

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА

бакалавра

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доцент



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук



М. В. Москаленко

Консультант, канд. техн. наук, доцент




А. О. Коваль

Керівник, канд. техн. наук, доцент



О. І. Богатов

Студент гр. ММз-51-18



Р. О. Добрянський

Харків – 2023

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет механічний
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

О. І. Богатов



«3» квітня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Добрянському Роману Олексійовичу

1. Тема роботи: «Розроблення методики визначення динамічних характеристик датчиків тиску».
Керівник роботи Богатов Олег Ігорович, канд. техн. наук, доцент
Затверджені наказом по вищому навчальному закладу від "31" березня 2023 року протокол № 31.
2. Строк подання студентом роботи 10.06.2023 р.
3. Вхідні дані до роботи: 1 Параметри технологічного процесу системи охолодження; 2 Режими роботи вимірювального каналу тиску; 3 Вимірюваний параметр – тиск.
4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Вступ; 2 Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії каналу тиску; 3 Методика визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску; 4 Оцінка похибок визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії методом аналізу шумів; 5 Охорона праці і навколишнього середовища; 6 Висновки; 7 Список літератури.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): не задано.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

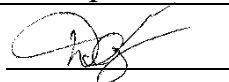
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Канд. техн. наук, доц. Коваль А. О.	03.04.2023 	08.06.2023 

7. Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення літератури.	3 квітня – 17 квітня 2023 р.	виконано
2.	Вивчення особливостей вимірювань тиску на технічно складних об'єктах.	18 квітня – 24 квітня 2023 р.	виконано
3.	Аналіз методів визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії каналу тиску.	19 квітня – 26 квітня 2023 р.	виконано
4.	Визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії вимірювального каналу тиску.	27 квітня – 15 травня 2023 р.	виконано
5.	Оцінка похибок визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії методом аналізу шумів.	16 травня – 23 травня 2023 р.	виконано
6.	Формулювання висновків.	24 травня – 27 травня 2023 р.	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки.	28 травня – 4 червня 2023 р.	виконано
8.	Створення презентації на Power Point.	5 червня – 7 червня 2023 р.	виконано
9.	Подання роботи керівнику.	8 червня 2023 р.	виконано
10.	Подання роботи на рецензію.	10 червня 2023 р.	виконано

Студент



Добрянський Р. О.

Керівник роботи



Богагов О. І.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота бакалавра: 70 с., 14 рис., 4 таб., 25 джерел, 2 додатки
ВИМІРЮВАЛЬНА ЛІНІЯ, ВИМІРЮВАЛЬНІ КАНАЛИ, ДИНАМІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ, МЕТОД ШУМІВ, СПЕКТРАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ
ПОТУЖНОСТІ.

Об'єкт дослідження – процес визначення динамічних характеристик в вимірювальних каналах тиску.

Мета роботи – розроблення методики визначення динамічних характеристик датчиків в вимірювальних каналах тиску.

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

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методики визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску з використанням методу порівняння опорної експериментальної і теоретичної моделей вимірювального каналу. Плинні динамічні характеристики вимірювального каналу тиску визначаються з врахуванням параметрів вимірювальної лінії.

Практична значимість результатів, отриманих в роботі, полягає в тому, що визначені динамічні характеристики вимірювального каналу тиску можуть бути використані при обґрунтуванні напрямків удосконалення виробництва, при розробці технічної документації на засоби вимірювальної техніки, створенні нормативно-технічних документів з питань проведення перевірки та калібрування вимірювальних систем на підприємствах.

Результати роботи можуть бути також використані у вищих навчальних закладах при підготовці фахівців за спеціальністю 175 "Інформаційно-вимірювальні технології".

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз методів визначення динамічних характеристик датчиків тиску.....	9
1.1 Сутність методу аналізу шумів	9
1.2 Методика визначення постійної часу вимірювального каналу тиску	19
1.3 Висновки до розділу	21
2 Методика визначення динамічних характеристик датчиків тиску	22
2.1 Методика досліджень динамічних характеристик вимірювальної лінії з використанням методу лінійного сигналу	23
2.2 Методика визначення перехідних характеристик датчиків тиску.....	28
2.3 Висновки до розділу.....	33
3 Оцінка похибок визначення динамічних характеристик датчиків тиску методом аналізу шумів	34
3.1 Висновки до розділу	38
4 Охорона праці і навколишнього середовища.....	39
4.1 Висновки до розділу	45
Висновки.....	46
Перелік посилань.....	47
Додаток А Програма розрахунку перехідних характеристик вимірювальних каналів тиску.....	51
Додаток Б Ілюстративний матеріал до дипломної роботи	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС	Атомна електростанція
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
ПФ	Перехідна функція
ПХ	Перехідна характеристика
СКВ	Середньоквадратичне відхилення
РІА	Розподіл ймовірності амплітуди
СЩП	Спектральна щільність потужності
ТСО	Технічно складний об'єкт
ТУ	Технічні умови

ВСТУП

Ефективність використання замкнених систем управління складними технологічними процесами характеризується такими показниками як стійкість та час реакції. Час реакції системи управління в свою чергу складається з часу реакції вимірювальної інформаційної системи, часу прийняття рішення на управляючу дію та час роботи виконавчого механізму. Найбільш інерційними в цьому ряді є інерційність вимірювальної інформаційної системи та виконавчого механізму. Сучасні технології вже дозволяють проектувати та виготовляти виконавчі механізми з часом реакції в десятки - сотні мілісекунд. Поряд з цим час затримки та постійна часу інформаційно вимірювальних систем за останні 5 років зменшились не суттєво і мають величину майже одного порядку з часом реакції виконавчих механізмів. Отже дуже важливо знати плинні метрологічні характеристики вимірювальних інформаційних систем в процесі їх експлуатації.

На сьогодні висувуються жорсткі вимоги до якості та точності виконання технологічного процесу на техногенно-небезпечних об'єктах. Ці задачі вирішуються шляхом широкого впровадження в технологічний процес інтелектуальних автоматизованих систем управління [1]. Ефективність роботи систем управління в прямій мірі залежить від точності та достовірності вимірювальної інформації, яку вона отримує від об'єктової вимірювальної інформаційної системи. Стан вимірювальної лінії вимірювального каналу тиску, її нелінійність в значній мірі впливає на точність визначення її перехідної та імпульсної характеристик. Знання динамічних характеристик вимірювальної лінії каналу тиску на техногенно-небезпечних об'єктах дозволить прогнозувати метрологічну надійність вимірювальних інформаційних систем [2, 3].

Для вимірювання кожного технологічного параметра на АЕС використовують звичайно від двох до чотирьох датчиків. Таке взаємного дублювання датчиків покращує працездатність АЕС і дозволяє уникнути виникнення проблем з її експлуатацією або безпекою при виході з ладу

одиначного 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. Але єдиним компонентом, який не має резервування є вимірювальна лінія. Вона є загальним компонентом у всіх схемах резервування каналів і, як показав досвід експлуатації об'єктових інформаційних вимірювальних систем, в значній мірі визначає динамічні похибки 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.

У випадку комплексного використання вимірювальних систем із сучасними обчислювальними засобами і введення додаткової математичної обробки результатів вимірювань з врахуванням стану вимірювальної лінії можна значно підвищити точність динамічних вимірів тиску, поліпшити метрологічні характеристики вимірювальних систем і значно розширити функціональні можливості існуючих вимірювальних каналів. Це підвищує ефективність експлуатації вимірювальних інформаційних систем на АЕС без значних додаткових матеріальних витрат.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Вимірювальний канал тиску є основною складовою об'єктової вимірювальної інформаційної системи (ВІС). Вимірювальна лінія (ВЛ) є невід'ємним компонентом вимірювального каналу тиску (ВКТ). Особливістю вимірювальних ліній на ТСО є значна їх протяжність. Зазвичай довжина вимірювальної лінії становить (50 – 70) метрів. Як показали дослідження [3-10], внаслідок великої протяжності вимірювальні лінії значно впливають на точність визначення динамічних характеристик (ДХ) ВКТ.

Вимірювання динамічних характеристик ВКТ проводять на техногенно-небезпечних об'єктах принаймні по одній з наступних чотирьох причин:

- 1) Виконання вимог регламенту техногенно-небезпечних об'єктів або наглядових органів відносно вимірювань часу реакції;
- 2) Пошук несправностей з метою виявити причини порушення роботи датчиків, включаючи закупорки, наявність пустот або витоків;
- 3) Управління процесом старіння компонентів і оцінка ресурсу роботи і надійності систем вимірювання тиску, який залишився;
- 4) Розробка об'єктивного графіку заміни датчиків.

Динамічні характеристики вимірювальних ліній на ТСО не оцінюють взагалі, а лише оцінюють ДХ на техногенно-небезпечних об'єктах за допомогою методу аналізу шумів. Цей метод може бути також використаний для визначення динамічних характеристик вимірювальних ліній з використанням еталонних датчиків тиску [5]. Аналітичний метод приведено в додатку А.

1.1 Сутність методу аналізу шумів

Метод аналізу шумів ґрунтується на вивченні флуктуацій, які зазвичай присутні на виході вимірювальної лінії під час її роботи. Причиною цих флуктуацій

(шуму) є наступні фактори: турбуленція потоку води в системі, вібрації і деякі інші явища.

Метод аналізу шумів являє собою пасивний спосіб динамічного тестування систем вимірювань тиску і дозволяє визначити час реакції ВЛ, в результаті одного випробування. Дані за цим методом можуть бути отримані дистанційно під час роботи техногенно-небезпечних об'єктів без порушення нормальної роботи ВКТ. Застосування методу включає 3 етапи: отримання даних, перевірка адекватності і аналіз [5, 6].

Звичайний сигнал на виході датчика тиску являє собою постійний струм, на який накладається шум технологічного процесу у вигляді сигналу змінного струму. Шум виділяється з сигналу датчика шляхом видалення постійної компоненти сигналу і посилення змінної. Для цього достатньо застосувати звичайне обладнання для перетворення сигналу, включаючи підсилювачі, фільтри та інші компоненти. Після цього сигнал змінного струму оцифровується, використовуючи високу частоту дискретизації (наприклад, 100 кГц або 200 кГц), і запам'ятовується для подальшого аналізу. Аналіз може проводитися дистанційно, з використанням мережі Internet в режимі реального часу в процесі збору даних (online аналіз). Або автономно - без використання мережі Internet (offline аналіз) шляхом аналізу відновлених даних з запам'ятовуючого пристрою.

На рисунку 1.1 показаний сигнал шуму від датчика тиску САФІР-2171, записаний протягом 60 секунд [6, 7, 11]. Для кожного датчика (або для кожної групи датчиків) зазвичай записують сигнал шуму приблизно протягом 1 години, щоб використовувати ці дані для аналізу.

Зібрані дані повинні бути ретельно переглянуті і вивчені, перш ніж їх можна використовувати для будь-якого аналізу. Це вивчення зазвичай виконують за допомогою алгоритмів кваліфікації, включених до матзабезпечення і перевіряючих первинні дані на стаціонарність, лінійність і відсутність аномалій.

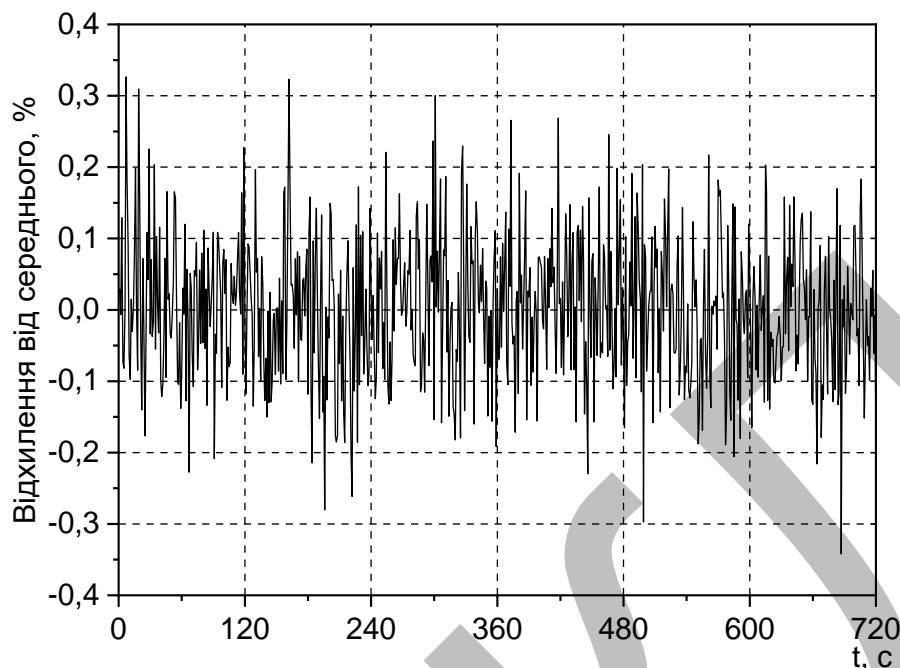


Рисунок 1.1 – Часова вибірка шуму вимірювальної лінії протяжністю 50 м

1) Для симетричного розподілу:

$$A_s = 0 \rightarrow \bar{X} = M_e = M_0. \quad (1.1)$$

Відповідно, у симетричному розподілі центральний момент 3-го порядку дорівнює нулю ($\mu^3 = 0$), тобто алгебраїчна сума відхилень окремих значень ознаки, розташованих ліворуч і праворуч від середнього значення, дорівнює нулю.

Для несиметричних розподілів центральні моменти непарного порядку відмінні від нуля:

2) Асиметрія позитивна ($A_s > 0$), якщо довга частина кривої розподілу розташованій праворуч від моди (M_0). У цьому випадку співвідношення між середньою, медіаною та модою порушене:

$$M_0 < M_e < \bar{X} \rightarrow \bar{X} - M_0 = +; \quad (1.2)$$

3) Асиметрія негативна ($A_s < 0$), якщо довга частина кривої розподілу розташована ліворуч від моди (M_0):

$$M_0 > M_e > \bar{X} \rightarrow \bar{X} - M_0 = - , \quad (1.3)$$

$A_s < 0,25$ – слабка асиметрія, $A_s < 0,25 - 0,5$ – помірна асиметрія, $A_s > 0,5$ – вкрай асиметричний розподіл.

Для оцінки «крутості» (гостроверхості) розподілу користуються характеристикою – ексцесом. Коефіцієнт ексцесу визначається як:

$$E_X = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3 \rightarrow \mu^4 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} . \quad (1.4)$$

Для нормального розподілу:

$$E_X = 0 \rightarrow \frac{\mu^4}{\sigma^4} = 3 . \quad (1.5)$$

Вище нормального (гостроверхий розподіл):

$$E_X = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3 > 0 \rightarrow \frac{\mu^4}{\sigma^4} > 3. \quad (1.6)$$

Нижче нормального (плосковерхий розподіл):

$$E_X = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3 < 0 \rightarrow \frac{\mu^4}{\sigma^4} < 3. \quad (1.7)$$

Використовуючи дані представлені в таблиці 1.1 розглянемо методику кваліфікації даних, яка полягає в наступному:

Таблиця 1.1 – Результати класифікації даних вимірювальної лінії тиску

Нижня границя	Верхня границя	Центр	Кількість	Частота	Розрахункові значення						
					X_{min}	X_{max}	X_i	f_i	$\sum f_i$	$X_i f_i$	$\sum (X_i - X)^2$
3.0	3.2	3.1	230	230	713	0.2156126	49.590908	-23.027	10.69242	-1.793598	0.0804
3.2	3.4	3.3	450	680	1485	0.0698762	31.444294	-8.312	2.197208	-1.021063	0.2371
3.4	3.6	3.5	780	1460	2730	0.0041398	3.2290247	-0.2078	0.0133674	-0.248529	0.3867
3.6	3.8	3.7	620	2080	2294	0.0184033	11.410072	1.54788	0.2099834	0.5240061	0.3485
3.8	4.0	3.9	380	2460	1482	0.11269305	42.813425	14.3707	4.8236561	1.2965408	0.1714
4.0	4.2	4.1	120	2580	492	0.2069305	34.431657	18.4436	9.8794916	2.0690756	0.0468
Сума			2580		9196	0.7076293	172.91938	2.81534	27.816133		
Середина		3.564						0.00109	0.0107814		

1) Визначається середній тиск датчика:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{9196}{2580} = 3.564 (\%), \quad (1.8)$$

де x_i - вимірне значення тиску;

f_i - частота попадання в заданий клас гістограми шириною h вимірного значення x_i .

2) Визначається зважене середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}} = \sqrt{\frac{172.919}{2580}} = 0,2589; \quad (1.9)$$

3) Визначається мода. Модальним інтервалом буде інтервал з найбільшою частотою:

$$\begin{aligned} M_0 &= X_{M_0} + h \frac{f_2 - f_1}{(f_2 - f_1) + (f_2 - f_3)} = \\ &= 3.4 + 0.2 \frac{780-450}{(780-450)+(780-620)} = 3.535, \end{aligned} \quad (1.10)$$

де X_{M_0} - значення вимірного тиску, яке відповідає початку класу гістограми з максимальною частотою;

f_2 - максимальна частота появи x_i ;

f_3 - частота x_i , яка передує f_2 ;

1) f_1 - частота x_i , яка передує f_3 .

2) Визначається медіана:

$$M_e = X_{M_0} + h \frac{\frac{\sum f_i}{2} - \sum f_i M_0 - 1}{f_{max}} = 3.4 + 0.2 \frac{\frac{2580}{2} - 680}{780} = 3.556, \quad (1.11)$$

де h - ширина класу гістограми;

f_{\max} - максимальна частота x_i ;

$f_{i_{M_0}}$ - частоти x_i , які попали в клас з максимальною частотою.

