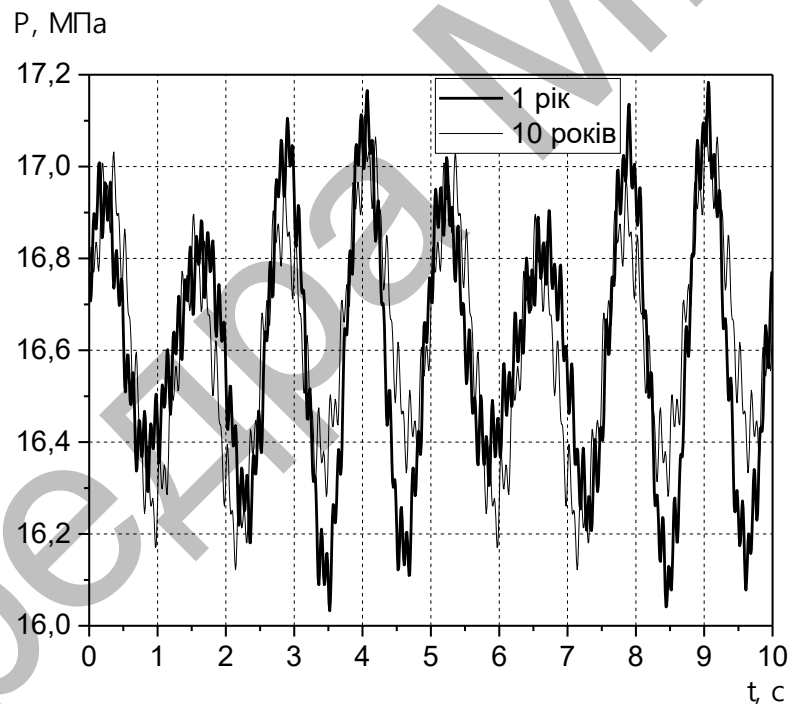


Рисунок 2.10 – Вихідні сигнали ВКТ з двох взаємодублюємих датчиків тиску з терміном роботи 1 та 10 років

На рис. 2.11 зображено вихідні сигнали ВКТ з датчиком з 10 річним терміном експлуатації після усунення нестационарності 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 зглажує сигнал і тренд не усувається. Це свідчить про те, що при виборі постійної часу ЦФ необхідно враховувати постійну часу ВКТ, яка змінюється унаслідок "старіння".

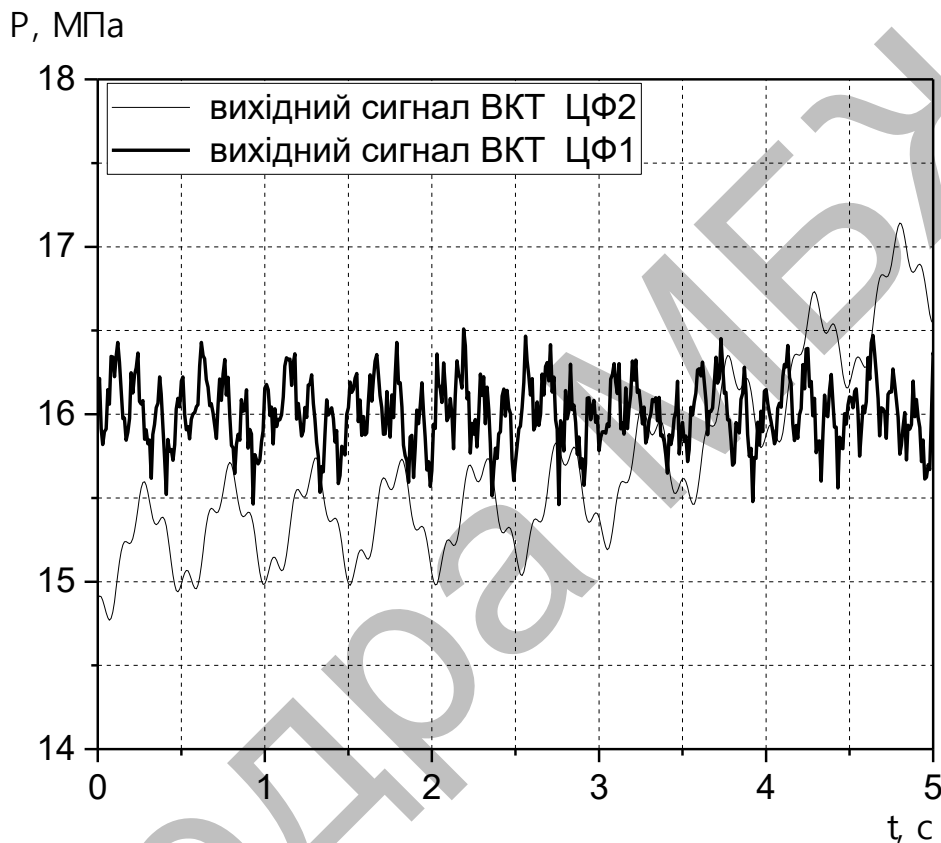


Рисунок 2.11– Вихідні квазістаціонарні сигнали ВКТ на виході ЦФ

Отже, за результатами експериментальних досліджень встановлено:

- "старіння" виміральної лінії в більшій мірі впливає на ДХ ВКТ, ніж "старіння" датчика тиску;
- не всі чинники "старіння" виміральної лінії можуть бути усунуті повністю в процесі її експлуатації і їх вплив може зростати від року до року;
- "старіння" ВКТ носить комплексний характер, тому для визначення його ДХ необхідно підходити з позицій системного аналізу.

2.2 Висновки до розділу

Динамічні характеристики мають важливе значення для оцінки працездатності вимірювального каналу тиску. Існуючі методи їх визначення мають обмеження і не враховують в повній мірі "старіння" елементів каналу.

За результатами досліджень вихідного сигналу вимірювального каналу тиску, статичних та динамічних характеристик його елементів і впливу їх "старіння" на динамічні характеристики каналу встановлено:

- вихідний сигнал вимірювального каналу тиску є нестационарним флуктуюючим процесом;

- для усунення нестационарності вихідного сигналу вимірювального каналу тиску необхідно використовувати метод згладжування ковзаючим середнім та метод найменших квадратів на тривалості всієї вимірної вибірки вихідного сигналу (але при цьому буде втрачена інформативність сигналу і з'явиться додаткова похибка вимірювань тиску) або на тривалості окремих часових фрагментів вирізаних з вимірної вибірки;

- повне усунення нестационарності вихідного сигналу вимірювального каналу тиску неможливе, рівень залишків носить як суб'єктивний, так і об'єктивний характер, тобто визначається як рівнем підготовки дослідника, так і можливостями програмного забезпечення, яке використовується;

- інтервал стаціонарності вихідного сигналу вимірювального каналу тиску визначається тривалістю часового фрагменту сталої амплітуди і лежить в межах від 5 с до 25 хв.;

- вимірювальна лінія тиску є лінійною і безінерційною тільки за відсутності в ній повітря, витоків та заторів;

- внаслідок "старіння" в процесі експлуатації вимірювальних ліній та датчиків тиску суттєво змінюються динамічні характеристики вимірювального каналу тиску;

- внаслідок "старіння" датчика виникає дрейф відносної похибки вимірювань тиску, який протягом 10 років експлуатації може перевищити межі відносної

похибки вимірювань.

Отримані результати свідчать про наявність низки обмежень та припущень застосування методів визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску. Основними з них є:

1. Після усунення нестационарності вихідного сигналу вимірювального каналу тиску цей сигнал перетворюється в квазістационарний.

2. З метою збереження інформативності вихідного сигналу вимірювального каналу тиску методи визначення його динамічних характеристик доцільно використовувати лише на тривалості часових фрагментів вимірюваного сигналу з усунутою нестационарністю, що становлять від 10 хв. до 15 хв.

3. Відношення сигнал/шум на виході вимірювального каналу тиску повинно бути не менше 10 дБ.

Кафедра МБЖД

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

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 [8, 11]. 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. Розглянемо їх детальніше далі.

3.1 Аналіз методу шумів для online діагностики вимірювальних систем на техногенно-небезпечних об'єктах

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 зміну 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.

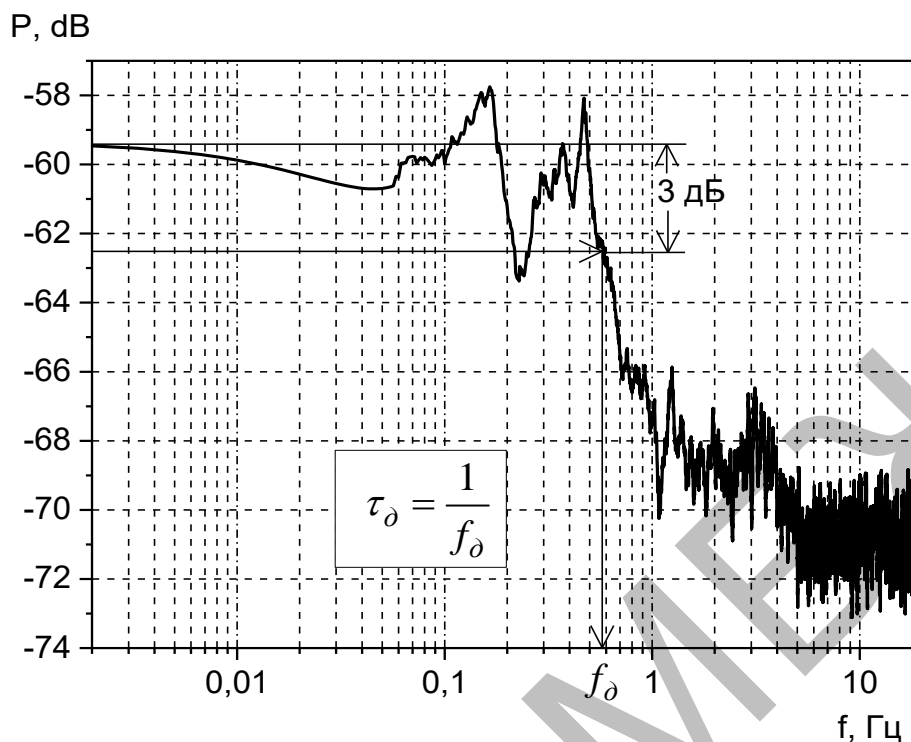


Рисунок 3.1— Приклад СЩП для датчика тиску

3.2 Дослідження методу online вимірювань для контролю метрологічних характеристик датчиків тиску

Для вимірювання кожного технологічного параметра на АЕС використовують звичайно від двох до чотирьох датчиків. 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. 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.

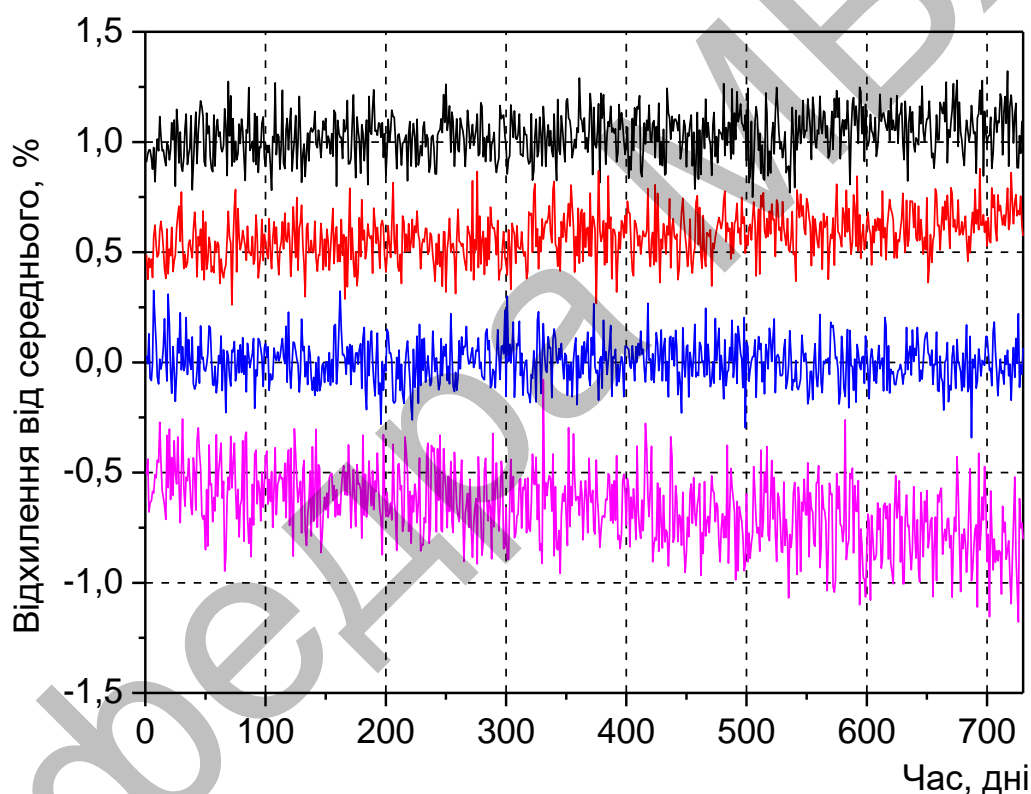


Рисунок 3.2— Моніторинг у режимі online сигналів чотирьох взаємодублюємих датчиків САФІР-2171

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.