Отримані гістограма розподілу тиску в вимірювальному каналі вимірюного датчиком САФІР-2171 та функція розподілу тиску в ньому приведені відповідно на рисунках 1.1 та 1.3.

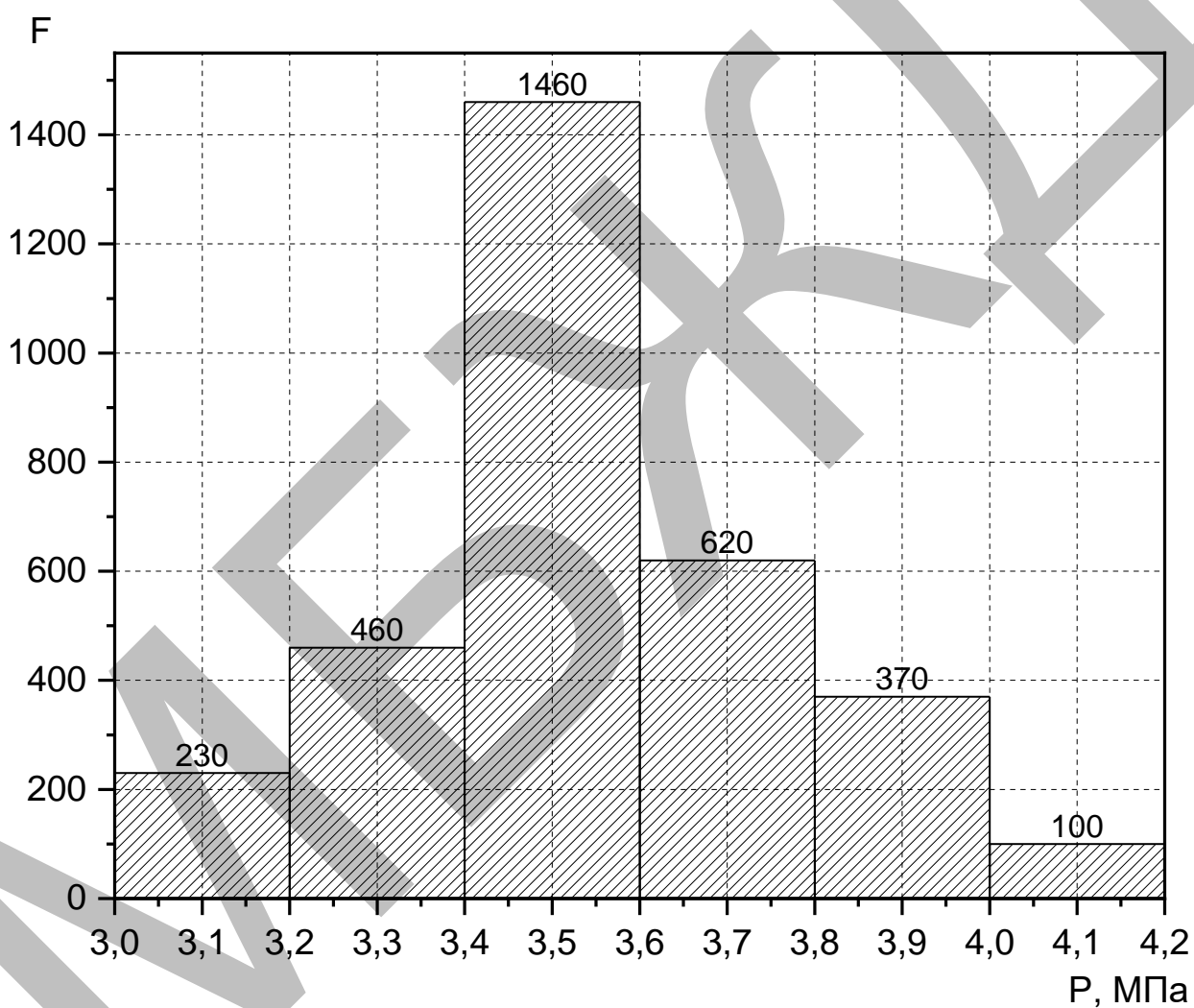


Рисунок 1.2 – Гістограма розподілу тиску в вимірювальній лінії вимірюного датчиком САФІР-2171

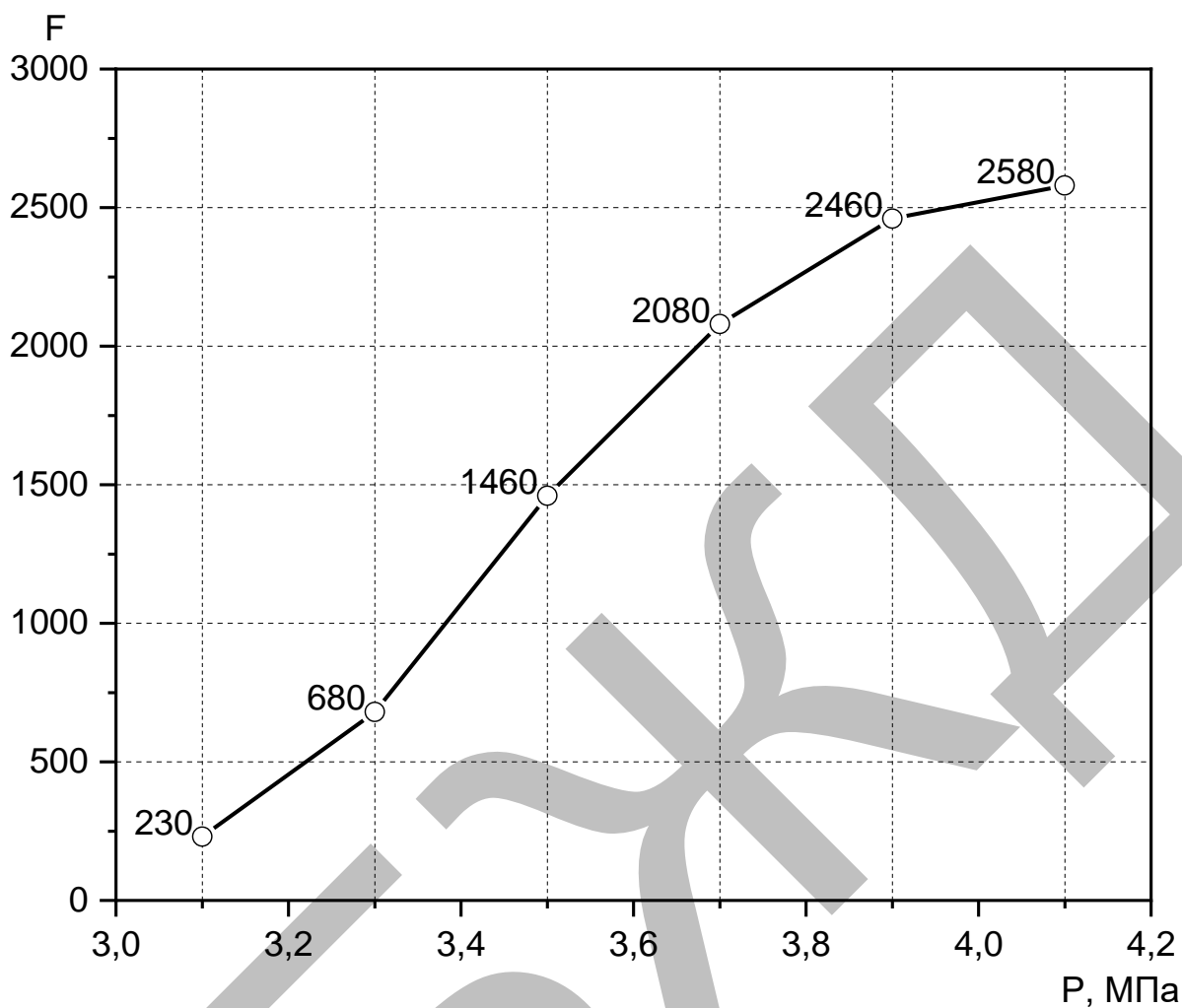


Рисунок 1.3 – Функція розподілу тиску в вимірювальній лінії

3) Визначається коефіцієнт асиметрії:

$$A_s = \frac{\mu^3}{\sigma^3} = \frac{0.00109}{0.01735} = 0.0629 > 0; \quad (1.12)$$

$$\mu^3 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{2.81534}{2580} = 0.00109; \quad (1.13)$$

4) Визначається коефіцієнт ексцесу:

$$E_X = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3 = \frac{0.01078}{0.00449} - 3 = -0.5999 < 0; \quad (1.14)$$

$$\mu^4 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{27.816}{2580} = 0.01078. \quad (1.15)$$

За результатами аналізу отриманих розрахунків робиться висновок про характер розподілу (плосковерхий, гостроверхий) та його асиметрію.

Наприклад, як це показано на рисунку 1.4, будують графік розподілу ймовірностей амплітуд (РЙА) і проводять його перевірку на відсутність асиметрії.

Для характеристики ступеня асиметрії двох або декількох рядів користуються коефіцієнтом асиметрії. Для одновершинних розподілів:

$$A_s = \frac{\bar{x} - m_0}{\sigma}. \quad (1.16)$$

Більш точним є коефіцієнт асиметрії, розрахований як відношення центрального моменту третього порядку (μ^3) до середньоквадратичного відхилення в 3-у ступені:

$$\mu^3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}, \quad (1.17)$$

$$A_s = \frac{\mu^3}{\sigma^3}. \quad (1.18)$$

Асиметрія розподілу ймовірності амплітуди (рисунок 1.5) може бути наслідком наявності аномалій в зібраних даних, включаючи нелінійність випробуваної вимірювальної лінії.

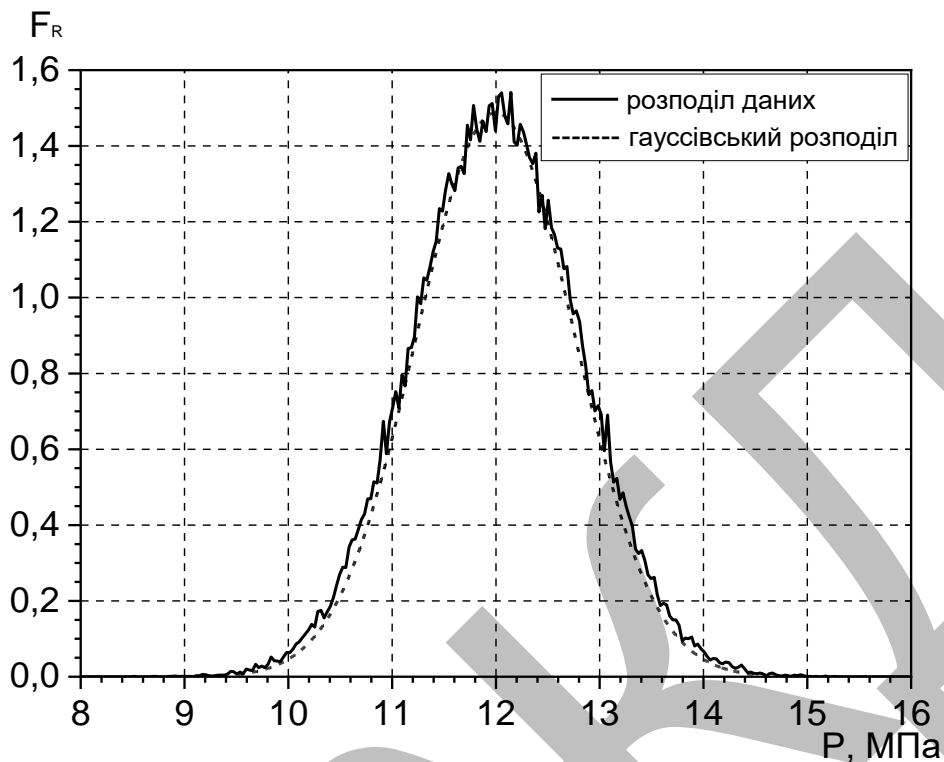


Рисунок 1.4 – Нормальний розподіл ймовірності амплітуди сигналу шуму в вимірювальній лінії

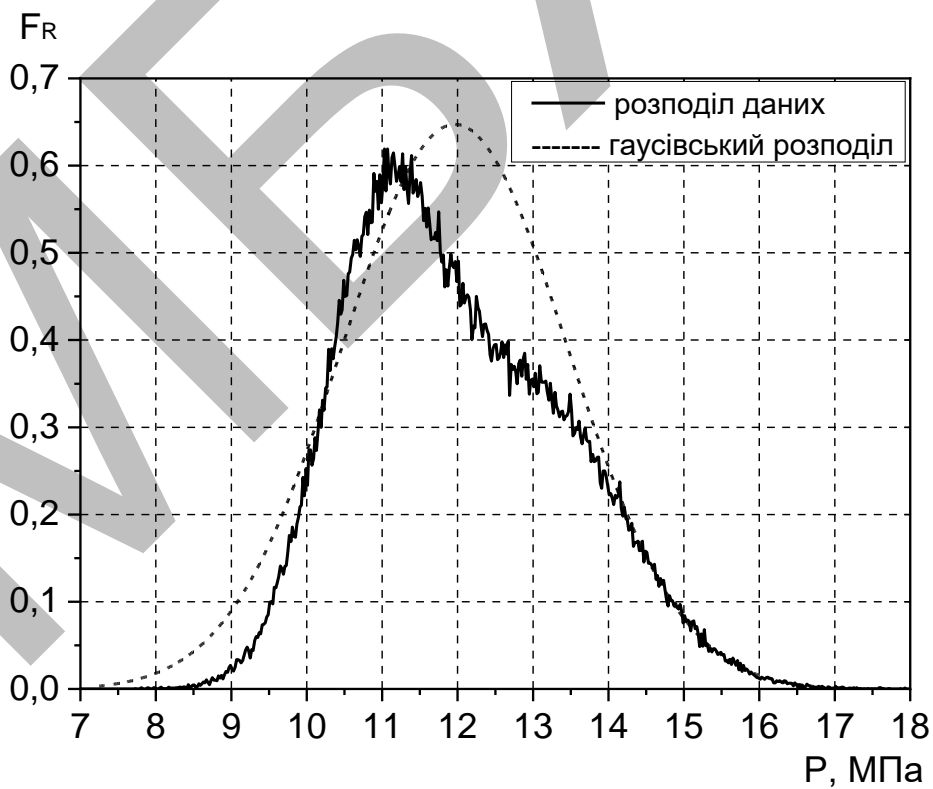


Рисунок 1.5 – Асиметричний розподіл ймовірності амплітуди сигналу шуму в вимірювальній лінії

Графік РІА на рисунку 1.4 симетричний по відношенню до середнього значення даних шуму і відповідає розподілу Гауса (або нормальному розподілу, дзвоноподібної кривої), яке нанесено на РІА.

Крім вивчення графіка РІА, для класифікації даних обчислюють і вивчають такі параметри, як середнє значення, дисперсія, асиметрія і зглаженість для кожної частини вихідного масиву даних, щоб переконатися, що там відсутні насичення, вплив зовнішніх факторів, відсутні дані або інші небажані аномалії. Будь-яка частина масиву даних, в якій виявлена аномалія, видаляється із зареєстрованого масиву, перш ніж він буде проаналізований.

1.2 Методика визначення постійної часу вимірювального каналу тиску

Методики 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 з розробки методик визначення ДХ вимірювальних каналів тиску на ТСО.

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

характеристики ВКТ можна визначити аналогічно [12–15]. З іншого боку, може виявитись, що динамічні характеристики датчика, що взятий окремо, і його ж ДХ, але у складі вимірювального каналу, не завжди співпадають. Ось чому виникає необхідність визначення ДХ як всього ВКТ, так і його складових.

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 рисунку 1.6 представлений графік СЩП для датчика тиску системи охолодження другого контуру Хмельницької АЕС.

Сутність методики полягає в тому, що за даними поточних вимірювань визначається СЩП виміряного сигналу на виході каналу тиску. Далі від максимального рівня найнижчої частоти в спектрі вихідного сигналу береться рівень мінус 3 дБ. Точка перетину на спаді спектральної огинаючої визначає власну частоту вимірювального каналу (рисунок 1.6).

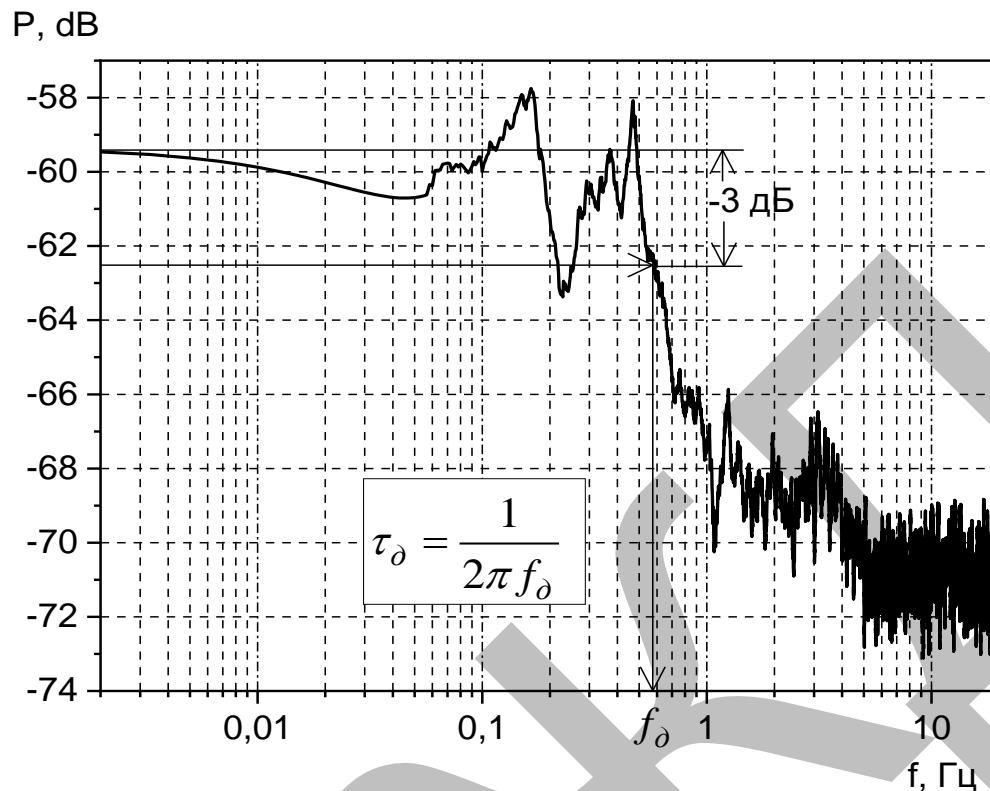


Рисунок 1.6- – Приклад СЦП для вимірювального каналу тиску

1.3 Висновки до розділу

Запропонована методика кваліфікації, яка ґрунтується на методі шумів, дозволяє виключити з аналізу аномалії даних, насичення, та вплив зовнішніх факторів. Будь-яка частина масиву даних, в якій виявлена аномалія, видаляється із зареєстрованого масиву, перш ніж він буде поданий для подальшого аналізу.

Розглянуті в даному розділі методи визначення динамічних характеристик методом аналізу шумів можуть бути отримані в online режимі з використанням Internet в процесі експлуатації АЕС без порушення нормальної роботи вимірювальних каналів тиску, причому з кількох датчиків одночасно.

2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Методика визначення динамічних характеристик вимірювального каналу тиску в даному розділі буде розглядатися в наступному порядку. Спочатку буде розглянута методика визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії, а потім методика визначення динамічних характеристик датчиків тиску в цілому.

Перед початком досліджень необхідно перевірити технічний стан та справність вимірювальної лінії і провести калібрування датчиків тиску [13,14]. Для підвищення достовірності досліджень всі датчики тиску діляться на групи (по числу типів датчиків) по 5 датчиків в групі. Всі датчики в групі повинні бути однотипними однієї серії та партії. Експерименти необхідно проводити для кожної групи окремо з наступним усередненням отриманих результатів. Досліджуються спочатку статичні і ДХ ВКТ без вимірювальної лінії, а потім проводиться дослідження цих характеристик для всього ВКТ.

Вимірювання тиску у всіх каналах повинні бути синхронізовані блоком управління вимірюваннями. Вимірювання проводяться з періодичністю 30 хв для кожної з серій. Інтервал часу вимірювань повинне складати не менше 1 хв. Періодичність між вимірюваннями вибирається в 30 хв і визначається завершенням всіх перехідних процесів в вимірювальній лінії. Всі вимірювання проводяться з дискретністю в 5 мкс. В результаті масив даних вимірювань тиску на виході вимірювальної лінії буде становити $1 \times 12 \cdot 10^6$ вимірювань. Результати вимірювань документуються в комп'ютеризованій вимірювальній системі. В якості пакету прикладних програм, за допомогою якого проводиться вся обробка вимірювальної інформації рекомендується до застосування Microcal Origin. Оскільки дані вимірювань незначно будуть різнитися від однієї серії випробовувань до іншої, то необхідно нормувати та усереднювати отримані результати за 10 експериментів [8, 9]. За результатами досліджень визначаються:

- перехідна характеристика ВК тиску $G(t)$;

- постійна часу ВК тиску τ_0 ;
- час затримки ВК тиску t_z ;
- імпульсна характеристика ВК тиску $H(t)$;
- ширина імпульсної характеристики ВК тиску τ_{ix} .

2.1 Методика досліджень динамічних характеристик датчика вимірювального каналу тиску з використанням методу лінійного сигналу

Дослідження впливу вимірювальних ліній на постійну часу вимірювального каналу тиску повинна проводитись у відповідності з методикою узгодженою та затвердженою виробником – ПАТ «Манометр». При цьому повинні використовуватись нові справні і повірені датчики тиску з раніше визначеними статичними та динамічними характеристиками.

В процесі досліджень з визначення впливу ДХ вимірювальної лінії ВКТ доцільно використовувати вимірювальний комплекс (рисунок 2.1) [11,12]. Стенд для досліджень датчиків тиску зображено на рисунку 2.2. В процесі досліджень використовувалась одна вимірювальна лінія заповнена водою. Вона була виготовлена із суцільних труб невеликого діаметра (53 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.

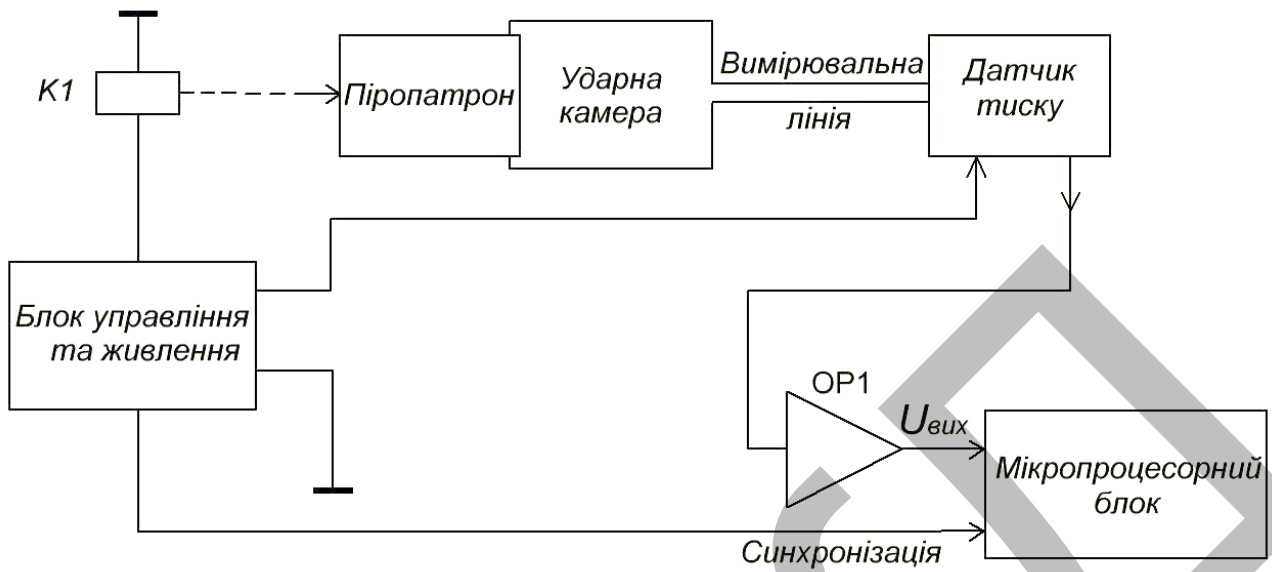


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювального комплексу визначення динамічних характеристик вимірювальної лінії

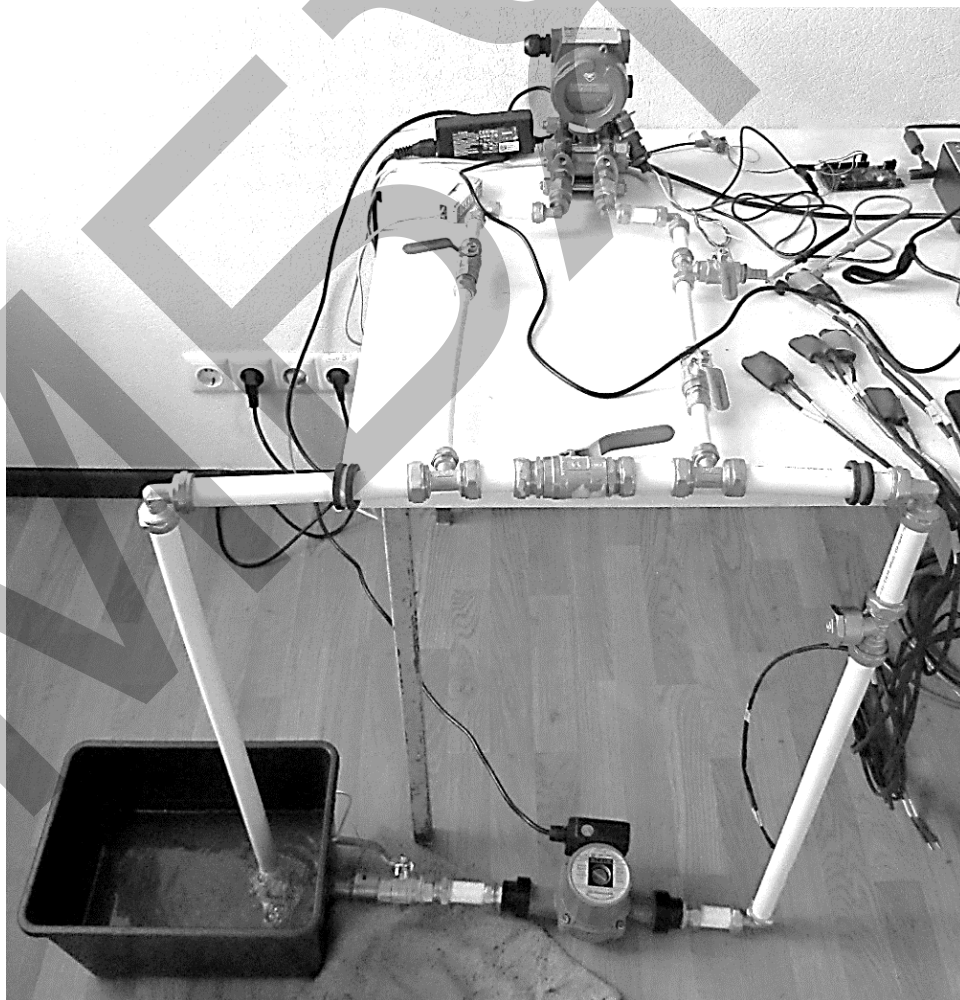


Рисунок 2.2 – Стенд дослідження датчика тиску

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:

$$\tau_{вл} = \tau_{вк} - \tau_{\delta}, \quad (2.1)$$

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

$\tau_{вк}$ - постійна часу ВКТ.

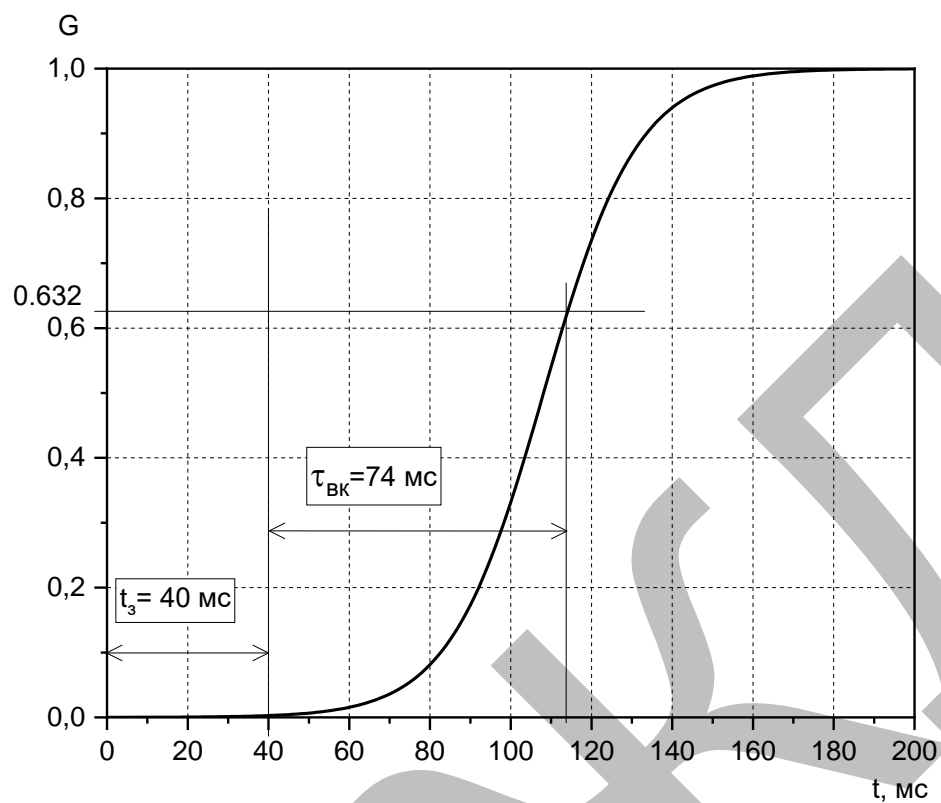
Час реакції вимірювальної лінії, заповненою рідиною, має два головні компоненти: звукова затримка і гідравлічна затримка. Звукова затримка відповідає часу, який потрібно сигналу тиску, щоб зі швидкістю звуку пройшов по повністю заповненій вимірювальній лінії від зони процесу до датчика. При довжині лінії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

В результаті проведених досліджень на кафедрі метрології досліджень у 2020 році з використанням випробувального стенду (рисунок 2.2) була визначена перехідна характеристика ВКТ без вимірювальної лінії, яка приведена на рисунку 2.3а. Аналіз отриманої ПХ ВКТ (рисунок 2.3а) та ПХ датчика тиску, яка визначена раніше (рисунок 2.3б) 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 - $\tau_{вк} = \tau_{\delta} = 74$ мс. Сумарний час затримки ВКТ визначається як:

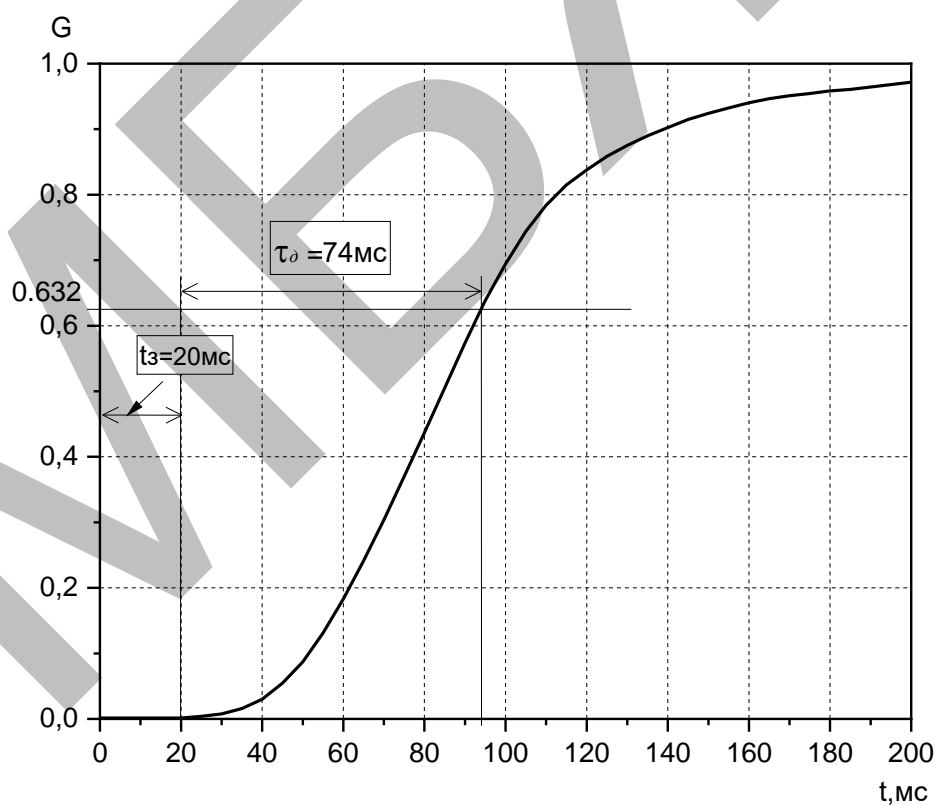
$$t_3 = t_{3вл} + t_{3\delta}, \dots \dots \dots (2.2)$$

де $t_{3вл}$ - час затримки вимірювальної лінії тиску;

$t_{3\delta}$ - час затримки датчика тиску.



а) опорний вимірювальний каналу тиску



б) датчик тиску

Рисунок 2.3 – Перехідні характеристики вимірювального каналу тиску та його датчика тиску

З урахуванням співвідношення (2.2), а також того що $t_{30} \approx 20$ мс, визначимо час затримки вимірювальної лінії тиску – $t_{36l} = 20$ 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. Визначена таким способом ПХ вимірювальної лінії приведена на рисунку 2.4а, а на рисунку 2.4б її імпульсна характеристика.