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.

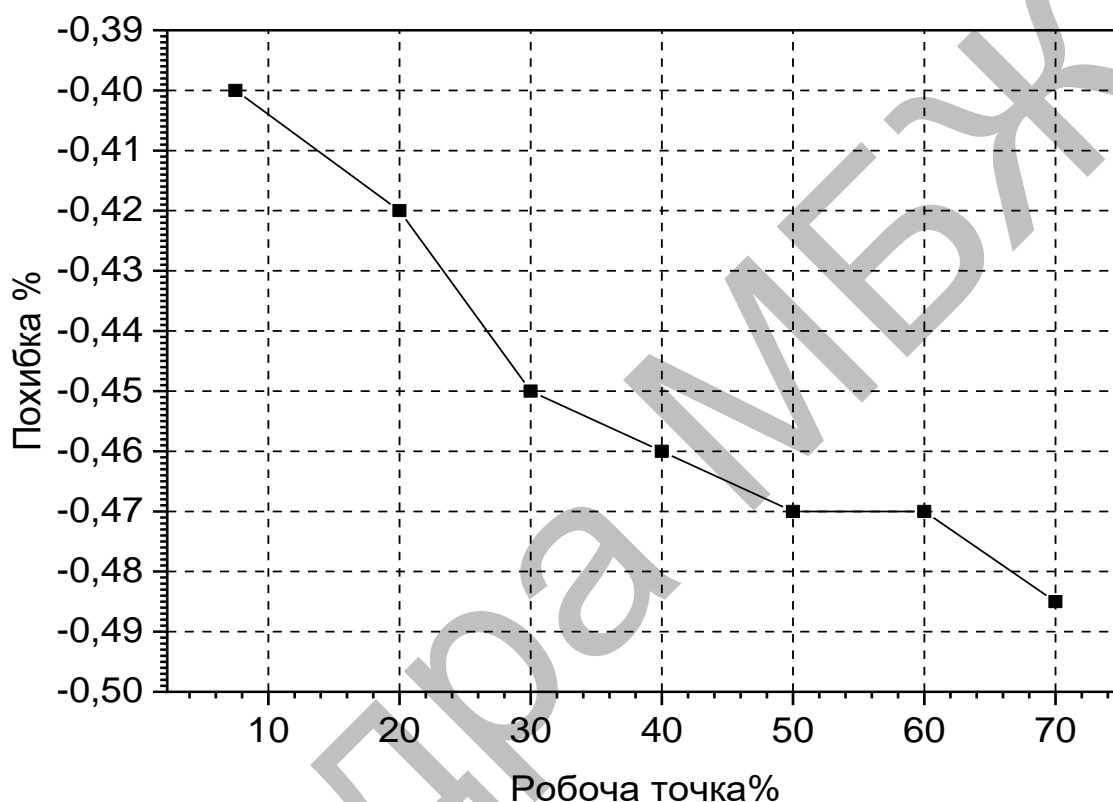


Рисунок 3.3 – Результати перевірки калібрування датчика тиску САФІР-2171 в широкому діапазоні

3.3 Online діагностика старіння датчика тиску

Уповільнення реакції датчиків тиску на техногенно-небезпечних об'єктах з часом безсумнівно, але дана проблема не настільки серйозна. І навпаки, дрейф калібрування доставляє для датчиків тиску більше неприємностей, ніж для ТДС. На рис. 3.4 представлені підсумкові результати дослідницького проекту, в якому вивчався вплив 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.

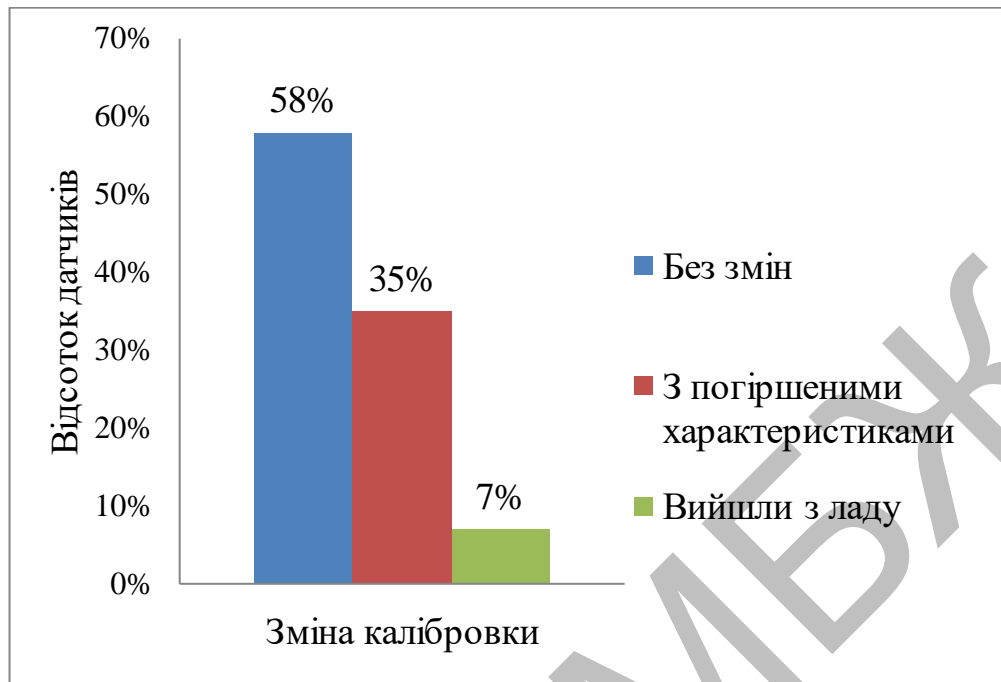


Рисунок 3.4- Результати дослідження впливу штучного старіння датчиків тиску АЕС на їх характеристики

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

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

Номер датчика	Первісне значення	18 місяців потому	36 місяців потому	48 місяці потому	64 місяці потому
AE-LT-0011A	0,36	0,46	0,43	0,44	0,44
AE-LT-0012A	0,38	0,42	0,43	0,43	0,43
AE-LT-0013A	0,45	0,43	0,45	0,47	0,41
AE-LT-0014A	0,43	0,41	0,44	0,47	0,43
AE-LT-0021A	0,41	0,45	0,43	0,43	0,42
AE-LT-0022A	0,39	0,42	0,42	0,43	0,42
AE-LT-0023A	0,44	0,49	0,47	0,46	0,43
AE-LT-0024A	0,46	0,48	0,44	0,66	0,41
AE-LT-0031A	0,39	0,42	0,41	0,41	0,40
AE-LT-0032A	0,43	0,46	0,44	0,48	0,42
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
AE-LT-0043A	0,43	0,44	0,42	0,41	0,40
AE-LT-0044A	0,45	0,44	0,41	0,42	0,40

В таблиці 3.2 представлені кілька прикладів, отриманих з бази даних NPRDS (Nuclear Plant Reliability Data System) на предмет відмов датчиків тиску. Очевидно, що погіршення часу реакції, хоча воно і не є домінуючим фактором,

послужило причиною відмов, які протягом декількох років відзначалися в атомній промисловості.

Таблиця 3.2 – Приклади несправностей датчиків тиску

Несправність	Причина	Усунення несправності
Під час зниження тиску датчик тиску показував зміну тиску з великим запізненням і показував значення, занижені на 50 бар	Несправний осцилятор, силовий двигун і обмотка детектора	Замінили силовий двигун, обмотку детектора і осцилятор
Уповільнена реакція датчика в верхній частині його діапазону	Невідома	Датчик замінили
Незадовільні результати випробування диференціального датчика тиску на головному паровому трубопроводі	Вихід зі стою плати підсилювача датчика	Замінили плату підсилювача
Датчик рівня при після аварійної втрати теплоносія давав завищені показання та не відповідав на різні вхідні сигнали	Чутливий модуль датчика вийшов з ладу через витік його наповнювача	Датчик замінили
Уповільнена реакція датчика витрати теплоносія реактора	Тріщина діафрагми через знос	Датчик замінили
Датчик рівня при після аварійної втрати теплоносія давав невірні показання	Чутливий модуль датчика вийшов з ладу через витік масла	Датчик замінили
Витік силіконового масла з модуля вимірювання перепаду тиску в корпус електронного блоку	Надто глибокий паз для кільцевого ущільнення	Датчик замінили; перевірили всі датчики цього типу на предмет витіку масла
У датчику верхнього рівня в корпусі реактора виявилася витік силіконового масла з модуля вимірювання перепаду тиску в корпус електронного блоку	Силіконове масло помилково залишили в корпусі електронного блоку під час складання датчика	Датчик змінили

3.4 Online діагностика втрати масла в датчиках тиску

В процесі експлуатації датчиків тиску виявилось, що в деяких датчиках тиску Rosemount, що використовувалися на техногенно-небезпечних об'єктах, відбувався витік силіконового масла з чутливих модулів. Силіконове масло застосовується для передачі сигналів тиску від ізолюючої діафрагми до чутливої, яка знаходиться в центрі чутливого модуля. Витік масла, таким чином, негативно впливає як на роботу датчика в стаціонарному режимі (через калібрування), так і на його динамічні властивості. На рис. 3.5 представлені дані шуму від справного і від несправного (через витік масла) датчиків Rosemount моделі 1153, які застосовувалися для однієї і тієї ж мети на техногенно-небезпечних об'єктах.

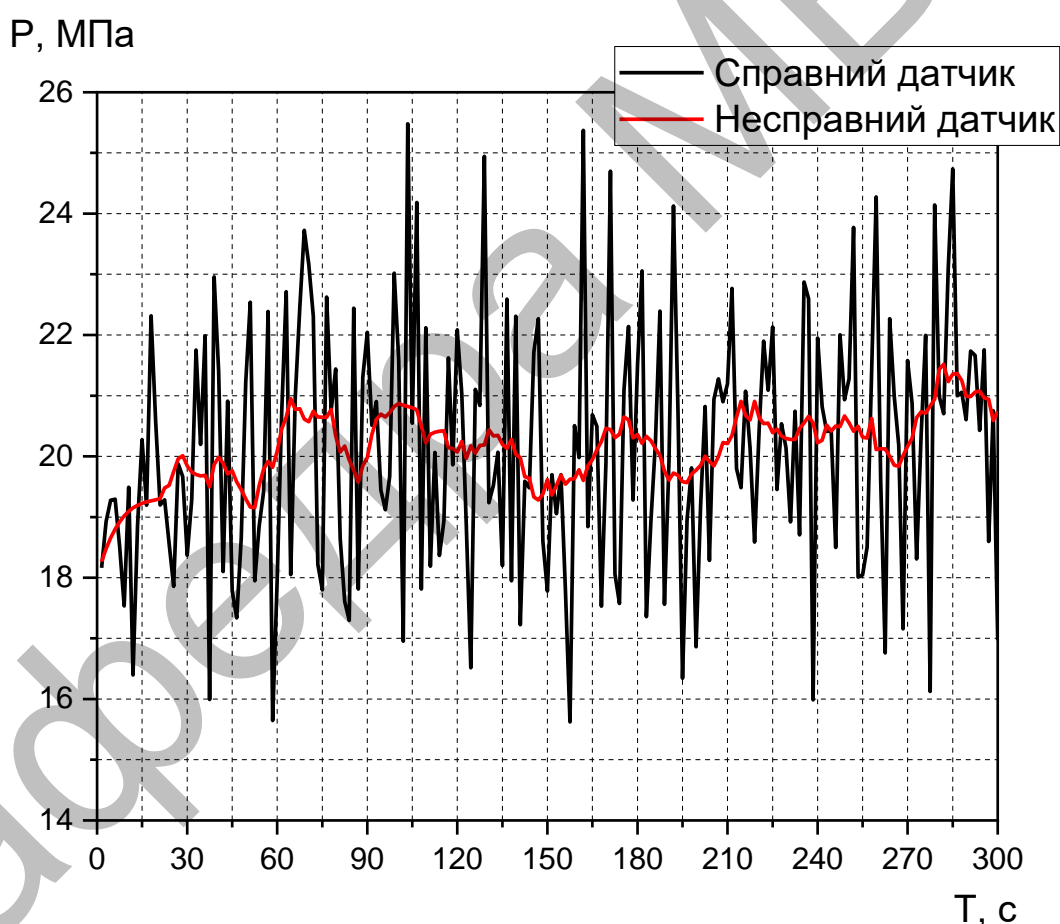


Рисунок 3.5 - Сигнали шуму від справного і несправного датчиків Rosemount, отримані при випробуваннях на техногенно-небезпечних об'єктах

Як і очікувалося, амплітуда сигналу шуму від несправного датчика набагато менше, ніж від справного. Після того була виявлена проблема витоку масла з датчиків Rosemount, був розроблений метод діагностики шляхом аналізу

шумів з метою виявлення втрати масла. Метод включав в себе обчислення моментів даних шуму від другого до п'ятого і відношення цих моментів, використовуючи шуми, розташовані вище і нижче середнього значення сигналу. Першим моментом шуму є його середнє значення, другим моментом - дисперсія, третім - асиметрія (перекіс) і т.д. В таблиці 3.3 представлений приклад індикаторів шумової діагностики для чотирьох датчиків рівня в парогенераторі реактора PWR, позначених як LT518, 528, 538 і 548. У таблиці також вказані нормальні значення індикаторів. Зауважимо, що значення індикаторів для датчика LT528 сильно відрізняються від значень для інших датчиків. Згодом цей датчик був демонтований і відправлений на фірму Rosemount, де виявилось, що його несправність була викликана витоком масла з чутливого модуля.