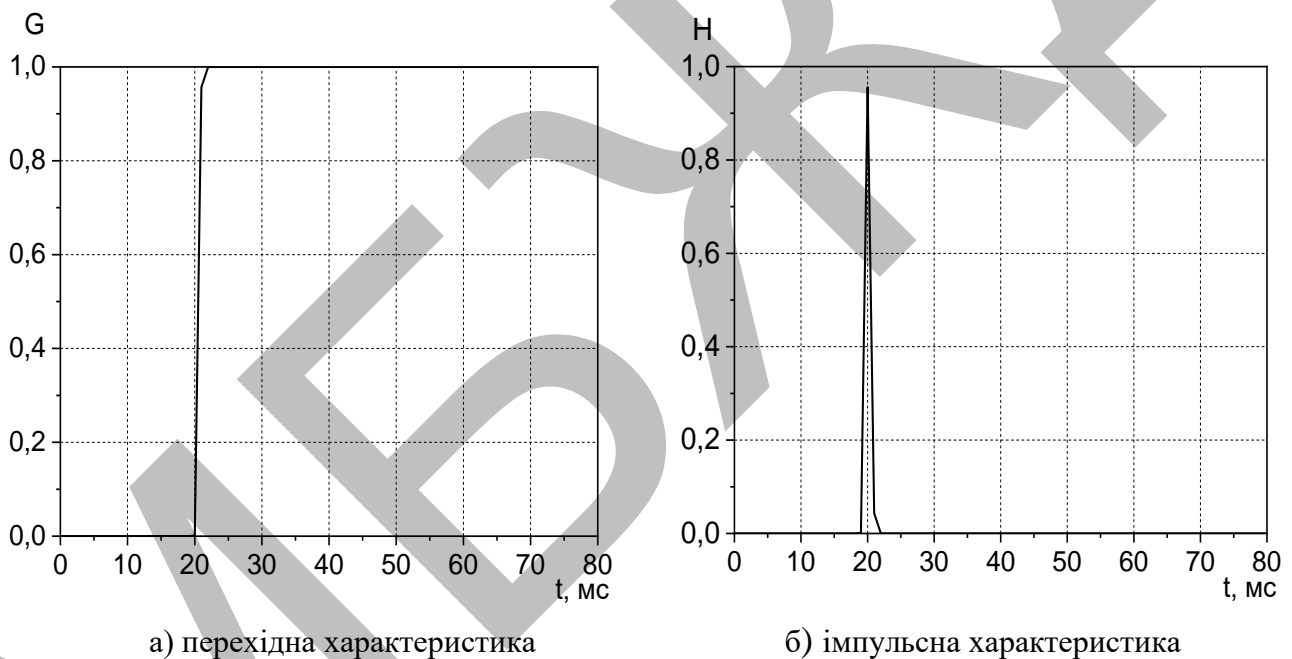


Рисунок 2.4 – Перехідна та імпульсна характеристики вимірювальної лінії каналу тиску

Як видно з рисунку 2.4а, 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 виді 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 (рисунок 2.4б) має тривалість близько 1 мс, що свідчить про широкополосність лінії. В процесі експлуатації характеристики вимірювальної лінії будуть змінюватись.

2.2 Методика визначення перехідних характеристик датчиків тиску

Для визначення перехідної характеристики системи «ВЛ+датчик тиску» на вхід останньої треба подати тиск, який змінюється за законом типу "сходінка", що зробити складно з технічної точки зору. Перехідна характеристика вимірювальної лінії у загальному випадку може бути представлена лінійною моделлю другого порядку. Частота коливань цієї системи записується як [10]

$$\omega_n = \frac{\pi U_a}{2L} \sqrt{\frac{V_{FS}}{\frac{\pi^2}{4} [BC_t + \frac{BV_b}{\gamma P_b} + V_t] + V_{FS}}}, \quad (2.3)$$

де U_a - швидкість акустичної хвилі в рідині ВЛ;

L - довжина ВЛ;

V_{FS} - об'єм рідини всередині вимірювальної лінії;

V_t - об'єм рідини всередині датчика тиску;

B - об'ємний модуль пружності рідини;

V_b - об'єм газу всередині рідини у ВЛ, тобто об'єм "бульбашок", що присутні у ВЛ;

γ - відношення питомих теплоємностей "бульбашок" газу при постійному тиску

c_p та постійному об'ємі c_v ;

P_b - тиск, що підводиться до "бульбашок";

C_t - піддатливість датчика тиску, тобто відношення змінювання об'єму ΔV_t в

порожнині датчика до змінювання тиску, що породжує виникнення ΔV_t (для ідеальної рідини $C_t = 0$).

З формули (2.3) випливає, що частота коливань ВЛ як системи при збільшенні C_t зменшується і при деяких значеннях C_t буде наближатись до нуля, що може свідчити про втрату нею коливальних властивостей.

Динамічний відгук на виході ВЛ становить:

$$y(t) = K \left[1 - \frac{\omega_n}{\omega_d} e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \arctg(\frac{\omega_d}{\alpha})) \right], \quad (2.4)$$

де K - коефіцієнт підсилення системи;

$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ - власна частота коливань в лінії з урахуванням затухання;

$\alpha = \omega_n \zeta$ - коефіцієнт затухання; t - час в секундах.

Показник ζ визначається за формулою:

$$\zeta = \frac{16\nu}{\omega_n d_s^2}, \quad (2.5)$$

де ν - кінематична в'язкість рідини;

d_s - внутрішній діаметр вимірювальної лінії.

Аналіз формули (2.5) показує, що при збільшенні демпфуючих властивостей ВЛ як системи (наприклад, при збільшенні C_t) амплітуда коливань перехідної характеристики зменшується і ця характеристика перетворюється в звичайну експоненційно зростаючу функцію, що наближається до значення K . Оскільки на практиці всередині вимірювальної лінії міститься, як правило, декілька демпферів у вигляді діафрагм, то можна вважати, що ВЛ являє собою систему, що описується диференційними рівняннями першого порядку. Методика визначення динамічних характеристик з використанням рішення диференційних рівнянь широко

використовується в наукових дослідженнях. В інженерній практиці, в умовах промислового підприємства доцільним є використання методики визначення динамічних характеристик ВК з використанням аналітичних виразів (2.3), (2.4) та (2.5). При цьому визначається відгук вимірювального каналу тиску на входну дію типу "сходінка" – перехідна характеристика.

Методика визначення динамічних характеристик ВК з використанням аналітичних виразів (2.3), (2.4) та (2.5) дозволяє проводити дослідження параметрів вимірювальної лінії ВК та перехідну характеристику всього каналу. Згідно даної методики в середовищі програмування Python була розроблена програма визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів (Додаток А). Ця програма дозволяє всебічно оцінити динамічну стійкість системи «вимірювальна лінія – датчик тиску». Результати моделювання приведені на рисунках 2.5, 2.6, 2.7 та 2.8.

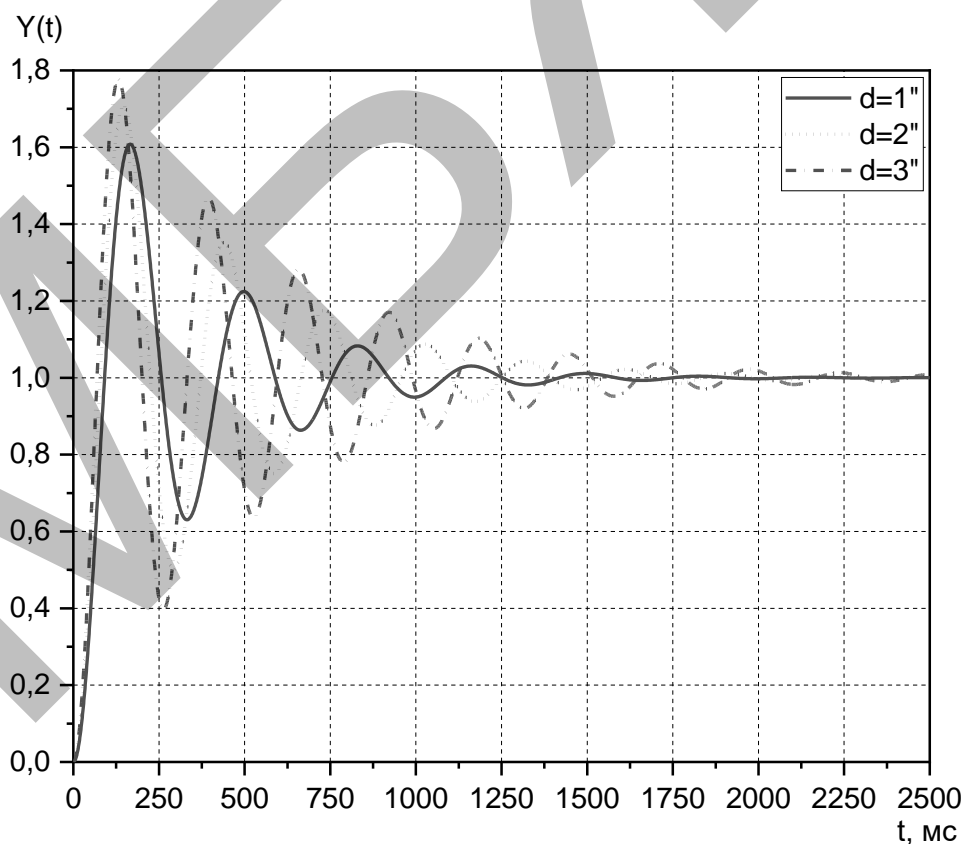


Рисунок 2.5 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних значеннях діаметру трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску

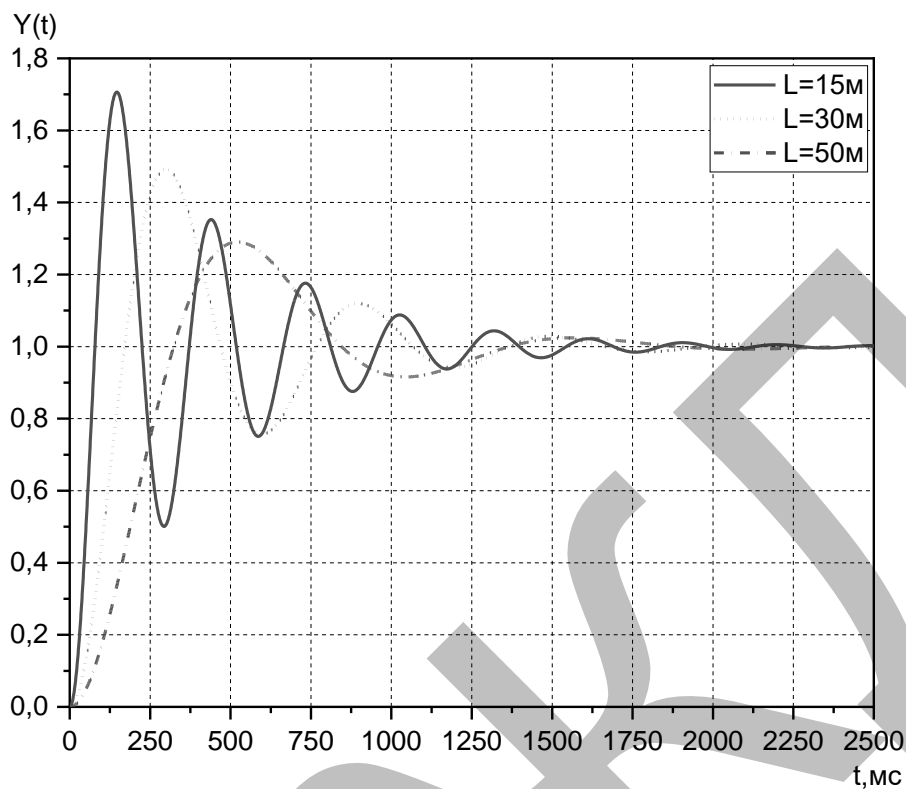


Рисунок 2.6 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних довжині трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску

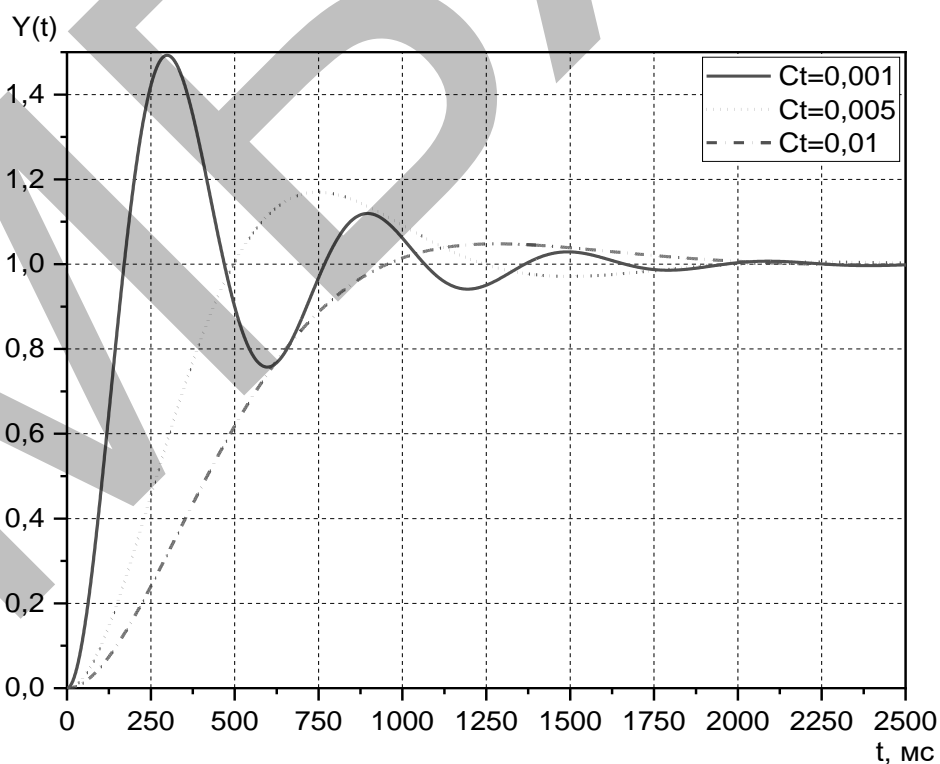


Рисунок 2.7 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних піддатливості датчика тиску вимірювального каналу тиску

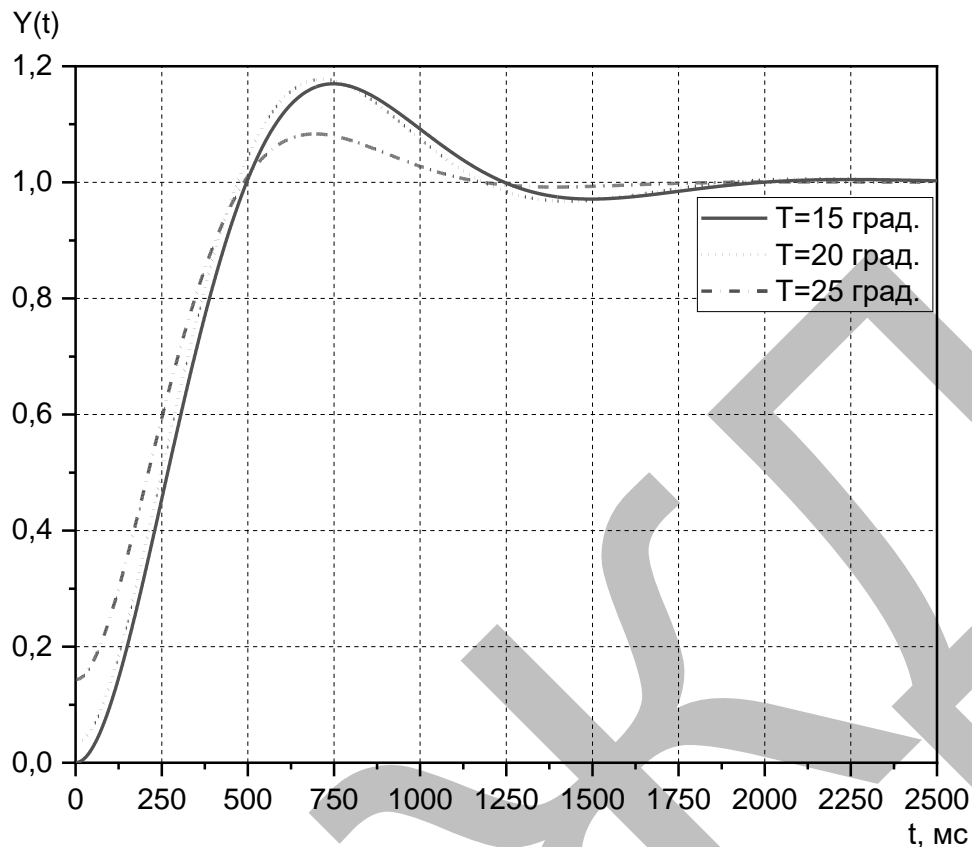


Рисунок 2.8 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних температурах рідини в вимірювальній лінії вимірювального каналу тиску

Дана методика дозволяє значно розширити дослідження впливу різноманітних факторів на перехідну характеристику вимірювального каналу тиску. Порівнюючи перехідні характеристики приведені на рисунку 2.3 та рисунках 2.5, 2.6, 2.7 та 2.8 можна визначити найбільш впливові фактори на перехідну характеристику вимірювального каналу тиску. Так, вже сама наявність вимірювальної лінії з певним діаметром та довжиною трубопроводу значно змінює динамічну стійкість вимірювального каналу як коливальної системи.

Відгук на виході вимірювального каналу тиску змінюється при різних значеннях параметрів трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску. З зменшенням діаметру (рисунок 2.5) та збільшенні довжини трубопроводу вимірювальної лінії (рисунок 2.6) зменшуються і коливні процеси рідини в ній.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає і піддатливість датчика тиску, яка визначається типом та кількістю масла в вимірювальній камері датчика тиску. При втраті масла (наявності повітря в

вимірювальній камері) піддатливість датчика знижується (рисунок 2.7), що приводить до зниження чутливості датчика.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає і температура рідини в вимірювальній лінії. З ростом температури має місце зміщення вгору перехідної характеристики і незначне зниження чутливості вимірювального каналу тиску (рисунок 2.8).

2.3 Висновки до розділу

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.

Відгук на виході вимірювального каналу тиску змінюється при різних значеннях параметрів трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску. З зменшенням діаметру та збільшенні довжини трубопроводу вимірювальної лінії зменшуються і коливні процеси рідини в ній.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає і піддатливість датчика тиску, яка визначається типом та кількістю масла в вимірювальній камері датчика тиску. При втраті масла (наявності повітря в вимірювальній камері) піддатливість датчика знижується, що приводить до зниження чутливості датчика.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає і температура рідини в вимірювальній лінії. З ростом температури має місце зміщення вгору перехідної характеристики і незначне зниження чутливості вимірювального каналу тиску.