Таблиця 3.3 – Результати діагностики втрати масла датчиків

Індикатор діагностики	Нормальне значення	Виміряні значення індикаторів діагностики			
		LT518	LT528	LT538	LT548
Асиметрія	0,0	0,02	0,23	0,08	0,05
5-й момент	0,0	0,07	2,12	0,70	0,36
Дисперсійне відношення	1,0	1,03	1,25	1,09	1,06
Асиметричне відношення	1,0	1,00	1,06	1,01	1,02
Відношення 5-го момента	1,0	1,00	1,21	1,04	1,06

Описане вище та інші дослідження в цій області дозволили зробити висновок про те, що метод аналізу шумів може бути корисний як спосіб діагностики втрати датчиками масла. Слід зазначити, що причина виникнення проблеми витoku масла з датчиків Rosemount була виявлена і її рішення було знайдено виробником дуже швидко, тому атомна промисловість не зазнала якихось небажаних наслідків. Так як проблему вдалося вирішити на ранній стадії, діагностика втрати масла датчиками з використанням методу аналізу шумів не знайшла широкого застосування на техногенно-небезпечних об'єктах.

В таблиці 3.4 представлені результати випробувань методом лінійного сигналу, отримані для справного і для несправного (через втрату масла) датчиків Rosemount моделі 1153.

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань часу реакції датчиків Rosemount, що проводилися з метою демонстрації впливу втрати масла на лінійність датчика

Установка тиску	Час реакції	
	Лінійний сигнал з позитивним градієнтом	Лінійний сигнал з від'ємним градієнтом
	Справний датчик	
Низька	0,12	0,13
Середня	0,12	0,13
Висока	0,15	0,13
	Несправний датчик	
Низька	0,23	171,0
Середня	0,25	19,0
Висока	0,25	1,1

Випробування лінійним сигналом були проведені як із зростаючим сигналом, так і з спадаючим, при трьох заданих значеннях тиску. Напрямок зміни сигналу не впливає на справний датчик, в той час як несправний датчик не тільки має уповільнену реакцію, але його показання також залежать від напрямку зміни лінійного сигналу: зокрема, при спадаючому лінійному сигналі його час реакції дуже великий, при низькому заданому значенні тиску і зменшується більш, ніж на два порядки величини при високому.

В деяких датчиках тиску, що поставляються іншими виробниками, також застосовується силіконове масло, але в них воно не використовується для передачі сигналу тиску. Так в деяких датчиках фірми Barton масло застосовується в механічній системі датчика і коли відбувається його витік (що іноді трапляється) це зазвичай не погіршує роботу датчика. В таблиці 3.5 представлені результати вимірювання часу реакції датчика Barton типу 764 при різних обсягах витоку масла. Для проведення таких лабораторних випробувань

масло з датчика видаляли штучним шляхом, після чого вимірювали час реакції датчика. Отримані результати показали, що витік масла не завжди призводить до значного погіршення роботи або лінійності датчика. В таблиці 3.5 представлені також результати визначення часу реакції датчиків Foxboro і Tobar з повним вмістом масла і з його повною втратою.

Таблиця 3.5 – Результати лабораторних вимірювань часу реакції датчиків тиску (для справних датчиків і датчиків з витоком масла)

Ступінь втрати масла	Час реакції	
	Зростаючий лінійний сигнал	Спадаючий лінійний сигнал
Датчик Barton типу 764		
0%	0,19	0,19
50%	0,16	0,16
75%	0,12	0,12
100%	0,10	0,11
Датчик Foxboro типу E13DM		
0%	0,17	0,12
100%	0,12	0,08
Датчик Tobar типу 32DP		
0%	0,17	0,18
100%	0,11	0,12

3.5 Нормування і визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску

Одним з головних завдань метрологічного забезпечення є нормування та визначення динамічних характеристик ВКТ, які можуть бути повними і частинними.

Для нормування повних ДХ ВКТ встановлюються вимоги до залежності цих характеристик від вхідної дії, оцінюється наявність різних неврахованих дестабілізуючих факторів, змінювання ДХ зі старінням елементів ВКТ тощо. Для нормування повної динамічної характеристики необхідний кількісний опис

нормованого параметра. В роботі обґрунтовані вимоги тільки до частинних ДХ, зокрема, до постійної часу ВКТ, хоча проводиться аналіз і повних ДХ. Моделі останніх розроблено для різних термінів експлуатації ВКТ на основі експериментів зі штучного старіння. Безумовно, будуть спостерігатись відмінності між цими моделями та реальними ДХ ВКТ. З допомогою запропонованих методів здійснюється корекція моделей для різних термінів експлуатації.

В роботі для визначення повної динамічної (імпульсної або перехідної) характеристики використовується розкладання її в ряд. Отже, щоб знайти всю характеристику, потрібно визначити, зокрема, коефіцієнти типу a_i , U_0 , $\tau_{вк}$, що входять до функціоналу. При описанні імпульсної характеристики у вигляді функції з декількома невідомими можуть бути допущені похибки визначення коефіцієнтів a_i , U_0 і постійної часу датчика $\tau_{вк}$. Таким чином, виникає задача нормування динамічних характеристик каналу шляхом встановлення вимог до точності визначення цих коефіцієнтів. Аналіз подібних задач показує, що похибки визначення зазначених коефіцієнтів не повинні перевищувати від 10% до 20%. Статистичне моделювання, яке проведене в, свідчить, що похибки визначення цих коефіцієнтів не перевищують декількох відсотків і тому зазначені вимоги виконуються. В цілому чисельні вимоги повинні встановлюватись окремо для кожного ВКТ і тоді навіть при погано налаштованому генетичному алгоритмі виключається знаходження "фантомного" рішення, оскільки апріорні відомості про ДХ ВКТ завжди є відомими.

Оскільки результати розв'язання оберненої задачі вимірювань використовуються для створення бази даних опорних вхідних дій, то до точності відновлених вхідних сигналів ВКТ встановлюються конкретні вимоги. Кількість членів ряду, як показали дослідження, не повинна перевищувати 40, але для окремих вихідних сигналів, як показали результати моделювання, що проведені автором, їх кількість може перевищувати 50. Для умов роботи ВКТ при

повільному змінюванні тиску кількість членів ряду взагалі зменшується до декількох одиниць. Збільшення числа коефіцієнтів ряду призводить до збільшення часу обчислень. Збільшення часу спостережень після досягнення певної тривалості не приводить до істотного зниження точності відновлення, але є причиною збільшення часу розрахунку. Похибку, що обумовлена настроюванням генетичного алгоритму, можна вважати методичною і вона не перевищує приблизно 5%. Якщо для навчання нейронної мережі вважати якісним відновленням вхідної дії з похибкою меншою 10% і кореляцією більшою 0,9, то для відновлення вхідної дії необхідно, щоб відносні систематична та випадкова похибки вимірювання вихідного сигналу не повинні перевищувати приблизно 20%. Моделювання при наближеному розв'язанні оберненої задачі вимірювань свідчить про складну залежність точності відновлення вхідної дії від точності представлення імпульсної характеристики.

Для зменшення залежності параметрів імпульсної характеристики ВКТ від коефіцієнтів ряду Карунена-Лоева основною рекомендацією є використання надійної апріорної інформації про діапазон змінювання постійної часу ВКТ та діапазон вхідних дій. Все це звужує діапазон пошуку генетичного алгоритму, підвищує точність визначення ДХ ВКТ і зменшує час розрахунку.

Особливого розгляду потребує випадок, коли в стаціонарному вхідному впливі виникають швидкі змінювання параметрів і ці змінювання є інформативними. В такому випадку доцільно використовувати розглянуті автором в методи виявлення і вимірювання швидких змінювань параметрів, де пропонується адаптивне управління смугою пропускання вимірювальної системи при швидкому змінюванні статистичних характеристик вхідної дії.

Оцінимо тепер похибки визначення ДХ ВКТ. Порівняння будемо здійснювати з результатами експериментів, в яких автор приймав участь. Важливо знати похибки, які дає реальний вимірювальний канал тиску.

3.6 Аналіз точності блоку вимірювання параметрів вихідного сигналу вимірювального каналу тиску

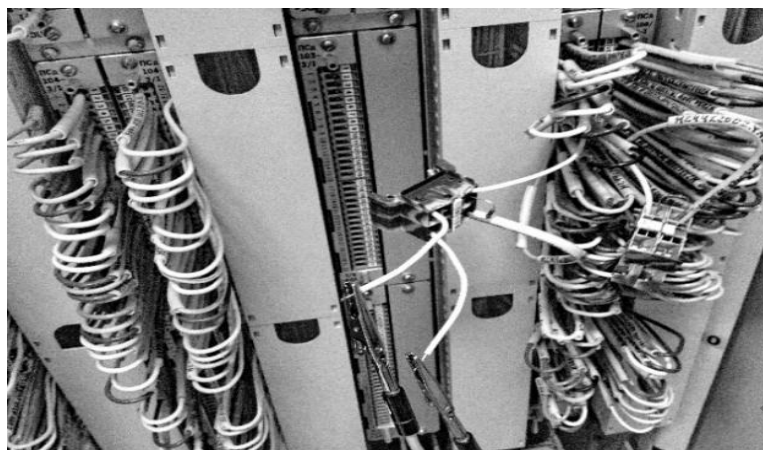
На технічно складних об'єктах вимірювальний канал тиску для забезпечення заданої метрологічної надійності має в своєму складі від 2 до 6 взаємодублюємих датчиків тиску. Вихідні сигнали від всіх датчиків поступають на технологічні комутаційні шафи, які, як правило, розташовані в пункті управління об'єктом. Зовнішній вид цих шаф приведено на рис. 3.6. На рис. 3.6а зображено вид шафи спереду, де видно вхідні роз'єми разом з індикаторами наявності сигналів. На рис. 3.6б приведено вид цієї ж технологічної шафи, але вид з боку технологічних контактних планок. Технологічні контактні планки виконані у вигляді пружних самопритискачів (рис. 3.6в).



а) вид спереду



б) технологічні планки



в) пружні самопритискувачі

Рисунок 3.6 – Вид технологічних шкафів АЕС

Весь монтаж в шафі виконано у вигляді стандартизованих перемичок, що забезпечує з однієї сторони простоту, надійність і наглядність монтажу, а з іншої – оперативність зміни схеми з'єднань при необхідності. Отже, схема з'єднань та конструкція технологічних шаф дозволяє під'єднати вимірювальне обладнання в апаратній залі на диспетчерському пункті.

В процесі виконання досліджень автором була розроблена чотирьохканальна вимірювальна інформаційна система, яка конструктивно була виконана у виді окремого блоку вимірювання сигналів датчиків. На рис. 3.6б приведено вид цього блоку та його підключення до технологічних панелей шафи.

Слід відмітити, що для того, щоб уникнути шунтування вихідних сигналів датчиків вхідними колами блоку вимірювання необхідно було забезпечити при вхідних значеннях опору та ємності $R_{ex} \geq 300 \text{ кОм}$ і $C_{ex} \leq 40 \text{ пФ}$.

Для вимірювання кожного технологічного параметра на ТСО використовували від двох до чотирьох датчиків, які встановлюються поряд один з одним в вимірювальній рамці. Таке взаємодублювання датчиків покращує працездатність ТСО і дозволяє уникнути виникнення проблем з її експлуатацією або безпекою при виході з ладу одиночного датчика. Таке дублювання датчиків використовується в схемі вимірювальної системи ТСО для підвищення безпеки і працездатності станції. Якщо відомі ДХ одного з датчиків, то канал з таким датчиком в окремих випадках можна використовувати як опорний. Оскільки

вимірювання параметрів технологічних процесів на ТСО здійснюється цілодобово і безперервно з документуванням результатів вимірів, то це дублювання пропонується використовувати і для виконання інших завдань метрологічного забезпечення. Такими завданнями може бути набір вимірювальних сигналів для бази даних, що використовується для навчання нейронної мережі.

Оскільки вимірювання параметрів технологічних процесів на ТСО здійснюється цілодобово і безперервно з документуванням результатів вимірів, то це дублювання пропонується використовувати і для виконання інших завдань метрологічного забезпечення. Такими завданнями може бути набір вимірювальних сигналів для бази даних, що використовується для навчання нейронної мережі.

Проведемо метрологічний аналіз ВКТ, який використовувався Ковалем А. О. в експериментах.

При розробці вимірювальних каналів необхідно враховувати похибки всіх його складових: датчиків, перетворювачів (АЦП), пристроїв обробки і відображення інформації. Найбільшу похибку у вимірювальний канал вносить первинний вимірювальний перетворювач і тому основна похибка ВКТ буде визначатися, в основному, похибками датчиків.

Похибки інших складових вимірювальних каналів складають:

- похибка контролера $\varepsilon_k=0,3\%$;
- похибка блоку шлюзу $\varepsilon_{ш}=0,05\%$;
- похибка ПЕОМ $\varepsilon_{пеом}=10^{-6}\%$;
- похибка давача тиску $\varepsilon_p=0,5\%$;
- похибка блоку перетворення сигналів (БПС) для каналу тиску $\varepsilon_{бпс}=0,5\%$.

Наведемо приклад розрахунку результуючої похибки системи контролю з довільним значенням довірчої ймовірності за допомогою ентропійного коефіцієнта. Перевагою такого методу розрахунку результуючих похибок

вимірювальних каналів є те, що він дає уявлення про закон розподілу цих похибок і дозволяє визначити оцінку довірчої ймовірності, а відповідно і інтервал невизначеності.

Похибка датчика тиску нормована по паспорту максимальним значенням $\gamma_p = 0,5\%$. Для того, щоб від цього значення перейти до середньоквадратичного відхилення (СКВ), необхідно знати вид закону розподілу похибки.

Похибка датчика тиску є мультиплікативною і розподіленою за нормальним законом. При значенні ймовірності 0,98 по таблиці нормального розподілу знаходимо, що такий ймовірності відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$. Звідси шукане $\sigma_p = 0,5/2,3 = 0,218\%$, а параметри закону розподілу $k = 2,066$, $\varepsilon = 3$, $\chi = 0,577$.

Похибка контролера зазначається в паспорті приладу і зумовлена, в основному, похибкою АЦП. Дана похибка складає $\gamma_K = 0,3\%$, є адитивною і розподілена по рівномірному закону розподілу. Тому $\gamma_K = 0,3\%$ можна вважати половиною ширини цього рівномірного розподілу і визначити СКВ як $\sigma_K = \gamma_K / \sqrt{3} = 0,3 / \sqrt{3} = 0,173\%$. Для рівномірного розподілу $k = 1,73$, $\varepsilon = 1,8$ і $\chi = 0,745$.

Похибка шлюзу $\gamma_{\text{ш}} = 0,05\%$ є адитивною і розподілена за трикутним законом розподілу, оскільки не залежить від величини вимірюваного сигналу. Середнє квадратичне відхилення для трикутного розподілу $\sigma = \gamma_{\text{max}} / \sqrt{6}$, тому $\sigma_{\text{ш}} = \gamma_{\text{ш}} / \sqrt{6} = 0,05 / \sqrt{6} = 0,02\%$. Параметри трикутного розподілу (Сімпсона): $k = 2,02$, $\varepsilon = 2,4$, $\chi = 0,65$.

Похибка ПЕОМ, як і похибка контролера ($\gamma_{\text{ПЕОМ}}$), є адитивною, а закон розподілу будемо вважати рівномірним з шириною $\pm 10^{-6}\%$. Тоді СКВ цієї похибки $\sigma_{\text{ПЕОМ}} = \gamma_{\text{ПЕОМ}} / \sqrt{3} = 10^{-6} \sqrt{3} = 5,78 \times 10^{-6}\%$. Параметри рівномірного розподілу: $k = 1,73$, $\varepsilon = 1,8$ і $\chi = 0,745$.

Отже, визначено всі складові похибки (адитивні і мультиплікативні), їх закони розподілу, обчислено СКВ. Визначення сумарної похибки як функції

зміни значення самої вимірюваної величини проводиться шляхом розподілу всіх складових похибки (адитивних і мультиплікативних). Далі отримуємо суму адитивних складових, яка дає значення адитивної частини результуючої похибки, а сума мультиплікативних складових – мультиплікативну складову.

Для усунення впливу деформації форми законів розподілу при сумуванні похибки всі складові, що сумуються, представляються своїми СКВ. У результаті сумування СКВ вихідних складових отримують СКВ, відповідно адитивної і мультиплікативної складових результуючої похибки.

Розрахунок результуючої похибки зводиться до обчислення похибки, яка включає в себе всі складові. Вибір методу сумування залежить від того, чи є корельованими або незалежними похибки, які ми сумуємо. Доцільно одразу виділити корельовані похибки і виконати їх алгебраїчне сумування. Для алгебраїчного сумування корельованих похибок необхідно встановити їх знак. Після врахування кореляційних зв'язків всі отримані похибки можна сумувати як незалежні.

У вимірювальному каналі тиску похибок, які б мали кореляційний зв'язок немає, тому результуючу похибку слід розраховувати як сумування під коренем квадратів всіх складових. Похибка даного каналу включає в себе чотири складові: $\sigma_p=0,218\%$, $\sigma_K=0,173\%$, $\sigma_{ш}=0,02\%$, $\sigma_{ПЕОМ}=5,78 \cdot 10^{-6} \%$.

Отже, СКВ похибки ВКТ визначається як:

$$\sigma_P=(\sigma_p^2+\sigma_K^2)^{1/2}=(0,218^2+0,173^2)^{1/2}=0,278 \approx 0,3\%.$$

Одна з просумованих складових (σ_p) похибки розподілена нормально, а всі інші (σ_K) – рівномірно. Для визначення ексцесу і ентропійного коефіцієнта результуючого розподілу необхідно розрахувати вагу дисперсії рівномірної складової із суми в загальній дисперсії:

$$p=\sigma_K^2/(\sigma_p^2+\sigma_K^2)=\sigma_K^2/\sigma_P^2=0,173^2/0,3^2=0,33$$

Ексцес даного розподілу буде визначатись як:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_K \cdot p^{2+6} \cdot p \cdot (1-p) + \varepsilon_p \cdot (1-p^2) = 1,8 \cdot 0,33^2 + 6 \cdot 0,33 \cdot (1-0,33) + 3 \cdot (1-0,33^2) = 4,19,$$

а контрексцес $\chi_p = 1/\sqrt{\varepsilon_p} = 1/(4,19)^{1/2} = 0,5$.

Ентропійний коефіцієнт композиції нормального і рівномірного розподілу можна отримати також аналітичним способом по наближеній формулі, яка апроксимує дану криву:

$$k_\Sigma = k_H - p^{1,4(5,7-k)} [0,14 + 0,4(k_H - k)^2], \quad (3.1)$$

де p – вага складової з ентропійним коефіцієнтом k ;

k_H – ентропійний коефіцієнт нормального розподілу ($k_H = 2,066$).

Отже, відповідно до даної формули значення k_T складатиме:

$$k_T = 2,066 - 0,33^{1,4 \cdot (5,7-1,8)} \cdot (0,14 + 0,4 \cdot (2,066 - 1,8)^2) = 2,0656 \approx 2,066.$$

Значення $k_T = 2,066$ відповідає нормальному закону розподілу, отже результатом сумування нормального і рівномірного розподілу в нашому випадку буде значення похибки, що розподілене за нормальним законом.

Проте слід зауважити, що внаслідок неточності оцінки СКВ, яке ми використовуємо – σ_Σ або ентропійного коефіцієнта k_Σ і оцінка P_d довірчої ймовірності буде також мати відповідний інтервал невизначеності. Залежності ентропійного коефіцієнта k_Σ від співвідношення сумованих складових і їх ентропійних коефіцієнтів приведені в додатку А. Тому отримане значення P_d необхідно закругляти і виражати не більше ніж двома знаками. Таким чином, $P_d = 0,899 + 0,1818/4,19 = 0,95$, тобто $\gamma_T = 0,62\%$ відповідає $\gamma_{0,95}$.

Підхід до здійснення метрологічного аналізу з використанням ентропійного коефіцієнта дає можливість:

- не встановлювати довільним рішенням значення ймовірності;
- приймати інтервал величини довіри, а також визначити точність

вимірювання за концепцією невизначеності вимірювань, оскільки ентропійний коефіцієнт використовується при розрахунках стандартної невизначеності кожної складової сумарної невизначеності, яка розраховується за типом В (коли відсутні результати багаторазових спостережень, що дають можливість визначити вплив даної складової). Отримані похибки вимірювання експериментальною установкою є значно меншими, ніж ті, що забезпечують самі методи. Проведемо оцінювання точності, що забезпечують самі методи.

3.7 Обґрунтування вимог до точності методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску

Методи визначення ДХ вимірювальних каналів тиску є ефективними при належному метрологічному забезпеченні, при якому задовільняються вимоги до точності. Проведемо аналіз джерел похибок, які в найбільшій мірі впливають на точність визначення ДХ: просторова і часова нестабільність роботи ТСО; наявність закупорок та повітря у вимірювальних лініях; нестационарність вимірюваного процесу тиску в ВКТ; похибки вимірювань тиску в ВКТ; похибки відновлення вхідного сигналу тиску при розв'язанні оберненої задачі вимірювань; неточність визначення опорних ДХ ВКТ [5, 6, 10].

Просторова і часова нестабільність роботи ВКТ, наявність шкідливих неоднорідностей у вимірювальній лінії є причиною нестационарності вихідних сигналів ВКТ. В першому розділі приведена методика усунення нестационарності без істотної втрати інформації про постійну часу ВКТ. Таким чином, в удосконалених методах здійснюється обробка стаціонарних вихідних сигналів. З одного боку, тривалість реалізації вихідного сигналу може бути невеликою (до десятка секунд) і цього достатньо для визначення постійної часу ВКТ методом розв'язання оберненої задачі вимірювань з використанням функціоналу (2.5). Рациональна кількість членів ряду N в (2.5) повинна бути від

30 до 40 (рис 3.7а). З іншого боку, для забезпечення бази даних вхідними сигналами при навчанні нейронної мережі тривалість зазначеної реалізації повинна бути великою (до десяти хвилин).

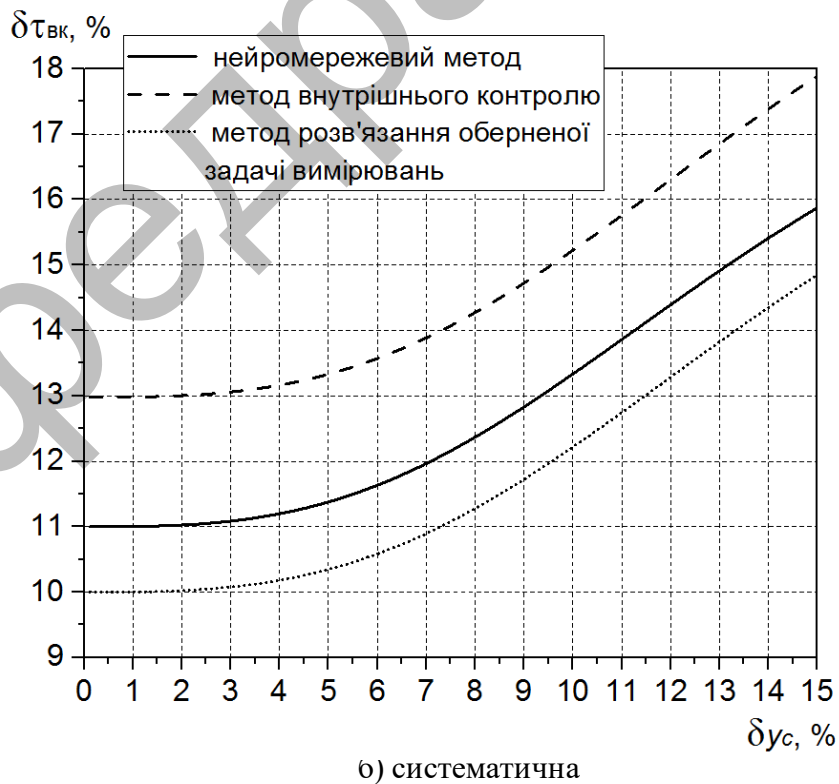
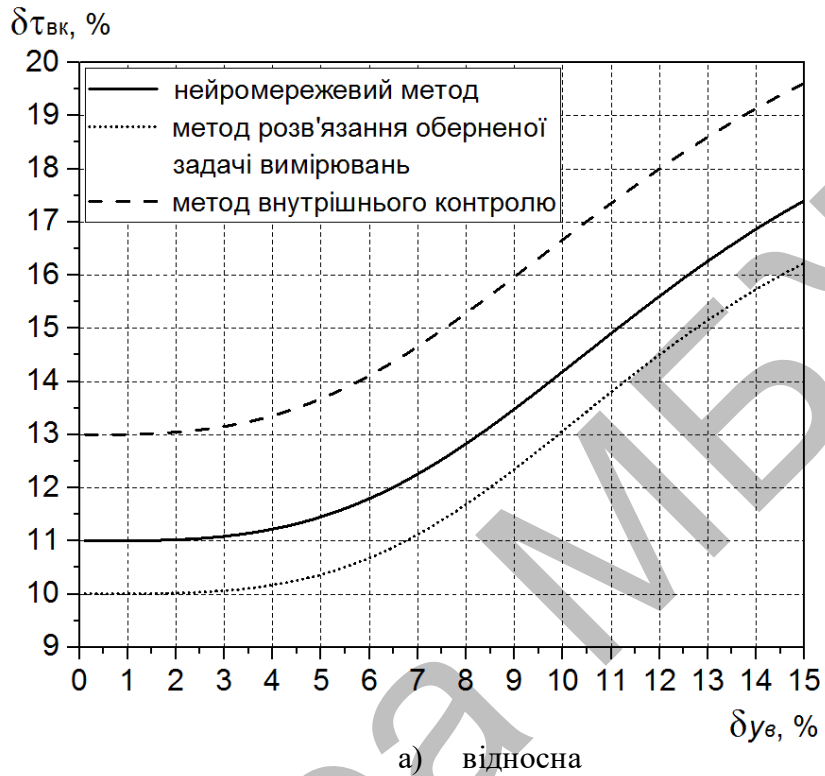


Рисунок 3.7 – Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ $\delta\tau_{вк}$ від величини відносних випадкової δy_{ϵ} та систематичної δy_c похибок вимірювання вихідного сигналу ВКТ

При такому часі гарантовано усувається нестационарність вихідного сигналу. Як було показано, для забезпечення похибки визначення постійної часу ВКТ методом розв'язання оберненої задачі вимірювань нейромережовим алгоритмом в процесі навчання $\delta\tau_{вк} \leq 15\%$ необхідно, щоб інтервал спостереження вихідного сигналу ВКТ був не менше 10 хвилин. Такий час дозволяє досягнути мінімальної похибки визначення постійної часу нейронною мережею (рис 3.7б).