3 ОЦІНКА ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ШУМІВ

Точність методу аналізу шумів для визначення часу реакції систем вимірювання тиску була встановлена експериментально, використовуючи еталонні датчики тиску. Час реакції досліджуваної вимірювальної лінії спочатку вимірювався методом лінійного сигналу, а потім - використовуючи метод аналізу шумів.

При цьому точність методу лінійного сигналу попередньо визначалася в умовах лабораторії. Для цієї мети виконувалися, зокрема, дві серії вимірювань: в одній проводилися вимірювання за допомогою набору лінійних сигналів з різними градієнтами (швидкостями зміни), а в іншій - випробування проводилися трьома інженерами на предмет відтворюваності результатів. У таблицях 3.1. і 3.2 відображені результати цих вимірів у вигляді різниці між найменшим і найбільшим результатом вимірювання часу реакції в кожному експерименті.

Результати, представлені в таблиці 3.1, включають вимірювання з використанням від трьох до восьми градієнтів лінійного сигналу. Результати у таблиці 3.2 відображають випробування на відтворюваність, які виконувалися трьома інженерами (у таблиці наводяться їх ініціали: МН, REF і КМР). За винятком кількох викидів, результати в обох таблицях характеризуються відтворюваністю краще, ніж 0,05 секунди, при цьому є або незначна залежність від градієнта лінійного сигналу, або її зовсім немає.

Після цього в лабораторії були проведені вимірювання з метою перевірки відтворюваності результатів методу аналізу шумів. У таблиці 3.3 відображені результати цих вимірювань у вигляді значень часу реакції, отриманих в повторюваних випробуваннях, виконаних в один і той же або в різні відрізки часу; також показана різниця між найменшим і найбільшим результатом вимірювання часу реакції. Так само, як і у випадку вимірювань методом лінійного сигналу, відтворюваність результатів вимірювання методом аналізу шумів, представлена у таблиці 3.3, краще, ніж 0,05 с, якщо не рахувати пари викидів.

Таблиця 3.1 – Приклади результатів лабораторних вимірювань часу реакції при різних градієнтах лінійного сигналу

№ п/п.	Градієнт лінійного сигналу	Час реакції (с)	Різниця(с)
1	0,3; 0,7; 1; 1,5	0,13; 0,13; 0,14; 0,13	0,01
2	0,3; 0,7; 1,5	0,23; 0,21; 0,20	0,03
3	0,2; 0,3; 0,5; 0,7	0,10; 0,13; 0,11; 0,10	0,03
4	0,7; 1; 1,5	0,14; 0,18; 0,17	0,04
5	0,6; 1,2; 2; 2,5	0,08; 0,08; 0,09; 0,09	0,01
6	0,2; 0,4; 0,5; 0,6	0,13; 0,12; 0,12; 0,12	0,01
7	0,1; 0,2; 0,4; 0,7; 1,7; 2	0,04; 0,04; 0,05; 0,05; 0,04; 0,04	0,01
8	1,3; 2,2; 4,2; 6,7; 7,7; 9,1; 10; 120	0,14; 0,21; 0,21; 0,18; 0,18; 0,21; 0,17; 0,18	0,07
9	0,4; 0,6; 0,7	0,15; 0,15; 0,14	0,01
10	2; 2,1; 4; 2,2; 6; 6,7; 7,7 9,1	0,17; 0,19; 0,19; 0,20; 0,19; 0,19; 0,20; 0,20	0,03
11	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	0,32; 0,30; 0,30; 0,30	0,02
12	4; 8,7; 12,7; 16,7	<0,01; <0,01; <0,01 <0,01	0,00
13	9; 27; 35	<0,01; <0,01; <0,01	0,00
14	0,3; 1,3; 1,9; 2	0,10; 0,07; 0,07; 0,07	0,03
15	0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7	0,20; 0,16; 0,15; 0,13; 0,12	0,08
16	17; 47; 60; 45; 16; 44; 56	<0,01; <0,01; <0,01; <0,01;<0,01 <0,01	0,00
17	0,1; 0,5; 0,7; 0,8	0,05; 0,07; 0,08; 0,08	0,03
18	0,1; 0,3; 0,4	0,20; 0,17; 0,17	0,03
19	10; 20, 21; 30, 38	0,07; 0,07; 0,07; 0,08; 0,08	0,12
20	0,1; 0,2; 0,3; 0,5	0,39; 0,39; 0,27; 0,27	0,12

Таблиця 3.2 – Результати лабораторних випробувань відтворюваності
результатів методу лінійного сигналу

№ п/п	Інженер-випробувач	Час реакції	Різниця
1	MH REF KMP	0,15; 0,16 0,13; 0,13; 0,13; 0,13 0,14; 0,12; 0,15; 0,13	0,04
2	MH REF KMP	0,23; 0,22 0,23; 0,21; 0,20; 0,20 0,19; 0,19; 0,19; 0,19	0,04
3	MH REF KMP	0,18; 0,16; 0,16 0,08 0,10; 0,13; 0,11; 0,10 0,12; 0,12; 0,13; 0,11	0,08
4	MH REF KMP	0,16; 0,16; 0,16 0,04 0,12; 0,14; 0,14; 0,12 0,14; 0,12; 0,12; 0,12	0,04
5	MH REF KMP	0,04; 0,04; 0,04 0,01 0,05; 0,05; 0,04; 0,04 0,05; 0,05; 0,04; 0,04	0,01
6	MH REF KMP	0,32; 0,32; 0,32; 0,03 0,29; 0,30; 0,32 0,29; 0,30; 0,31	0,03
7	REF	0,08; 0,06; 0,09; 0,09	0,03
8	MH	0,28; 0,28; 0,30; 0,30	0,02
9	KMP	0,28; 0,26; 0,26; 0,23	0,05
10	MH	<0,01; <0,01; <0,01	0,00
11	KMP	<0,01; <0,01; <0,01	0,00
12	REF	0,04; 0,03; 0,04; 0,05; 0,05; 0,05; 0,04; 0,05	0,02

Таблиця 3.3 – Відтворюваність результатів методу аналізу шумів,
отриманих в лабораторних випробуваннях

№ п/п	Дата випробування	Вимірний час реакції (с)	Різниця (с)
1	Тиждень 1	0,11; 0,12; 0,16; 0,16	0,06
	Тиждень 3	0,17; 0,16; 0,17; 0,17	
2	Тиждень 1	0,16; 0,16; 0,21; 0,23	0,07
	Тиждень 3	0,16; 0,16; 0,17; 0,17	
3	Тиждень 1	0,15; 0,17; 0,14	0,02
	Тиждень 3	0,14; 0,14	
4	Тиждень 1	0,13; 0,13; 0,13; 0,13	0,02
	Тиждень 3	0,14; 0,12; 0,12; 0,14	
5	Тиждень 1	0,32; 0,27; 0,28; 0,28	0,10
	Тиждень 3	0,23; 0,34; 0,33; 0,24	
6	Тиждень 1	0,05; 0,05; 0,06	0,03
	Тиждень 3	0,03; 0,04; 0,06; 0,04	
7	Тиждень 1	0,07; 0,07	0,01
	Тиждень 3	0,07; 0,08	
8	Тиждень 1	0,21; 0,19; 0,21; 0,21	0,05
	Тиждень 3	0,22; 0,22; 0,24; 0,24	
9	Тиждень 1	0,26; 0,20; 0,25	0,06
	Тиждень 3	0,26; 0,25; 0,26	
10	Тиждень 1	0,10; 0,11; 0,12; 0,11	0,02
11	Тиждень 1	0,17; 0,17; 0,18; 0,18	0,01
12	Тиждень 1	0,09; 0,09; 0,10; 0,08	0,02
13	Тиждень 1	0,23; 0,22; 0,22; 0,22	0,02
14	Тиждень 1	0,33; 0,35; 0,36; 0,38	0,05

На додаток до сказаного, результати, представлені в таблицях 3.1, 3.2 та 3.3, дозволяють визначити точність методу аналізу шумів. Зокрема, ці результати відображають значне число випробувань, що призвело до можливості зробити наступні висновки:

– 79 % результатів вимірювання часу реакції методом аналізу шумів відрізняються на $\pm 0,05$ с або менше від результатів вимірювань методом лінійного сигналу, виконаних з тими ж датчиками і в тих же умовах.

– 16 % результатів вимірювання часу реакції методом аналізу шумів відрізняються на величину між $\pm 0,05$ с і $\pm 0,10$ с від результатів вимірювань методом лінійного сигналу, виконаних з тими ж датчиками і в тих же умовах.

– 5 % результатів вимірювання часу реакції методом аналізу шумів, відрізняються на $\pm 0,10$ с від результатів вимірювань методом лінійного сигналу, виконаних з тими ж датчиками і в тих же умовах.

Грунтуючись на сукупності даних (вони представлені вище) був зроблений висновок про те, що метод аналізу шумів дозволяє визначити час реакції вимірювальних ліній ВКТ з точністю не гірше ніж 0,10 с.

3.1 Висновки до розділу

Таким чином ґрунтуючись на результатах аналізу експериментальних даних були обґрунтовані обмеження використання методу шумів для online діагностики вимірювальних інформаційних систем тиску на техногенно-небезпечних об'єктах:

- 1) Шум технологічного процесу, що сприймається датчиком, є « білим » шумом;
- 2) Шум технологічного процесу не повинен містити великі резонанси, які можуть зрушити частоту зламу спектра шуму в бік більш високих частот;
- 3) Випробовувана вимірювальна лінія і датчик тиску повинні мати лінійну або близьку до неї характеристику.

Результати валідації методу шумів показали, що цей метод дозволяє визначити час реакції систем вимірювання тиску з точністю близько 0,10 с.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Дотримання вимог охорони праці на підприємстві регламентується нормативно-правовими документами, що прийняті для виконання на всіх підприємствах України і є обов'язковими для всіх фізичних та юридичних осіб. Такими документами є:

— Кодекс законів про працю України від 10 грудня 1971 р. [13] з останніми поправками та доповненнями від 20 травня 2010 р., який визначає юридичні засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці, регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню 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.

— Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. [14] (нова редакція від 21.11.2002 р. з останніми поправками та доповненнями від 12.02.2015 р.), який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

— Закон України «Про загальнообов'язкове державне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» від 23 вересня 1999 р. з останніми поправками та доповненнями від 01 червня 2010 р. [15], який відповідно до Конституції України та Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування визначає правову основу, економічний механізм та організаційну структуру загальнообов'язкового державного соціального страхування громадян від

нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності або загибелі застрахованих на виробництві.

— Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» від 19 листопада 1992 р. з останніми поправками та доповненнями від 18.09.2019 [16], які гарантують, що кожна людина має природне невід'ємне і непорушне право на охорону здоров'я. Суспільство і держава відповідальні перед сучасним і майбутніми поколіннями за рівень здоров'я і збереження генофонду народу України, забезпечують пріоритетність охорони здоров'я в діяльності держави, поліпшення умов праці, навчання, побуту і відпочинку населення, розв'язання екологічних проблем, вдосконалення медичної допомоги і запровадження здорового способу життя. Основи законодавства України про охорону здоров'я визначають правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я в Україні, регулюють суспільні відносини у цій галузі з метою забезпечення гармонійного розвитку фізичних і духовних сил, високої працездатності і довголітнього активного життя громадян, усунення факторів, що шкідливо впливають на їх здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності, поліпшення спадковості.

— Закон України «Про професійні спілки, їх права та гарантії діяльності» від 15 вересня 1999 р. [17] з останніми поправками та доповненнями від 14 квітня 2009 р., який визначає особливості правового регулювання, засади створення, права та гарантії діяльності професійних спілок.

У зв'язку з тим, що робітники підприємства виконують роботу із використанням персональних комп'ютерів наведемо ряд нормативних документів, що регламентують роботу з офісною технікою, а саме: ДСТУ ISO 9241-3, ДСТУ ISO 9241-2, ДСТУ ISO 9241-5, ДСТУ ISO 9241-6, ДСТУ ISO 9241-7, ДСТУ ISO 9241-9 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі [17], ДСанПІН 3.3.2-007 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [19], Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин [20].

При проведенні робіт на в відділі метрології необхідно враховувати несприятливі чинники, які діють на організм людини, і застосовувати методи

боротьби з ними. Категорія робіт з боку енерговитрат відноситься до робіт середньої важкості.

У робочих приміщеннях мікроклімат визначається дією на організм людини температури, вологості і швидкості руху повітря в приміщенні. Ці параметри впливають на людину, визначаючи його самопочуття і працездатність, тому слід підтримувати значення цих параметрів нижче їх допустимих рівнів, що обумовлені в нормативних документах.

Оптимальні мікрокліматичні умови – сполучення параметрів мікроклімату, які при тривалому і систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального функціонального і теплового стану організму без напруження реакцій терморегуляції (температура повітря від 16 °С до 25 °С, відносна вологість від 60 % до 40 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с до 0,4 м/с). Для підтримки мікроклімату в приміщенні застосовується природна та примусова вентиляція [21].

Незадовільне освітлення впливає не тільки на зір людини, але й викликає стомлення організму в цілому, зниження продуктивності праці діагноста та може привести до травматизму. Рівень освітлення визначається за відповідними нормативними документами СНІП П-4-79. Рациональне виробниче освітлення має попереджати розвиток зорового і загального стомлення, забезпечувати психологічний комфорт при виконанні тих чи інших видів зорових робіт, сприяти збереженню працездатності, зниженню виробничого травматизму, а також підвищенню безпеки праці [22].

Гранично допустимі рівні шуму на виробництві мають забезпечувати функціонування фізіологічних систем організму в межах адаптаційних можливостей на весь час трудової діяльності. Нормування шуму здійснюється згідно з ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Загальні вимоги безпеки. Характеристикою стійкого шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску. Нормування рівня звуку застосовується для орієнтовної оцінки шуму на робочому місці. На робочому місці запроваджено гранично допустимий рівень звуку 40 дБ, який забезпечує відсутність ризику втрати слуху і практично не впливає на працездатність та стан здоров'я [23]. Засоби захисту від шуму поділяються на засоби колективного та індивідуального захисту. До

засобів колективного захисту відносять: архітектурно-планувальні рішення та засоби звукоізоляції (звукоізолюючі кабінки; акустичні екрани; звукопоглинальні покриття; штучні поглиначі; глушники шуму. До засобів індивідуального захисту від шуму належать: протишумові укладки; навушники; протишумові шоломи.

На технічно складних об'єктах застосовується триступеневий контроль за станом охорони праці. На першому місці він здійснюється майстрами, механіками та громадським інспектором з охорони праці, які кожен день перед початком роботи перевіряють справність техніки, інструментів і пристосувань, наявність захисних засобів. При виявленні порушень правил техніки безпеки майстер і механік негайно вживають заходів щодо їх усунення з реєстрацією в журнал майстра. Після цього майстер, механік на своїй ділянці при необхідності проводять 5-хвилинки з техніки безпеки. При виявленні недоліків, які неможливо усунути власними коштами (несправність вентиляції), звертаються до головного механіка.

Щотижня відповідальний за техніку безпеки в цехах з представником комісії з охорони праці здійснюють другий ступінь контролю охорони праці на своїх ділянках. На третьому ступені контролю головний інженер, інженер з техніки безпеки, голова комісії охорони праці, директор, лікар медпункту за участю головного механіка та головного енергетика раз на місяць перевіряють стан техніки безпеки та виробничої санітарії в кожному приміщенні. На керівника підприємства лягає вирішення питань планування організаційно-технічних заходів з профілактики виробничого травматизму і професійних захворювань. Він також стверджує інструкції з техніки безпеки для окремих робіт і професій, організовує навчання за темою охорони праці адміністративно-управлінського та інженерно-технічного персоналу, стверджує номенклатуру заходів щодо забезпечення охорони праці. По характеру і часу проведення інструктажів працівників проводять: вступний, першорядний, повторний, позаплановий і поточний інструктаж.

До небезпечних факторів, які вимагають обережності, при проведенні технічних робіт на автомобілі слід віднести наявність рухомих (обертючих) частин, високі температури двигуна внутрішнього згорання та високовольтну мережу кіл живлення електричного двигуна.

Оскільки ми займаємося експлуатацією електроустаткування найнебезпечнішою загрозою для нас є ураження електричним струмом високої напруги. Тому потрібно знати, що до виконання робіт з пересувними випробувальними і вимірювальними установками до і понад 1000 В допускаються особи що досягли 18-річного віку, мають освіту, пройшли відповідне навчання та перевірку знань з охорони праці (правил, інструкцій з охорони праці та техніки безпеки), з технології робіт (правил експлуатації та виробничих інструкцій) та правил пожежної безпеки [24]. Крім того, вказані особи повинні пройти медкомісію, яка повинна визначити стан здоров'я працівника та його професійну придатність до виконуваної роботи. Працювати на високовольтній випробувальній установці повинна бригада з трьох працівників, один з яких повинен мати групу з електробезпеки 4, другий - групу з електробезпеки 3, а працівник, що виставлений для охорони – групу 2. Всі пересувні випробувальні установки оснащені автоматичними пристроями захисту та сигналізації, що дає їм змогу працювати лише в заданому режимі. Всі інші режими роботи неможливі, тому, що при виході з заданого режиму роботи автоматичні пристрої захисту вимкнуть установку.