На точність визначення постійної часу впливає рівень похибок вимірювання вихідних сигналів ВКТ. Чутливість удосконалених методів до систематичних δy_c та випадкових δy_{ϵ} похибок вимірювання вихідних сигналів є різною (рис 3.7).

При наявності надійних апріорних даних найменші похибки визначення постійної часу $\delta\tau_{вк}$ досягаються в методі оберненої задачі вимірювань та нейромережевому методі, як показують результати математичного моделювання по 50 вибірках вихідного сигналу. Допустимі рівні цих видів похибок для кожного методу різні.

Так, для методу розв'язання оберненої задачі вимірювань для досягнення похибки визначення постійної часу ВКТ, що не перевищує 10 % ($\delta\tau_{вк} = 10\%$) необхідно, щоб систематична похибка вихідного сигналу була не більшою 3,5% ($\delta y_c = 3,5\%$), а випадкова похибка приблизно 1% ($\delta y_{\epsilon} = 1\%$).

Для методу внутрішнього контролю ці цифри становлять: $\delta\tau_{вк} = 13\%$, $\delta y_c = 3\%$, $\delta y_{\epsilon} = 3\%$, а для нейромережевого методу: $\delta\tau_{вк} = 11\%$, $\delta y_c = 3,7\%$, $\delta y_{\epsilon} = 5\%$.

Рівень зазначених похибок істотно залежить від відношення сигнал/шум на виході ВКТ. Мінімум допустиме відношення сигнал/шум повинно

перевищувати 10 дБ, щоб задовольнити вимогам до похибки $\delta\tau_{вк} = 10\%$ для всіх розглянутих в роботі методів.

Оскільки в основу визначення постійної часу ВКТ покладено наявність бази даних відновлених вхідних сигналів, то необхідно висувати вимоги до точності їх відновлення. Залежність похибки визначення постійної часу ВКТ $\delta\tau_{вк}$ від похибки відновлення вхідних сигналів отримана шляхом математичного моделювання. Якщо така похибка досягає 10%, то похибка визначення постійної часу ВКТ зростає приблизно на 50%. Для забезпечення похибки визначення постійної часу ВКТ $\delta\tau_{вк} \pm 1,5\%$ похибка відновлення вхідного сигналу δx повинна бути не гірше: $\pm 2,5\%$ для методу внутрішнього контролю і $\pm 3\%$ для нейромережевого методу.

Всі вимоги щодо метрологічного забезпечення визначення постійної часу ВКТ повністю переносяться і на визначення інших ДХ, зокрема, перехідної та імпульсної характеристик, оскільки вони визначаються аналітично за результатами визначення постійної часу ВКТ. Використання графіків зображених на рис. 3.8–3.10 дозволяє визначити межі похибок вимірювання вихідних сигналів та відновлення вхідних дій, оцінити вплив відношення сигнал/шум на точність визначення постійної часу ВКТ. Крім того, в умовах нестационарності випадкових процесів тиску потрібно визначати якість усунення зазначеної нестационарності, яка може впливати на точність визначення постійної часу. Критерій залишкової нестационарності у відсотках встановимо у вигляді: $\xi = \eta_{тр} + \eta_{пер}$, де $\eta_{тр}$ – некомпенсована трендова складова нестационарного процесу; $\eta_{пер}$ – некомпенсована періодична складова нестационарного процесу. Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ $\delta\tau_{вк}$ від залишкової нестационарності ξ приведена на рис. 3.8.

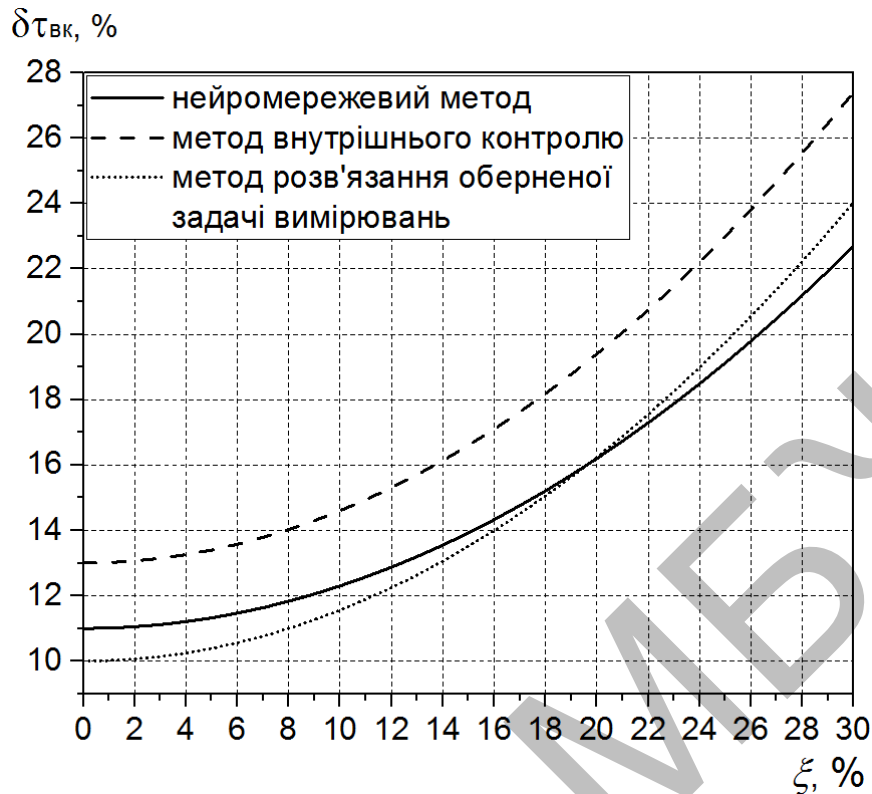


Рисунок 3.8 – Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ $\delta\tau_{вк}$ від залишкової нестационарності ξ технологічного процесу

Дослідження показали, що критерій залишкової нестационарності не повинен перевищувати: для методу оберненої задачі вимірювань – 8%, для методу внутрішнього контролю та нейромережевого методу – 6%. Також встановлена залежність відносної похибки визначення постійної часу вдосконаленими методами від температури вхідної дії (температури теплоносія) та рівня "старіння" ВКТ. Незалежно від рівня "старіння" нейромережевий метод дозволяє визначити постійну часу з точністю $\delta\tau_{вк} \leq 1,3\%$ (рис. 3.9).

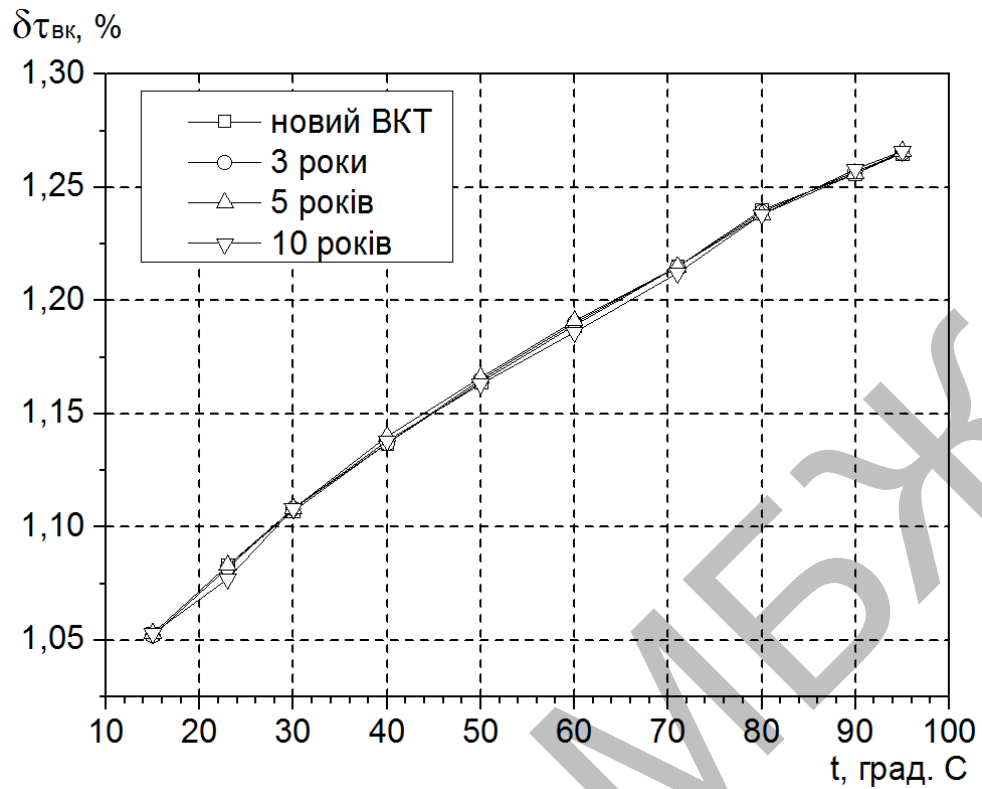


Рисунок 3.9 – Залежність відносної похибки визначення постійної часу нейромережним методом від температури вхідної дії та "старіння" ВКТ

Метод оберненої задачі вимірювань забезпечує визначення $\tau_{вк}$ у всьому температурному діапазоні теплоносія постійної часу з відносною похибкою $\delta\tau_{вк} \leq 12,5\%$ (рис. 3.10).

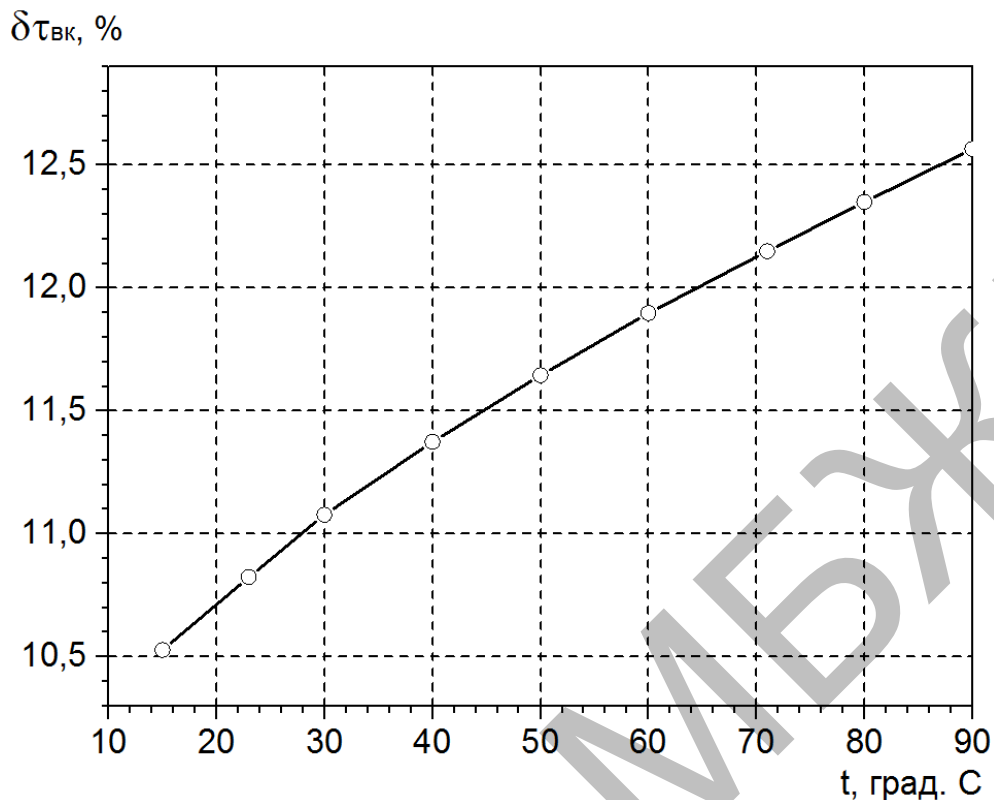


Рисунок 3.10 – Залежність усередненої відносної похибки визначення постійної часу ВКТ методом оберненої задачі вимірювань від температури вхідної дії

3.8 Висновки до розділу

1 Нормування динамічних характеристик вимірювального каналу тиску потребує оцінки впливу різних дестабілізуючих факторів і визначення вимог щодо факторів, які впливають на точність визначення постійної часу вдосконаленими методами.

2 Похибки визначення постійної часу вимірювального каналу тиску є різними для трьох вдосконалених в роботі методів. Для забезпечення допустимої похибки визначення постійної часу каналу в 10% необхідно здійснювати вимірювання вихідного сигналу з систематичними похибками, які не перевищують 3,5% для методу розв'язання оберненої задачі вимірювань, 3% для методу внутрішнього контролю і 3,7% для нейромережевого методу. Випадкові похибки для цих методів не повинні перевищувати відповідно 1%, 3% і 5%.

3 Точність всіх трьох методів істотно залежить від відношення

сигнал/шум, але, якщо це відношення більше 10 дБ, то похибки вимірювання постійної часу каналу при задовільних інших впливаючих факторах не перевищують 10%.

4 Методи внутрішнього контролю та нейромережевий метод використовують відновлені вхідні сигнали для своїх баз даних. Похибки відновлення таких сигналів не повинні перевищувати 3%.

5 Робота всіх розглянутих в дипломній роботі методів ґрунтується на використанні стаціонарних сигналів. Для цього на протязі від 10 хв до 15 хв в результаті статистичної обробки усувається нестационарність. При цьому залишкова нестационарність повинна знаходитись в межах від 6% до 8%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Розглянемо охорону праці при дослідженні методів визначення часу реакції датчиків температури.

Правовою основою законодавства по охороні праці є:

- 1) Конституція України [16];
- 2) Закони України: «Про охорону праці» [17];
- 3) Кодекс Законів про працю України (КЗоП) [18] і ін.

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

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

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

В Україні – першій серед країн СНД – 14 жовтня 1992 року був прийнятий Верховною Радою України Закон „Про охорону праці”, зі зміною від 4.02.2021 р. № 1213-ІХ.

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

Кодекс законів про працю України (КЗоП) регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи росту продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і підйомові на цій основі

матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини. Законодавство про працю установлює високий рівень праці, всіляку охорону трудових прав працівників.

4.1 Вимоги до мікроклімату

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 ЕОМ відноситься до категорії робіт 1а, 1б категоріям. Оптимальні параметри мікроклімату приведені в таблиці 4.1.

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

Приміщення повинні бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або вентиляцією.

Об'єм у повітрі робочої зони не повинне перевищувати:

- озону - 0.1 мг/ м³ ;
- оксидів азоту - 5 мг/ м²;

— пилу - 4 мг/ м².

4.2 Вимоги до освітлення

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

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

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

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50 град. до 90 град. відносною вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більш 200 кд/м², а захисний кут світильників повинний бути не більш 40 град.

Коефіцієнт запасу 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 розжарення. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла.

Загальні вимоги для природного і штучного освітлення:

1) необхідно передбачити обмеження прямих відблисків від джерела освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і знаходяться в полі зору, повинна бути не більш 200 кд/м²;

2) 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/м², яскравість стелі при застосуванні системи освітлення, що відбиває, не повинна перевищувати 200 кд/м²;

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

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

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

4.3 Вимоги до рівня шуму

Рівень шуму не повинен перевищувати:

- 40 дБ – при виконанні робіт, зв'язаних з виготовленням концепцій, розробкою нових програм, інших творчих робіт, а також при навчанні;
- 50 дБ – при виконанні робіт, зв'язаних з керівництвом людьми, що виконують розумові роботи (робота керівника);
- 55 дБ – при виконанні висококваліфікованої розумової роботи, що вимагає зосередженості;
- 65 дБ – при виконанні робіт з інструкцій (операторська і близькі до неї по діяльності), а також при виконанні точних зорових робіт.

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

4.4 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 (батарей опалення, водопровідні труби, кабелі з заземленим відкритим екраном і ін.), повинні бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

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

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

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

Електромережі штепсельних з'єднань і електророзеток для живлення ПК, периферійних пристосувань і устаткування для обслуговування ремонту і налагодження варто виконувати за магістральною схемою 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 і 220 В.

ВИСНОВКИ

В результаті вирішення поставленої на дипломну роботу науково-практичної задачі розглянуто три різних, але тісно зв'язаних між собою методи зменшення динамічних похибок вимірювань датчиків тиску на технічно складних об'єктах.

Основними є наступні результати роботи:

1 Обґрунтовано та встановлено наступні припущення та обмеження проаналізованих в роботі методів визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску на технічно складних об'єктах:

- вхідний процес вимірювального каналу тиску є квазістаціонарним;
- вхідний шум в межах смуги пропускання вимірювального каналу тиску є близьким до "білого";
- вимірювальний канал тиску є лінійним та інерційним.

2 Доведено, що в результаті "старіння" вимірювального каналу тиску постійна часу за десять років експлуатації збільшується в 1,5–2 рази і може виходити за межі допустимих значень. Встановлено, що "старіння" елементів вимірювального каналу тиску практично не змінює лінійності робочої ділянки його функції перетворення.

Нормування динамічних характеристик вимірювального каналу тиску потребує оцінки впливу різних дестабілізуючих факторів і визначення вимог щодо факторів, які впливають на точність визначення постійної часу вдосконаленими методами.

3 Похибки визначення постійної часу вимірювального каналу тиску є різними для трьох розглянутих в роботі методів. Для забезпечення допустимої похибки визначення постійної часу каналу в 10% необхідно здійснювати вимірювання вихідного сигналу з систематичними похибками, які не перевищують 3,5% для методу розв'язання оберненої задачі вимірювань, 3% для методу внутрішнього контролю і 3,7% для нейромережевого методу. Відповідно випадкові похибки для цих методів не повинні перевищувати 1%, 3% і 5%.

4 Точність всіх трьох методів істотно залежить від відношення сигнал/шум, але, якщо це відношення більше 10 дБ, то похибки вимірювання постійної часу каналу при задовільних інших впливаючих факторах не перевищують 10%.

5 Методи внутрішнього контролю та нейромережевий метод використовують відновлені вхідні сигнали для своїх баз даних. Похибки відновлення таких сигналів не повинні перевищувати 3%.

6 Робота всіх розглянутих в дипломній роботі методів ґрунтується на використанні стаціонарних сигналів. Для цього на протязі від 10 хв до 15 хв в результаті статистичної обробки усувається нестационарність. При цьому залишкова нестационарність повинна знаходитись в межах від 6% до 8%.

Отже, в дипломній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-практична задача з розробки вимог до метрологічного забезпечення методів визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску на технічно складних об'єктах.

Результати досліджень доцільно використовувати:

а) у науково-дослідних установах для розробки нормативних документів, що регламентують зміст окремих етапів метрологічного забезпечення вимірювань на технічно складних об'єктах;

б) при проектуванні, випробуваннях і експлуатації вимірювальних каналів тиску:

- для поглибленого аналізу протікаючих процесів у вимірювальних каналах тиску;

- для підвищення достовірності дослідження і якості випробувань вимірювальних каналів тиску;

в) у вищих навчальних закладах – при підготовці спеціалістів за напрямками "Метрологія, стандартизація та сертифікація" і "Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології".

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваль А. О. Визначення постійної часу датчика при розв'язанні оберненої задачі вимірювань / А. О. Коваль, О. В. Полярус, Є. О. Поляков, А. І. Котова // Метрологія та прилади. – 2014. – №1. – С. 111–113.

2. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків: Лідер, 2017. 146 с.

3. Коваль А. О. Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача / А. О. Коваль, О. В. Полярус, А. О. Подорожняк // Вісник НТУ "ХПІ". – 2014. – №35. – С. 152–155.

4. Коваль А. О. Використання методу внутрішнього контролю для оцінки адекватності моделі вимірювального перетворювача / А. О. Коваль // ІХ МНПК "Метрологія та вимірювальна техніка". – 2014. – С. 23-26.

5. Коваль А. О. Використання методу внутрішнього контролю для досліджень перехідних характеристик давачів тиску / А. О. Коваль // Український метрологічний журнал. – 2015. – №1. – С. 64–67.

6. Полярус О. В. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення / О. В. Полярус, Є. О. Поляков. – Харків: Лідер, 2014. – 120 с.

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

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

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

10.Коваль А. О, Коваль О. А., Медведовська Я. С., Петрукович Д. Є., Діденко Н. В, Янушкевич С. Д., Лебединський А. В. Метод оцінювання невизначеності відновлення динамічних характеристик вимірювальних каналів в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах. Український метрологічний журнал. Харків, 2020. №3а. С 3-12. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3A.2020.217444>.

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

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

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

14.Плечова Є. О., Биценко Д. П. «Дослідження впливу неідентичності метрологічних характеристик пожежних сповіщувачів на достовірність роботи просторово розподілених охоронних систем». Студентська наукова робота

«Достовірність»: матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт із спеціальності «Пожежна безпека», м. Харків, 16 квітня 2021 р. Харків, 2021, с. 38. URL: <https://nuczu.edu.ua/ukr/rezultaty-konkursu>.

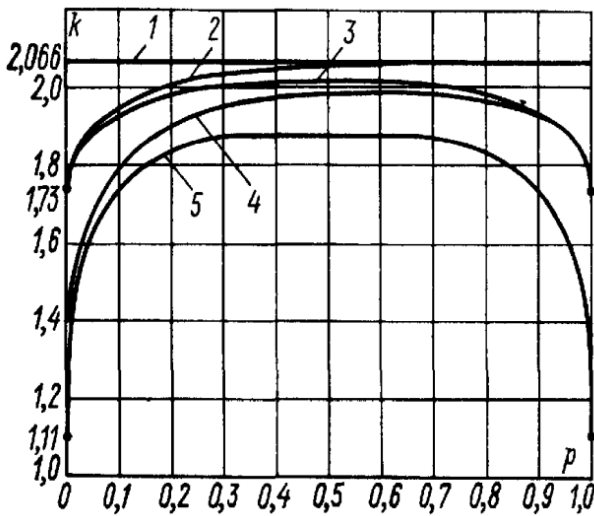
15. Коваль А. О., Полярус О. В. Вплив "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики. Системи обробки інформації. 2014. Вип. 6. С. 123–126.

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

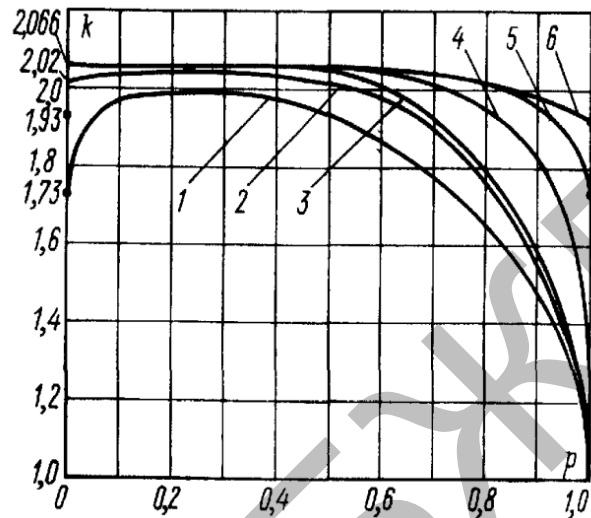
17. Полярус О. В., Коваль А. О. Використання методу шумів та online діагностики для вдосконалення метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах. Вісник НТУ "ХПІ". 2015. №35. С. 152–156.

Кафедра

ДОДАТОК А
ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕНТРОПІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІД
СПІВВІДНОШЕННЯ СУМАРНИХ СКЛАДОВИХ ІЇХ ЕНТРОПІЙНИХ
КОЕФІЦІЄНТІВ



а) крива 1 - відповідає сумуванню двох складових розподілених нормально; крива 2 - рівномірна з нормальною; крива 3 - дві складові розподілені рівномірно; крива 4 - арксинусоїдальна і рівномірна; крива 5 - два



б) криві 1-3 відповідають сумуванню рівномірного, трикутного і нормального розподілу з дискретним двохранним розподілом; криві 4-6 - сумування нормального розподілу відповідно з арксинусоїдальним, рівномірним і

Рисунок А1 - Графіки залежності ентропійного коефіцієнта k_{Σ} від співвідношення сумованих складових і їх ентропійних коефіцієнтів

ДОДАТОК Б
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Кафедра МБЖД

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

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра


ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.


Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.

Керівник, канд. техн. наук, доц.