У зв'язку з вищенаведеним, вимоги безпеки під час роботи зводяться до наступного:

- Під час роботи треба стояти на діелектричних килимках, слідкувати за тим, щоб вони не забруднювались і не зволожувались.
- На протязі всього робочого часу слідкувати за правильністю роботи пристроїв блокування, заземлень та сигналізації при відкриванні та закриванні дверей, подаванні напруги 220 В і високої напруги.
- Постійно звертати увагу на роботу автоматики, захисту та сигналізації.
- Не допускати нагромадження на робочому місці об'єктів випробування.
- Не допускати нагромадження обладнання, стільців, ящиків і тому подібного біля виходів з ЕТЛ та у проходах приміщень.
- Доступ до засобів пожежогасіння повинен бути вільним.
- Під час роботи треба підтримувати в чистоті обладнання і засоби захисту.

— У випадку, коли під час роботи стався нещасний випадок, раптове погіршення стану здоров'я працівника, порушення технологічного процесу, несправність обладнання, устаткування, пристроїв, приладів, засобів захисту, або виникли непередбачені небезпечні чи шкідливі виробничі фактори, що загрожують життю чи здоров'ю людей, працівник повинен негайно відключити високовольтну установку і повідомити про це начальника або заступника начальника служби чи провідного інженера, а у випадку їх відсутності - керівництво технічної дирекції.

Пожежна безпека – означає стан об'єкта, при якому виключається можливість загоряння і пожежі, а у випадку його виникнення виключається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних засобів.

Основною причиною пожежі в цехах є загоряння палива (випаровування палива) при електричних розрядах різного походження. До причин виникнення пожежі електричного характеру можна віднести: коротке замикання електричних кіл; несправність або струмове перевантаження електроприладів та електромереж; іскро-утворення в місцях робочих іскрових проміжків і пошкодження комутаційної апаратури.

При коротких замиканнях на масу можливі іскріння і сплавлення провідника і корпусу, що викликає нагрівання і руйнування ізоляції. Для запобігання цього всі дроти мають бути ізольовані, а мале струмове навантаження дозволяє застосовувати дроти з малою площею перерізу – від $0,5 \text{ мм}^2$ до $1,5 \text{ мм}^2$ [12]. Контактний тиск жили такого дроту незначний, він не приварюється до металу і швидко вигорає. У такий спосіб коротке замикання швидко самоліквідується.

Несправності системи потрібно запобігати своєчасним і якісним технічним обслуговуванням. Експлуатаційні заходи передбачають правильну експлуатацію системи, своєчасний огляд і ремонт. Технічними заходами є до-тримання протипожежних норм в побудові електричних мереж системи і в процесі експлуатації. Заборонено проведення зварювальних і інших вогняних робіт в небезпечній близькості від розміщення елементів системи. Доцільне вживання запобіжників в мережах живлення системи.

При монтажі і збірці зменшення контактного опору досягається збільшенням площі контактів, використання нероз'ємних з'єднань дротів.

Для ліквідації невеликих загорянні електроустановок широко застосовують первинні засоби пожеже гасіння — пересувні і ручні вогнегасники.

Для тушіння комп'ютерної техніки застосування рідких і пінних вогнегасників обмежено, доцільно використовувати ручні вогнегасники вуглекислотні ОУ-2. Вогнегасник допускається до експлуатації тільки при наявності парного номеру, опломбованій бирці і маркірованому написі на корпусі відповідно до НАПБ А.01.001 [25]. Він повинен бути забарвленим в червоний колір.

4.1 Висновок до розділу

В результаті аналізу робочих місць оператора виявлені небезпечні, шкідливі фактори та приведені міри по їх усуненню, це дозволить покращити умови праці на робочому місці, покращити працездатність, попередити травмування¹ на робочому місці.

Зроблені певні розрахунки по кондиціонування повітря дозволяють автоматично підтримувати в приміщенні температуру, вологість, швидкість руху і чистоту повітря, тим самим створювати ефективну роботу працівників.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи бакалавра розроблена методика визначення динамічних характеристик датчиків тиску вимірювальних інформаційних системах тиску на технічно складних об'єктах.

Встановлено, 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.

Відгук на виході вимірювального каналу тиску змінюється при різних значеннях параметрів трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску. З зменшенням діаметру та збільшенні довжини трубопроводу вимірювальної лінії зменшуються і коливні процеси рідини в ній.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає :

- піддатливість датчика тиску, яка визначається типом та кількістю масла в вимірювальній камері датчика тиску. При втраті масла (наявності повітря в вимірювальній камері) піддатливість датчика знижується, що приводить до зниження чутливості датчика;

- температура рідини в вимірювальній лінії. З ростом температури має місце зміщення вгору перехідної характеристики і незначне зниження чутливості вимірювального каналу тиску.

Результати досліджень доцільно використовувати при проектуванні, випробуваннях і експлуатації вимірювальних каналів тиску; для поглибленого аналізу плинних процесів у вимірювальних каналах тиску; у вищих навчальних закладах – при підготовці фахівців за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про метрологію та метрологічну діяльність
URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.04.2021)
2. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. *CITAC Guide CG* – 2012. URL: <http://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012P1.pdf>.
3. 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>.
4. 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.
5. Полярус О. В., Коваль А. О. Використання методу шумів та online діагностики для вдосконалення метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах. *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2015. №35. С. 152–156.
6. 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.

7. 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.*

8. 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>.

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

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

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

12. Биценко Д. П., Плечова Д. П. Дослідження впливу вимірювальної лінії на динамічні характеристики вимірювальних каналів тиску *Збірник статей і тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і молодих вчених «Сучасні методи проектування, випробування і експлуатації будівельних, дорожніх і підйомно-транспортних, машин»*. (м. Харків 12 листопада 2020 р.) Випуск 7. Харків: ХНАДУ. 2020. С.77-89.

13. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kodeksy.com.ua/kodeks_zakoniv_pro_pratsyu_ukraini.htm

14. Закон України “Про охорону праці” від 14.10.92 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dnaop.com/html/3428/doc-zakon-ukrajini-pro-ohoronu-praci>

15. Закон України «Про загальнообов'язкове державне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» від 23 вересня 1999 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakononline.com.ua/documents/show/201799_591225

16. Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» від 19 листопада 1992 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Закон України «Про професійні спілки, їх права та гарантії діяльності» від 15 вересня 1999 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrelectroprofspilka.org.ua/content/doc/zakon_pro_profspilki.pdf

17. ДСТУ ISO 9241-3:2001, ДСТУ ISO 9241-2:2004, ДСТУ ISO 9241-5:2004, ДСТУ ISO 9241-6:2004, ДСТУ ISO 9241-7:2004, ДСТУ ISO 9241-9:2004(2006) Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі . [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dut.edu.ua/ru/news-1-0-7678-suchasni-ergonomichni-vimogi-do-organizacii-robochih-misc-obladnanih-ekrannimi-pristroyami>

18. ДСанПІН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/57320/doc-%D0%94%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D0%86%D0%9D_3.3.2.007-98

19. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджені наказом № 65 Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26 березня 2010 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0293-10#Text>

20. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27405

21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/34094/doc-%D0%94%D0%A1%D0%9D_3.3.6.042-99

22. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48147

24. НПАОП 40.1-1.32-01 „Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_40_1-1_32-01_03_ua.php

25. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_napb_a_01_001-2014_01_ru.php

ДОДАТОК А
ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТИСКУ

```

#РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ
# Python v3.11

# Імпортуємо необхідні бібліотеки
import numpy as np
import pandas as pd
import math
from array import *
import matplotlib.pyplot as plt      # Підключаємо графічну бібліотеку
# **1 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ**
# Вводимо необхідні вихідні дані для розрахунку
# Вихідні дані для розрахунку
t = np.arange(0, 3000, 1)
Y = np.arange(3000)
y1=np.arange(3000)
y2=np.arange(3000)
Ua=1481      # м/с
L0=15        # м
L1=30
L2=50
Ct0=0.001
Ct1=0.005
Ct2=0.01
v0=1.2e-6
v1=1.004e-6
v2=0.85e-6
B=2e+9      #
Vt=0.2      #
Vb=0.0005
G=0.8       #
Pb=25e+3
K=1.0
ds0=0.08 # 1"
ds1=0.09 # 2"
ds2=0.1   # 3"
Ld=0.2
dd=0.025
# **2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ**
# L0, ds0, ds1, ds2
Vfs_d0=math.pi*L0*(ds0/2)**2
Vfs_d1=math.pi*L0*(ds1/2)**2
Vfs_d2=math.pi*L0*(ds2/2)**2
# L0, L1, L2, ds1
Vfs_l0=math.pi*L0*(ds1/2)**2
Vfs_l1=math.pi*L1*(ds1/2)**2
Vfs_l2=math.pi*L2*(ds1/2)**2
# Vt
Vt=math.pi*Ld*(dd/2)**2
# **1.Розрахунок частоти коливання лінійної моделі вимірювальної
лінії другого порядку**
# L0, ds0, ds1, ds2

```

```

Wn_d0=math.sqrt(Vfs_d0/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d0))*
math.pi*Ua/(2*L0)
Wn_d1=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L0)
Wn_d2=math.sqrt(Vfs_d2/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d2))*
math.pi*Ua/(2*L0)
# L0, L1,L2,ds1
Wn_l0=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L0)
Wn_l1=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L1)
Wn_l2=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L2)
# L1,ds1,Ct0,Ct1,Ct2
Wn_c0=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct0+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L1)
Wn_c1=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct1+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L1)
Wn_c2=math.sqrt(Vfs_d1/(math.pi**2*(B*Ct2+B*Vb/(G*Pb)+Vt)/4+Vfs_d1))*
math.pi*Ua/(2*L1)
# Eta v0, L0,ds0,ds1,ds2
Eta_d0=16*v0/(Wn_d0*ds0**2)
Eta_d1=16*v0/(Wn_d1*ds1**2)
Eta_d2=16*v0/(Wn_d2*ds2**2)
# Eta v0, L0, L1,L2,ds1
Eta_l0=16*v0/(Wn_l0*ds1**2)
Eta_l1=16*v0/(Wn_l1*ds1**2)
Eta_l2=16*v0/(Wn_l2*ds1**2)
# Eta L1,ds1,Ct0,Ct1,Ct2
Eta_c0=16*v0/(Wn_c0*ds1**2)
Eta_c1=16*v0/(Wn_c1*ds1**2)
Eta_c2=16*v0/(Wn_c2*ds1**2)
# Eta v0,v1,v2,L1,ds1
Eta_v0=16*v0/(Wn_c1*ds1**2)
Eta_v1=16*v1/(Wn_c1*ds1**2)
Eta_v2=16*v2/(Wn_c1*ds1**2)
# Власна частота коливань лінії з урахуванням затування
# L0, ds0,ds1,ds2
Wd_d0=Wn_d0*math.sqrt(1-Eta_d0**2)
Wd_d1=Wn_d1*math.sqrt(1-Eta_d1**2)
Wd_d2=Wn_d2*math.sqrt(1-Eta_d2**2)
# L0, L1,L2,ds1
Wd_l0=Wn_l0*math.sqrt(1-Eta_l0**2)
Wd_l1=Wn_l1*math.sqrt(1-Eta_l1**2)
Wd_l2=Wn_l2*math.sqrt(1-Eta_l2**2)
# L1,ds1,Ct0,Ct1,Ct2
Wd_c0=Wn_c0*math.sqrt(1-Eta_c0**2)
Wd_c1=Wn_c1*math.sqrt(1-Eta_c1**2)
Wd_c2=Wn_c2*math.sqrt(1-Eta_c2**2)
# v0,v1,v2,L1,ds1
Wd_v0=Wn_c1*math.sqrt(1-Eta_v0**2)
Wd_v1=Wn_c1*math.sqrt(1-Eta_v1**2)

```

```

Wd_v2=Wn_c1*math.sqrt(1-Eta_v2**2)
# коефіцієнт затухання
# L0, ds0,ds1,ds2
a_d0=Wn_d0*Eta_d0
a_d1=Wn_d1*Eta_d1
a_d2=Wn_d2*Eta_d2
# L0, L1,L2,ds1
a_l0=Wn_l0*Eta_l0
a_l1=Wn_l1*Eta_l1
a_l2=Wn_l2*Eta_l2
# L1,ds1,Ct0,Ct1,Ct2
a_c0=Wn_c0*Eta_c0
a_c1=Wn_c1*Eta_c1
a_c2=Wn_c2*Eta_c2
# v0,v1,v2,Ct1,L1,ds1
a_v0=Wn_c1*Eta_v0
a_v1=Wn_c1*Eta_c1
a_v2=Wn_c1*Eta_c2
# відгук вимірювального каналу
# L0, ds0,ds1,ds2
y1_d0=np.exp(-a_d0*t)
y1_d1=np.exp(-a_d1*t)
y1_d2=np.exp(-a_d2*t)
y2_d0=np.sin(Wd_d0*t+math.atan(Wd_d0/a_d0))
y2_d1=np.sin(Wd_d1*t+math.atan(Wd_d1/a_d1))
y2_d2=np.sin(Wd_d2*t+math.atan(Wd_d2/a_d2))
Y_d0=K*(1-Wn_d0/Wd_d0*y1_d0*y2_d0)
Y_d1=K*(1-Wn_d1/Wd_d1*y1_d1*y2_d1)
Y_d2=K*(1-Wn_d2/Wd_d2*y1_d2*y2_d2)
# L0, L1,L2,ds1
y1_l0=np.exp(-a_l0*t)
y1_l1=np.exp(-a_l1*t)
y1_l2=np.exp(-a_l2*t)
y2_l0=np.sin(Wd_l0*t+math.atan(Wd_l0/a_l0))
y2_l1=np.sin(Wd_l1*t+math.atan(Wd_l1/a_l1))
y2_l2=np.sin(Wd_l2*t+math.atan(Wd_l2/a_l2))
Y_l0=K*(1-Wn_l0/Wd_l0*y1_l0*y2_l0)
Y_l1=K*(1-Wn_l1/Wd_l1*y1_l1*y2_l1)
Y_l2=K*(1-Wn_l2/Wd_l2*y1_l2*y2_l2)
# L1,ds1,Ct0,Ct1,Ct2
y1_c0=np.exp(-a_c0*t)
y1_c1=np.exp(-a_c1*t)
y1_c2=np.exp(-a_c2*t)
y2_c0=np.sin(Wd_c0*t+math.atan(Wd_c0/a_c0))
y2_c1=np.sin(Wd_c1*t+math.atan(Wd_c1/a_c1))
y2_c2=np.sin(Wd_c2*t+math.atan(Wd_c2/a_c2))
Y_c0=K*(1-Wn_c0/Wd_c0*y1_c0*y2_c0)
Y_c1=K*(1-Wn_c1/Wd_c1*y1_c1*y2_c1)
Y_c2=K*(1-Wn_c2/Wd_c2*y1_c2*y2_c2)
# v0,v1,v2,Ct1,L1,ds1
y1_v0=np.exp(-a_v0*t)
y1_v1=np.exp(-a_v1*t)

```

```

y1_v2=np.exp(-a_v2*t)
y2_v0=np.sin(Wd_v0*t+math.atan(Wd_v0/a_v0))
y2_v1=np.sin(Wd_v1*t+math.atan(Wd_v1/a_v1))
y2_v2=np.sin(Wd_v2*t+math.atan(Wd_v2/a_v2))
Y_v0=K*(1-Wn_c1/Wd_v0*y1_v0*y2_v0)
Y_v1=K*(1-Wn_c1/Wd_v1*y1_v1*y2_v1)
Y_v2=K*(1-Wn_c1/Wd_v2*y1_v2*y2_v2)
r =
np.column_stack((t,Y_d0,Y_d1,Y_d2,Y_l0,Y_l1,Y_l2,Y_c0,Y_c1,Y_c2,Y_v0,
Y_v1,Y_v2))
np.savetxt('vk.dat',r)
plt.plot(t,Y_d0)
plt.xlabel('t')
plt.ylabel('Y(t)')
plt.show()
# Будуємо графіки функцій f(x)
# Позначаємо вісь x як "x"
# Позначаємо вісь y як "f(x)"
# Відображаємо графіки функцій f(x)

```

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет механічний

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
бакалавра

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доцент



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук



М. В. Москаленко

Консультант, канд. техн. наук, доцент



А. О. Коваль

Керівник, канд. техн. наук, доцент



О. І. Богатов

Студент гр. ММз-51-18



Р. О. Добрянський

м. Харків - 2023

ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження – процес вимірювання тиску в комп'ютеризованих вимірювальних системах.

Мета роботи – дослідження методів зменшення невизначеності вимірювань в комп'ютеризованих вимірювальних системах.