Студент гр. ММ-61-22


О. І. Богатов


І. В. Грайворонська


О. І. Богатов


В. Ф. Подригало

м. Харків - 2023

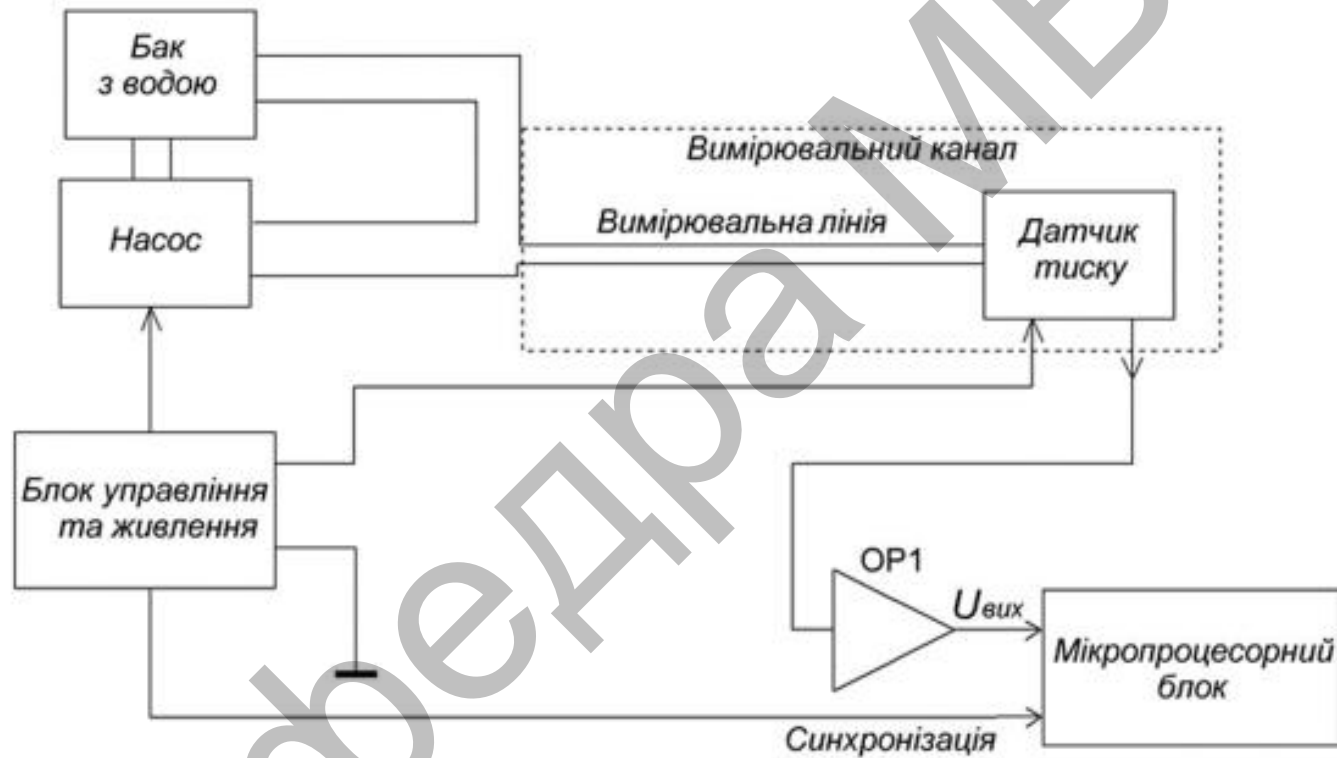
ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження – вимірювальний канал тиску.

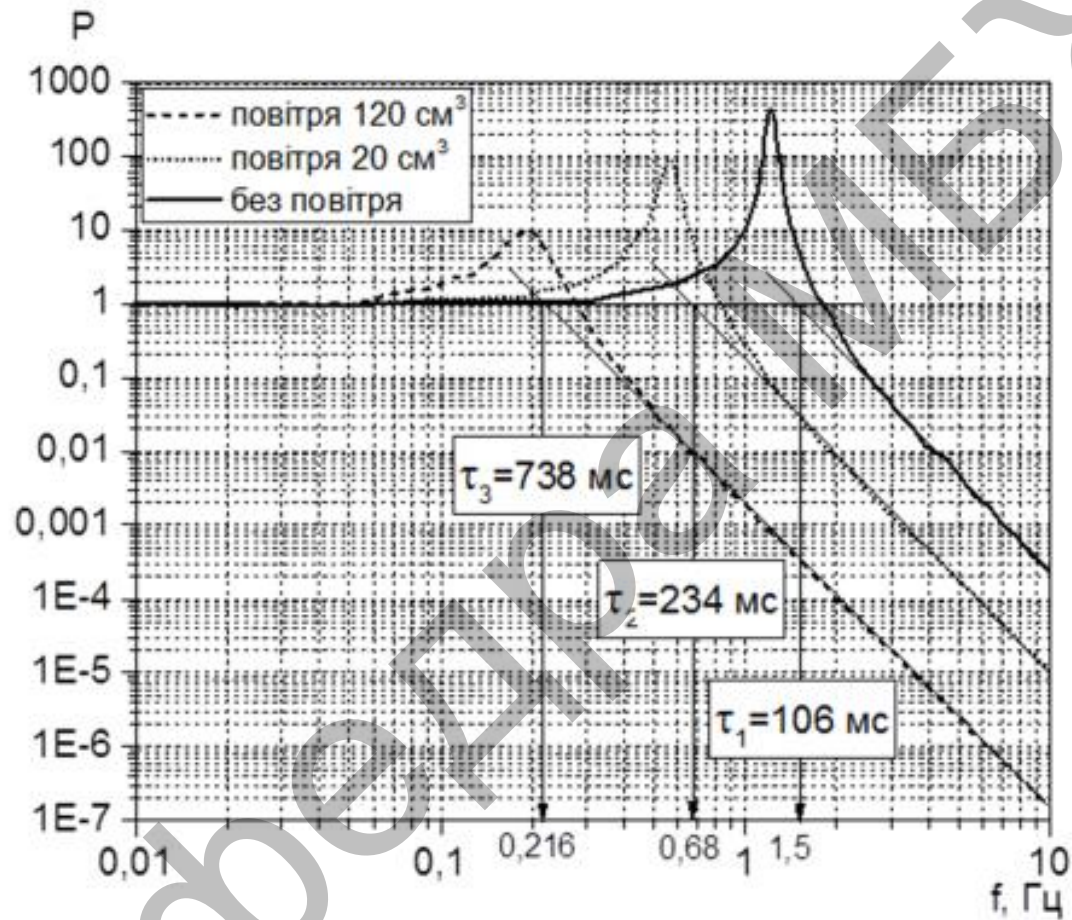
Мета роботи – дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.

Методи дослідження – статистичний, часовий та спектральний аналіз часових вибірок.

СТРУКТУРНА СХЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ШУМІВ

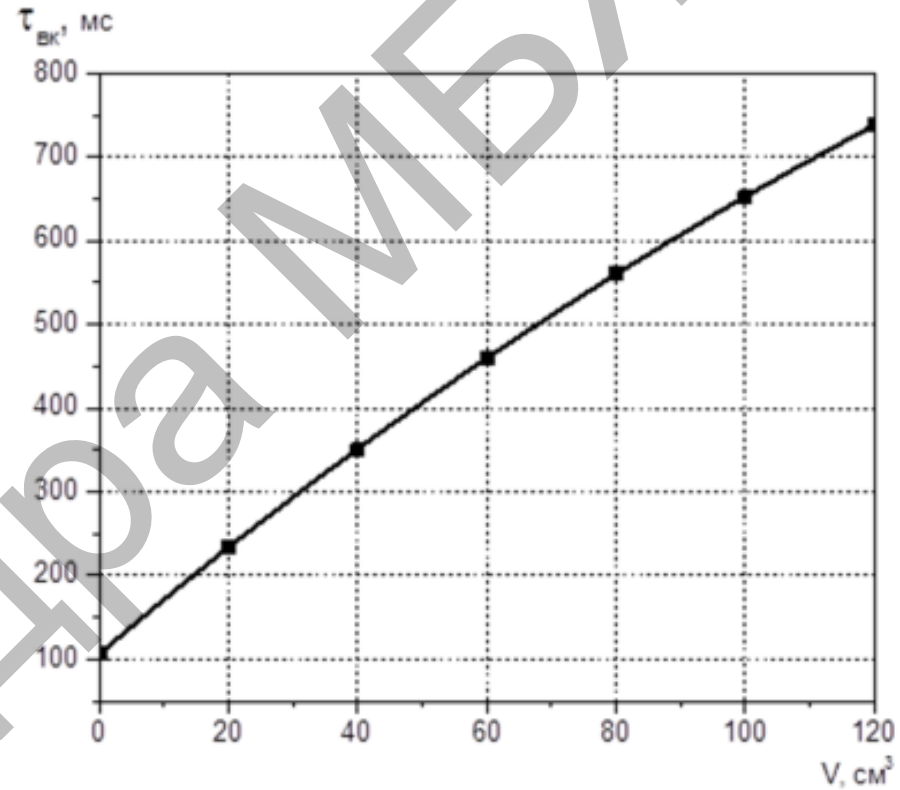


ГРАФІКИ СЩП ПРИ НАЯВНОСТІ ПОВІТРЯ В ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ



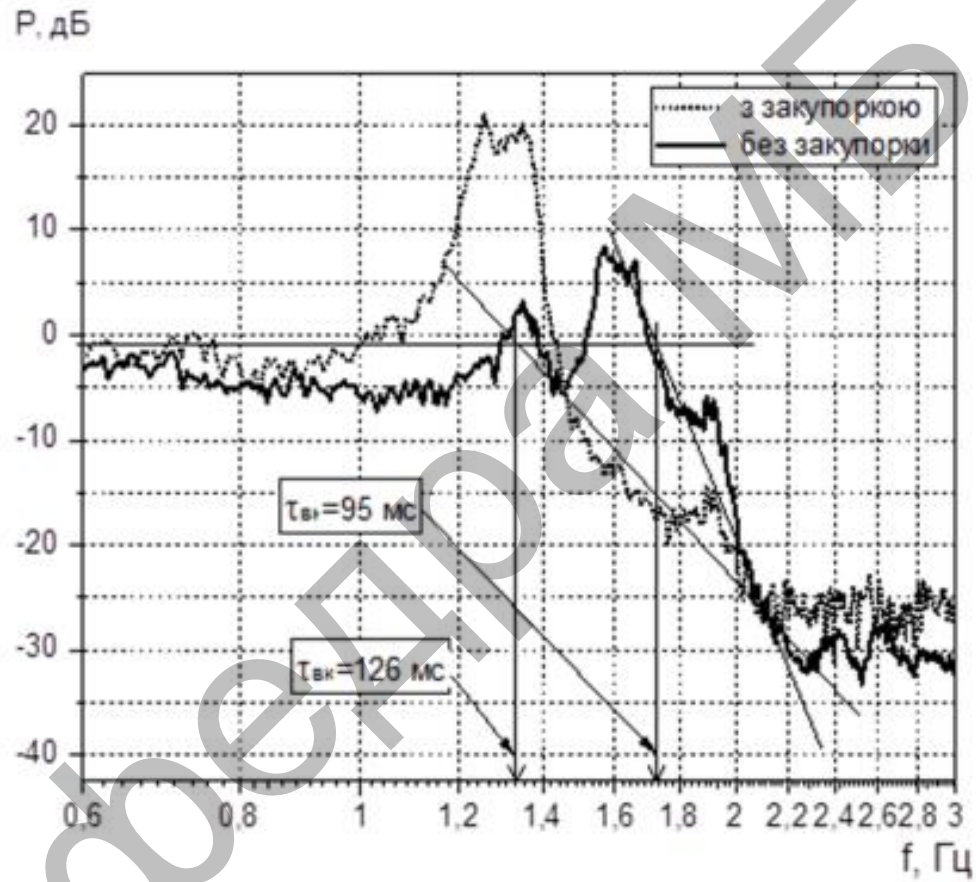
ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ВКТ ВІД ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ

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



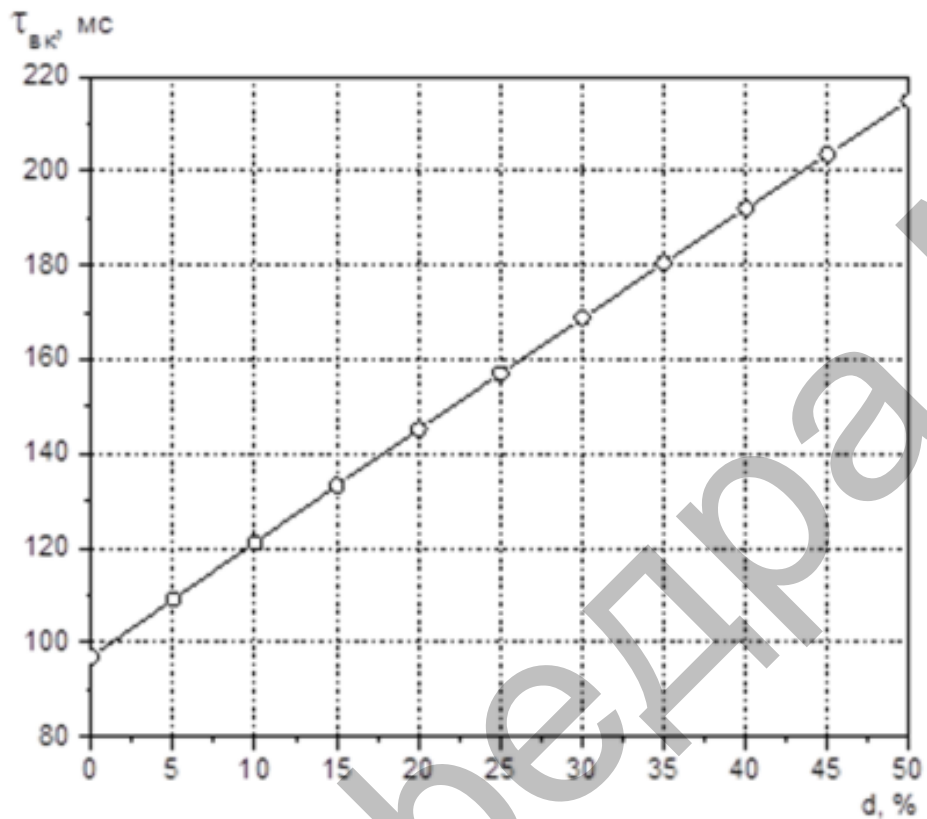
Кафедра МЕЖД

СЩП СИГНАЛУ ДЛЯ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ ПРИ НАЯВНОСТІ ТА ПРИ ВІДСУТНОСТІ ЗАКУПОРОК У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ



КАРФЕД

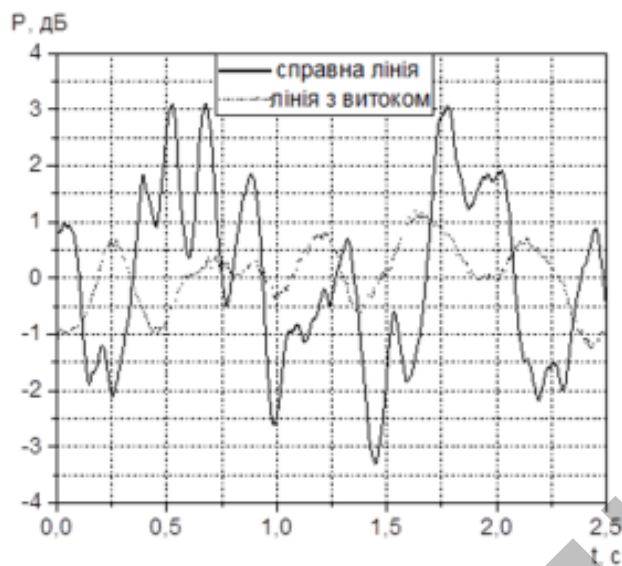
ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ВКТ ВІД ВІДНОСНОЇ ЗАКУПОРКИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ



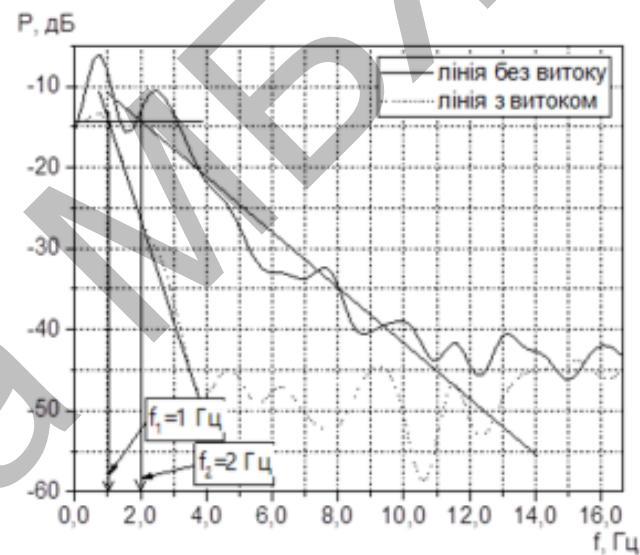
$$d = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{макс}}} \cdot 100\%$$

Карфаєв МБЖД

ВПЛИВ ВИТОКУ В ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ НА СЦП СИГНАЛУ ВКТ



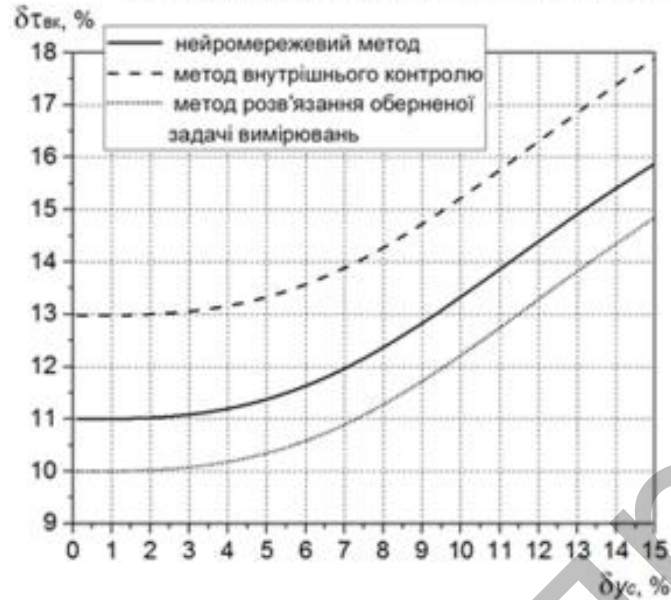
а) сигнал шуму



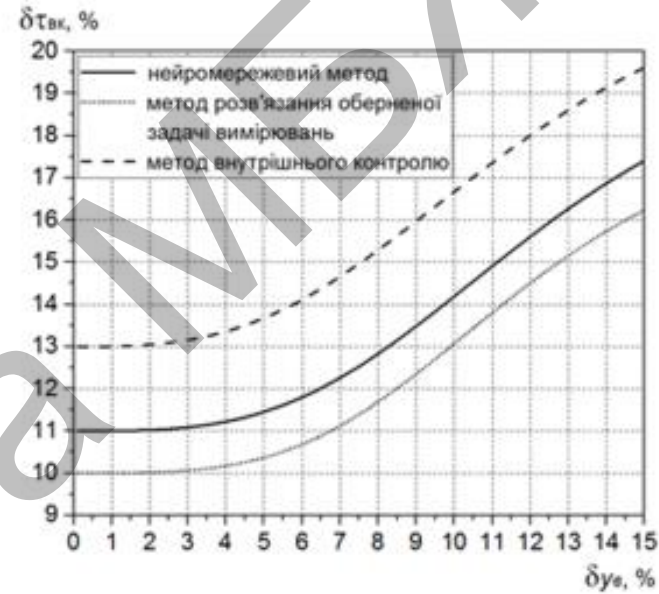
б) СЦП сигналу шуму

Рисунок 1– Сигнал шуму та його СЦП на виході каналу тиску при відсутності і наявності витокм у вимірювальній лінії

ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВКТ



а) систематична похибка



б) випадкова похибка

Рисунок 2 – Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ від величини відносних систематичної та випадкової похибок вимірювання вихідного сигналу ВКТ

ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВКТ

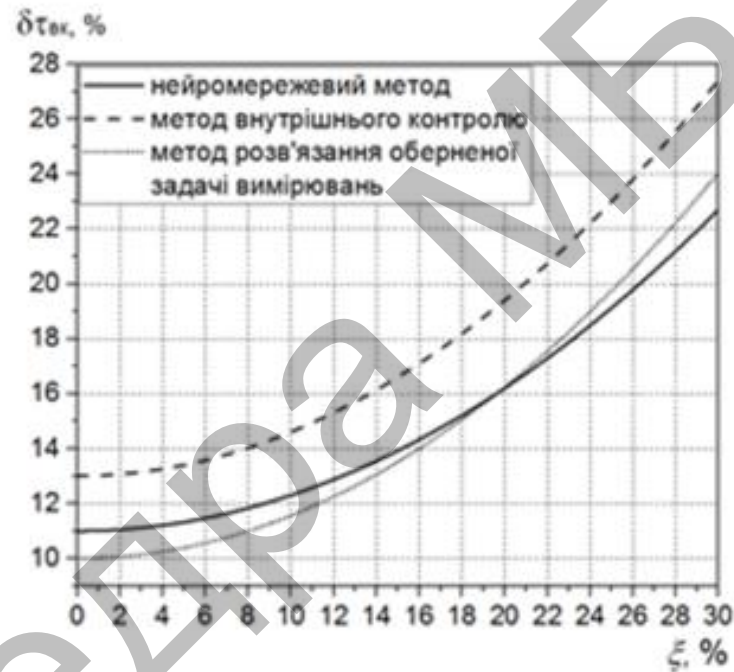


Рисунок 3 - Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ від залишкової нестационарності технологічного процесу

Кафедра МЕЖД

ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВКТ

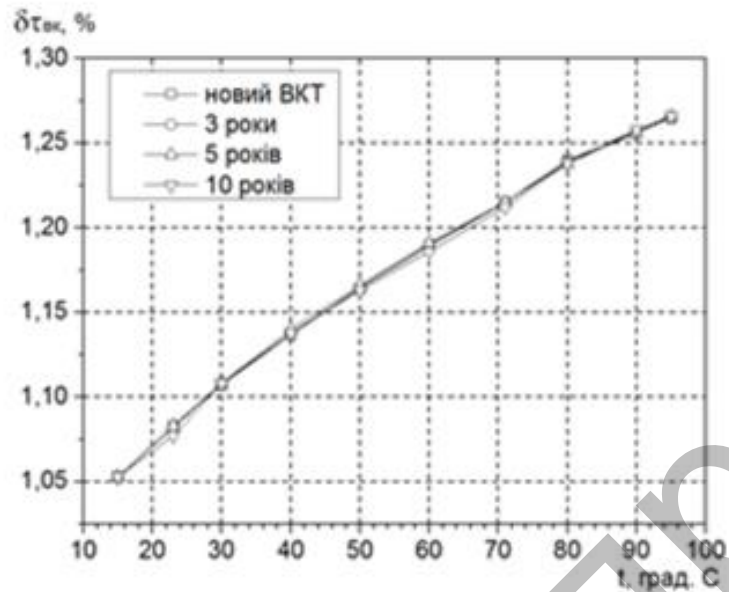


Рисунок 4 – Залежність відносної похибки визначення постійної часу ВКТ вимірювань нейромережним методом від температури вхідної дії та "старіння" каналу тиску

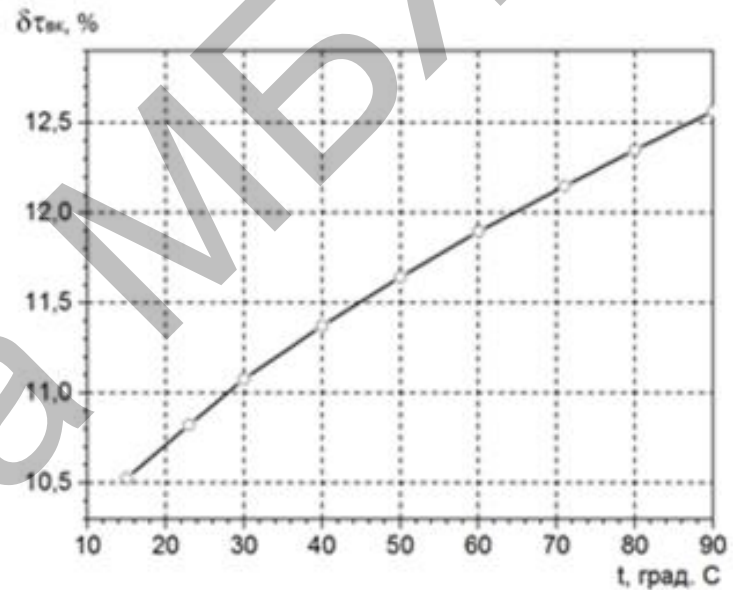


Рисунок 5 – Залежність усередненої відносної похибки визначення постійної часу ВКТ методом оберненої задачі вимірювань від температури вхідної дії

Кафедра МБЖД

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень, проведених при виконанні дипломної роботи магістра отримані наступні результати:

- пронормовані метрологічні характеристики вимірювального каналу тиску;
- обґрунтовані вимоги до метрологічного забезпечення методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску;
- встановлені основні джерела похибок, що виникають при використанні стенду дослідження каналу тиску. Для забезпечення похибки визначення постійної часу ВКТ інтервал спостереження вихідного сигналу ВКТ повинен бути не менше 10 хвилин, систематичні та випадкові відносні похибки вимірювання вихідного сигналу ВКТ менше 2%, мінімальне допустиме значення відношення сигнал/шум повинно бути більше 10 дБ, залишкова нестационарність вихідного випадкового процесу не повинна перевищувати 6%.

Таким чином, в дипломній роботі магістра на основі всебічних досліджень вирішена актуальна науково-практична задача дослідження методів прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.