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

ВИХІДНИЙ СИГНАЛ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

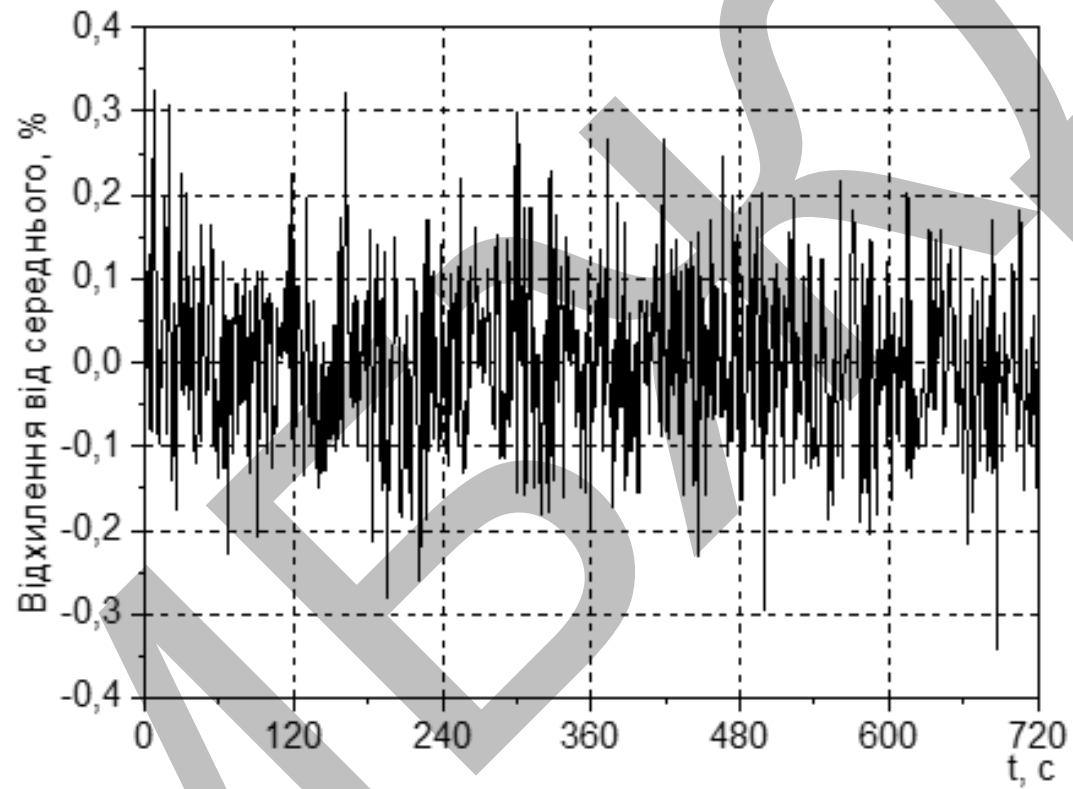


Рисунок 1 – Часова вибірка шуму вимірювальної лінії протяжністю 50 м

ГІСТОГРАМА РОЗПОДІЛУ ТИСКУ В ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ ВИМІРЯНОГО ДАТЧИКОМ САФІР-2171

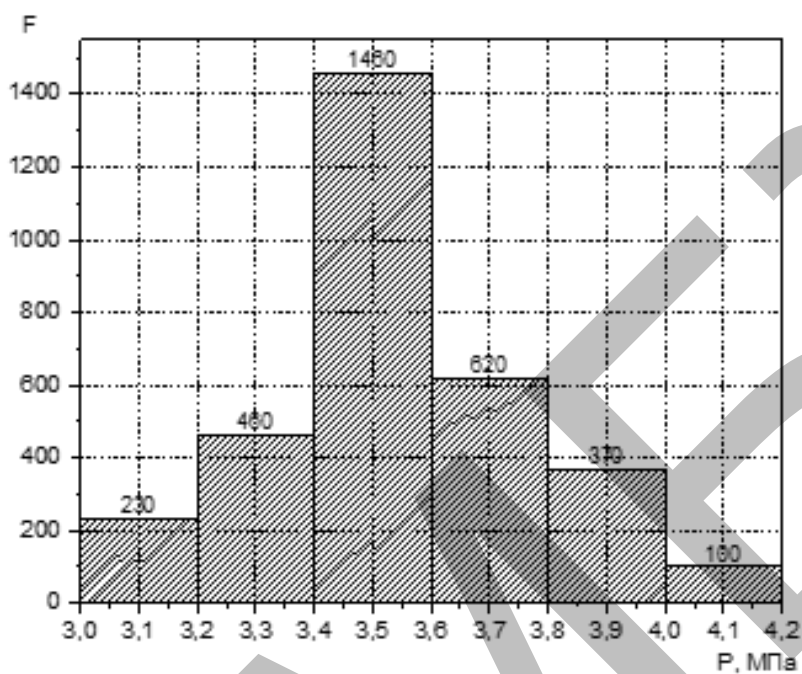


Рисунок 2 - Гістограма розподілу тиску в вимірювальній лінії виміряного датчиком

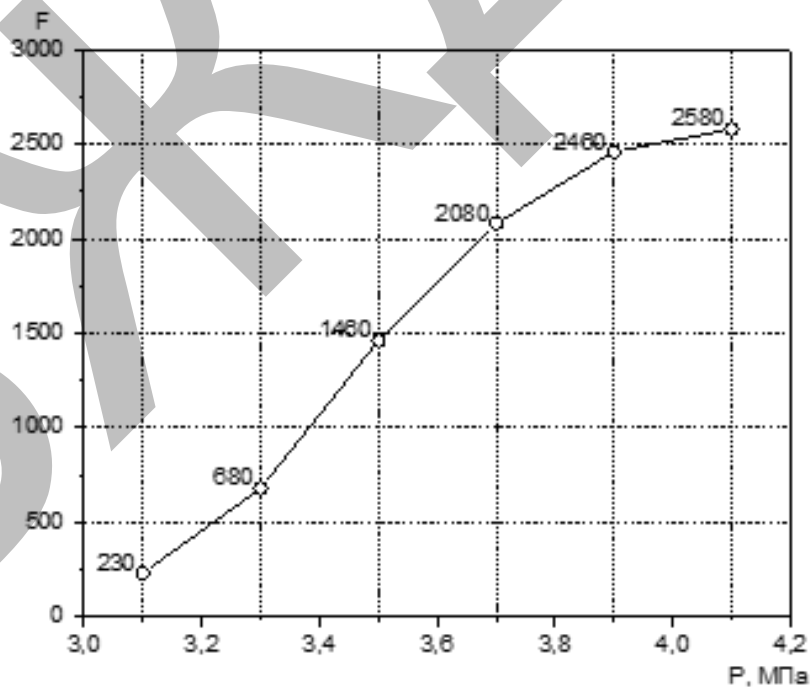


Рисунок 3 – Функція розподілу тиску в вимірювальній лінії

РОЗПОДІЛ ЙМОВІРНОСТІ АМПЛІТУДИ СИГНАЛУ ШУМУ В ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛІНІЇ

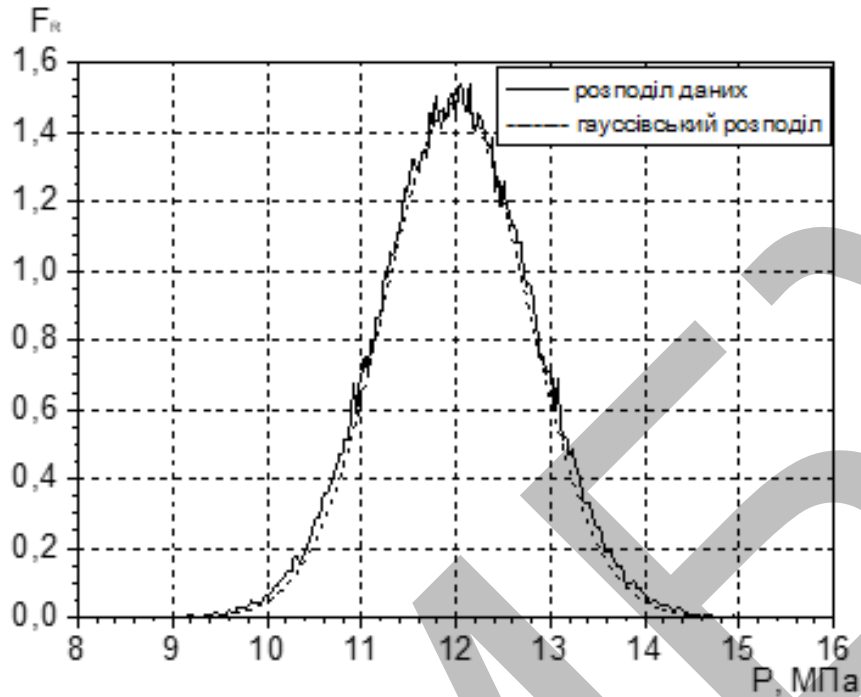


Рисунок 2 - Нормальний розподіл тиску в ВЛ

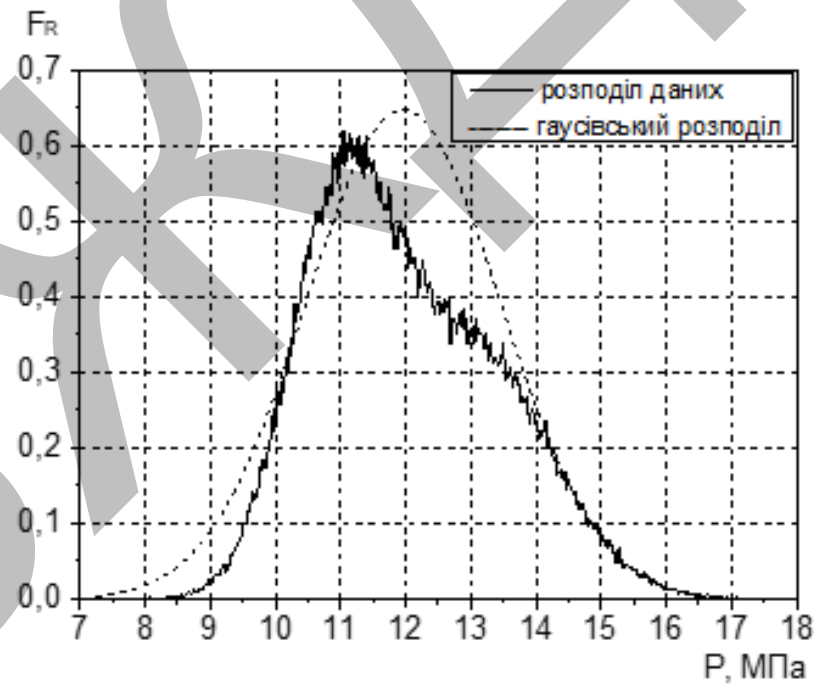


Рисунок 3 – Асиметричний розподіл тиску в ВЛ

ГРАФІКИ СЦП ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ВКТ

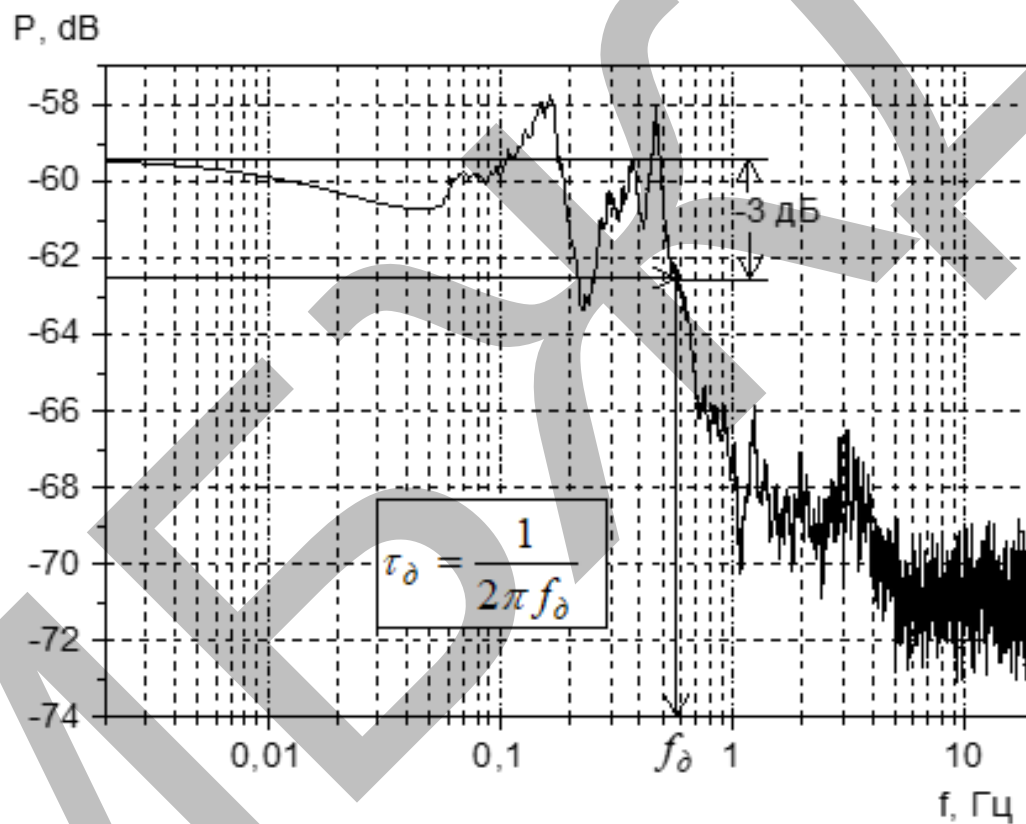
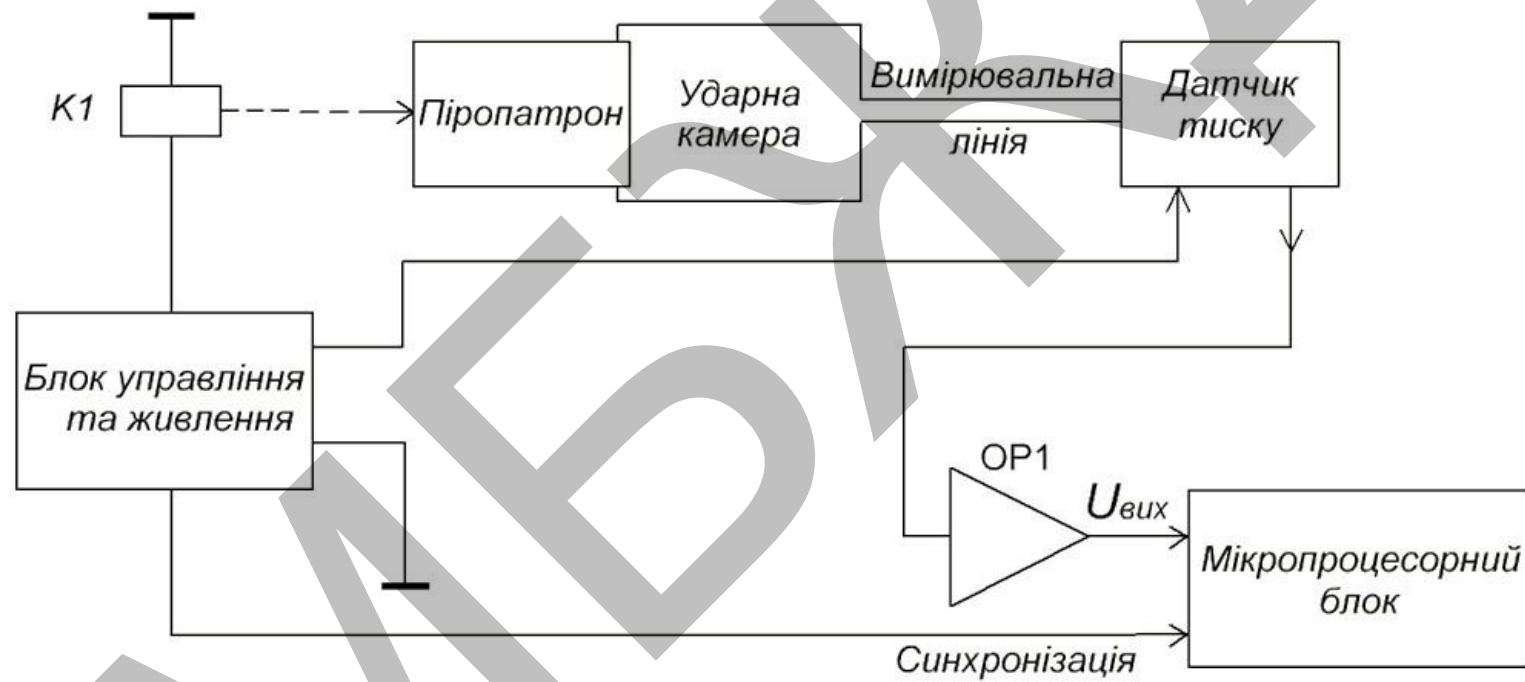
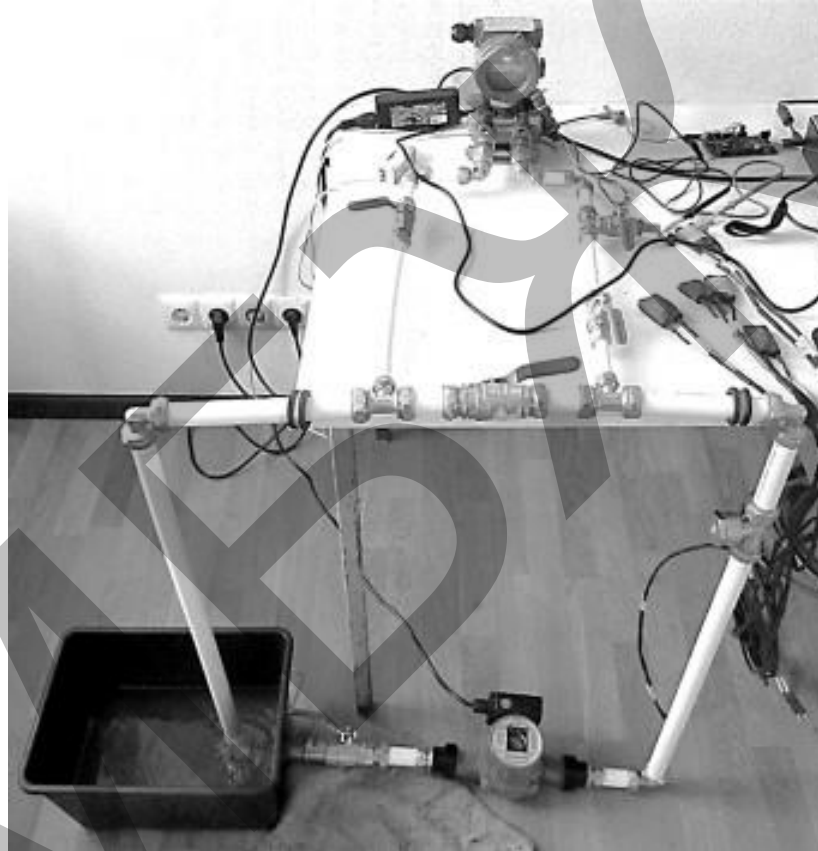


Рисунок 6 – Приклад СЦП для вимірювального каналу тиску

СТРУКТУРНА СХЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ



СТЕНД ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ТИСКУ



ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВКТ

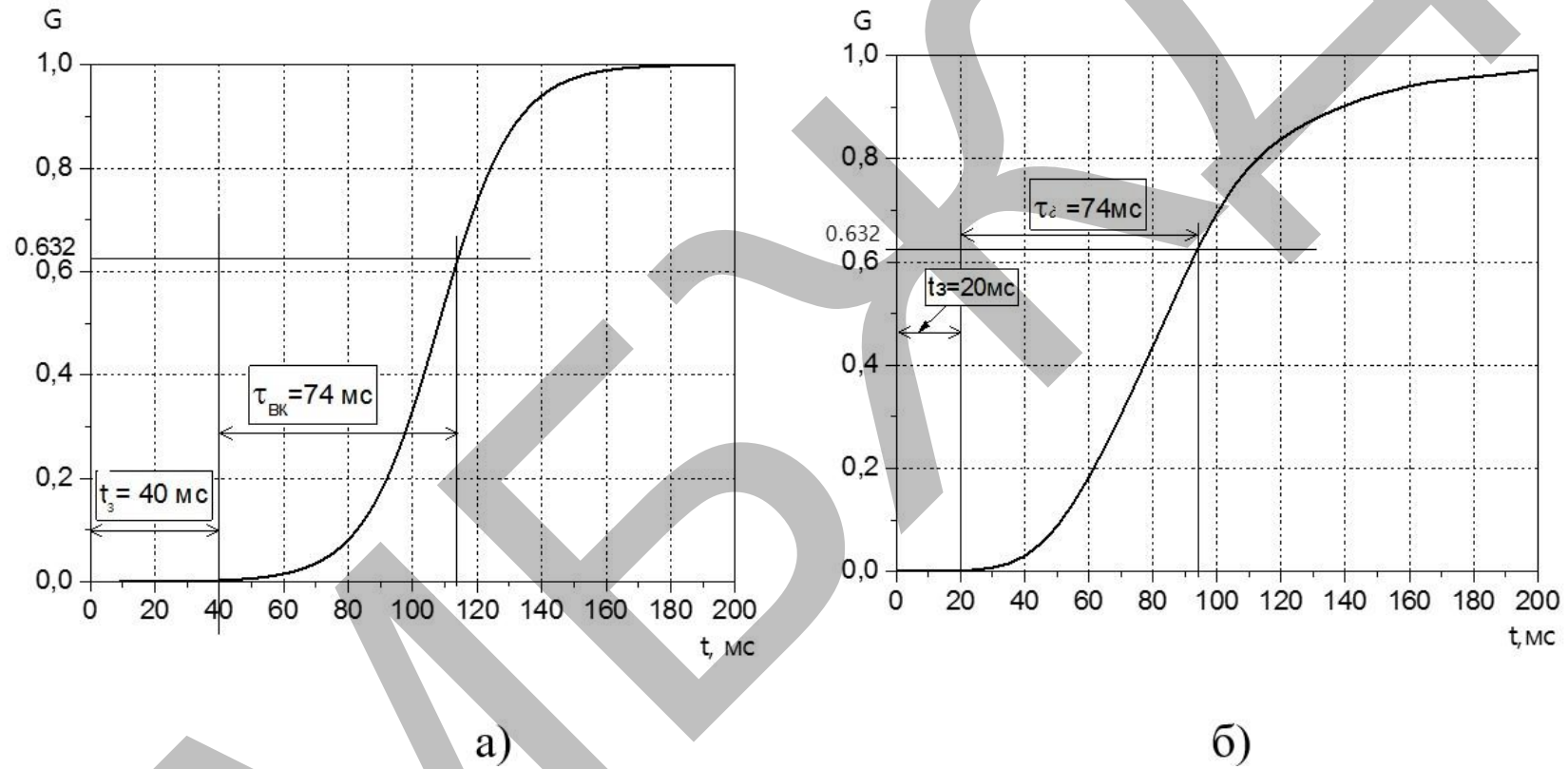


Рисунок 4 – Перехідні характеристики опорного вимірювального каналу тиску а) та його датчика тиску б)

ПЕРЕХІДНА ТА ІМПУЛЬСНА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛ

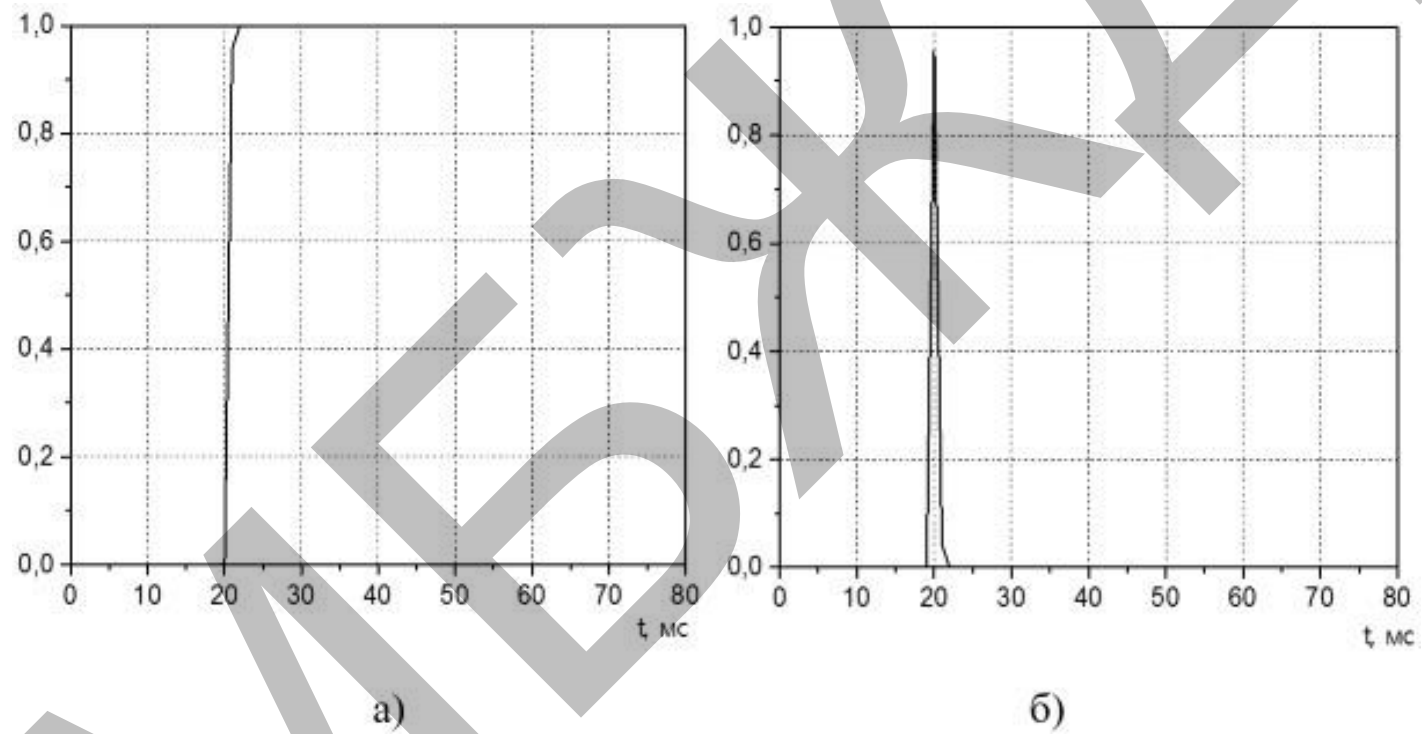


Рисунок 5 – Перехідна а) та імпульсна б) характеристики вимірювальної лінії каналу тиску

ДИНАМІЧНИЙ ВІДГУК НА ВИХОДІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

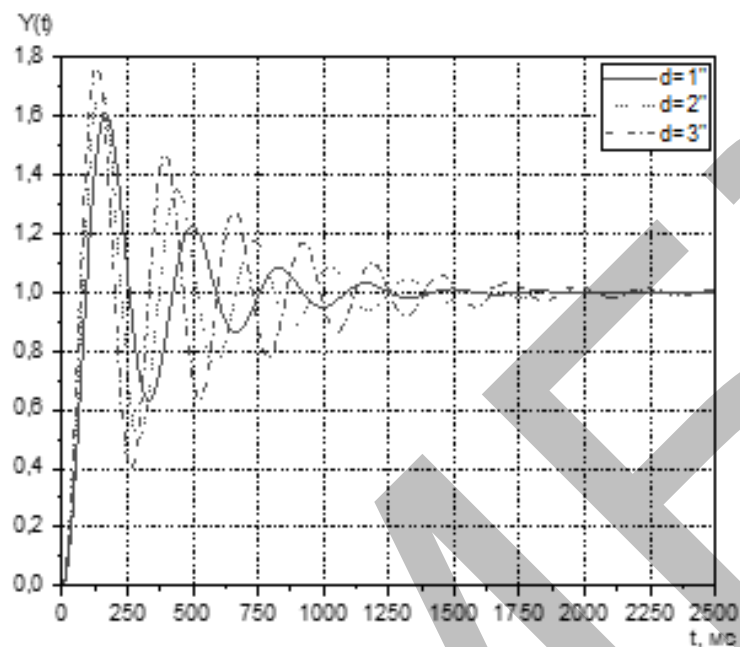


Рисунок 6 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних значеннях діаметру трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску

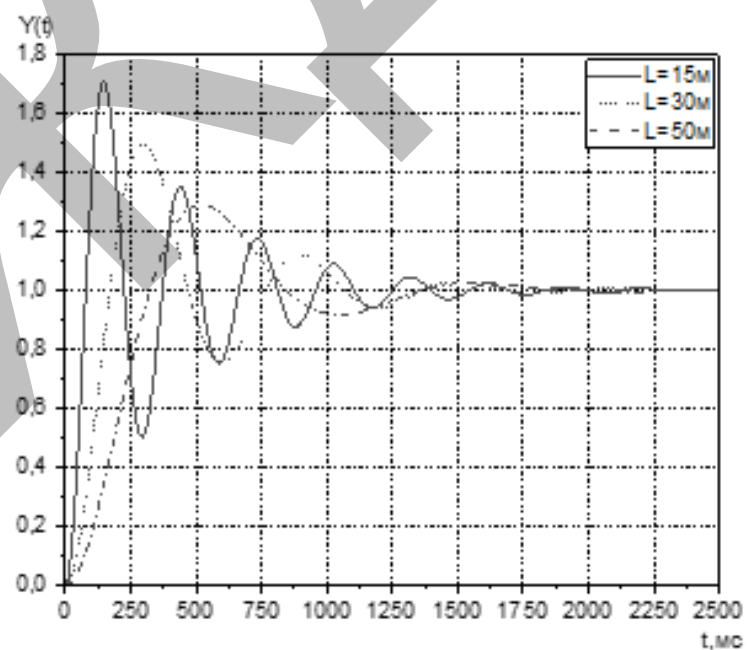


Рисунок 7 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різній довжині трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску

ДИНАМІЧНИЙ ВІДГУК НА ВИХОДІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

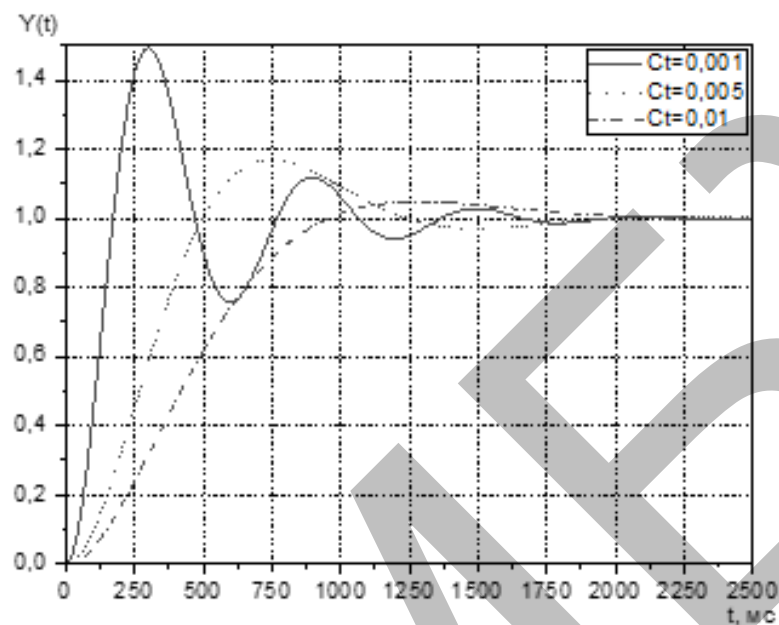


Рисунок 8 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних піддатливості датчика тиску вимірювального каналу тиску

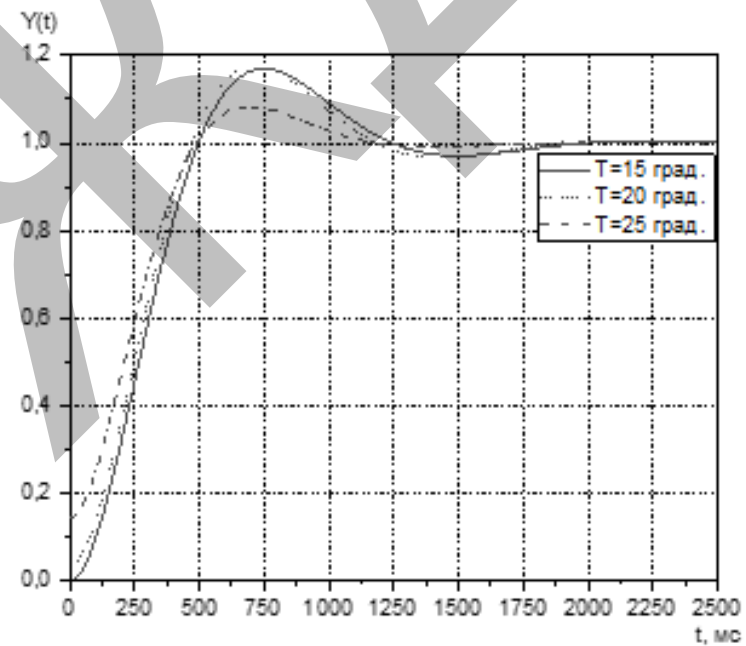


Рисунок 9 – Динамічний відгук на виході вимірювального каналу тиску при різних температурі рідини в вимірювальній лінії вимірювального каналу тиску

ВІДТВОРЮВАНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ШУМІВ, ОТРИМАНИХ В ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАННЯХ

№ п/п	Дата випробування	Вимірюваний час реакції (с)	Різниця (с)
1	Тиждень 1	0.11, 0.12, 0.16, 0.16	0.06
	Тиждень 3	0.17, 0.16, 0.17, 0.17	
2	Тиждень 1	0.16, 0.16, 0.21, 0.23	0.07
	Тиждень 3	0.16, 0.16, 0.17, 0.17	
3	Тиждень 1	0.15, 0.17, 0.14	0.02
	Тиждень 3	0.14, 0.14	
4	Тиждень 1	0.13, 0.13, 0.13, 0.13	0.02
	Тиждень 3	0.14, 0.12, 0.12, 0.14	
5	Тиждень 1	0.32, 0.27, 0.28, 0.28	0.10
	Тиждень 3	0.23, 0.34, 0.33, 0.24	
6	Тиждень 1	0.05, 0.05, 0.06	0.03
	Тиждень 3	0.03, 0.04, 0.06, 0.04	
7	Тиждень 1	0.07, 0.07	0.01
	Тиждень 3	0.07, 0.08	
8	Тиждень 1	0.21, 0.19, 0.21, 0.21	0.05
	Тиждень 3	0.22, 0.22, 0.24, 0.24	
9	Тиждень 1	0.26, 0.20, 0.25	0.06
	Тиждень 3	0.26, 0.25, 0.26	
10	Тиждень 1	0.10, 0.11, 0.12, 0.11	0.02
11	Тиждень 1	0.17, 0.17, 0.18, 0.18	0.01
12	Тиждень 1	0.09, 0.09, 0.10, 0.08	0.02
13	Тиждень 1	0.23, 0.22, 0.22, 0.22	0.02
14	Тиждень 1	0.33, 0.35, 0.36, 0.38	0.05

ВИСНОВКИ

Встановлено, 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.

Відгук на виході вимірювального каналу тиску змінюється при різних значеннях параметрів трубопроводу вимірювальної лінії каналу тиску. З зменшенням діаметру та збільшенні довжини трубопроводу вимірювальної лінії зменшуються і коливні процеси рідини в ній.

На форму перехідної характеристики вимірювального каналу тиску також впливає:

- піддатливість датчика тиску, яка визначається типом та кількістю масла в вимірювальній камері датчика тиску. При втраті масла (наявності повітря в вимірювальній камері) піддатливість датчика знижується, що приводить до зниження чутливості датчика;
- температура рідини в вимірювальній лінії. З ростом температури має місце зміщення вгору перехідної характеристики і незначне зниження чутливості вимірювального каналу тиску.

Результати досліджень доцільно використовувати при проектуванні, випробуваннях і експлуатації вимірювальних каналів тиску; для поглибленого аналізу плинних процесів у вимірювальних каналах тиску; у вищих навчальних закладах – при підготовці фахівців за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».