

Івано-Франківський національний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рапіцький Остап Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.317

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

В БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

Рапіцький О.Т.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Винничук Анна Григорівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут _____

Кафедра _____

Освітній рівень _____

Спеціальність _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«____» _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

керівник роботи _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: «Метрологічний аналіз вимірювання тиску в багатоканальних системах» містить 63 сторінки, 19 рисунків та 24 джерела літератури.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання тиску в багатоканальних системах.

Метою є розробка методики оцінки невизначеності вимірювань в багатоканальних вимірювальних каналах тиску.

Практичні задачі:

- аналіз сучасного стану проблеми;
- аналіз існуючих моделей вимірювальних каналів тиску;
- розробка методики оцінки невизначеності вимірювань в багатоканальних вимірювальних каналах тиску.
- опис комп'ютерного моделювання та порівняння отриманих результатів.

У даній магістерській роботі розглядаються технічно небезпечні об'єкти, принципи дії та структури багатоканальних вимірювальних каналів тиску. Показано, що розроблена методика оцінки невизначеностей дає гарні результати. Також розроблена комп'ютерна модель в середовищі MATLAB для таких систем.

**ВИМІРЮВАННЯ, ТИСК, МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ,
БАГАТОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ.**

ABSTRACT

Master's thesis: "Metrological analysis of pressure measurement in multichannel systems" contains 63 pages, 19 figures and 24 literature sources.

The object of research is the process of measuring pressure in multichannel systems.

The goal is to develop a methodology for estimating the uncertainty of measurements in multi-channel pressure measuring channels.

Practical tasks:

- analysis of the current state of the problem;
- analysis of existing models of pressure measuring channels;
- development of a methodology for estimating the uncertainty of measurements in multi-channel pressure measuring channels.
- description of computer modeling and comparison of the obtained results.

In this master's work, technically dangerous objects, principles of action and structures of multi-channel pressure measuring channels are considered. It is shown that the developed uncertainty assessment method gives good results. A computer model in the MATLAB environment for such systems has also been developed.

MEASUREMENT, PRESSURE, METROLOGICAL ANALYSIS,
MULTI-CHANNEL SYSTEMS, UNCERTAINTY.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Класифікація, принцип роботи та характеристики технічно складних об'єктів.....	8
1.1 Поняття технічно складного об'єкту.....	8
1.2 Поняття складності та унікальності технічно складного об'єкту.....	13
1.3 Загальна характеристика вимірювальних каналів тиску та вимоги, що до них пред'являються.....	14
2 Аналіз методів вимірювання тиску на технічно складних об'єктах.....	17
2.1 Види та методи оцінювання результатів вимірювання засобами вимірювальної техніки.....	18
2.2 Оптимальне вимірювання тиску в багатоканальній системі.....	29
3 Методика оцінки невизначеності вимірювань.....	32
3.1 Модель багатоканального вимірювального каналу тиску.....	32
3.2 Система оптимальної лінійної фільтрації.....	35
3.3 Результати математичного моделювання.....	38
Висновки.....	47
Перелік посилань.....	48
ДОДАТОК А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	5

ВСТУП

Актуальність теми. На території України діють п'ять атомних електростанцій та більше восьми тисяч підприємств і організацій, які використовують у виробництві, науково-дослідній роботі різноманітні радіоактивні речовини, а також зберігають та переробляють радіоактивні відходи. Такі об'єкти є можливим джерелом надзвичайних ситуацій техногенного характеру та можуть становити загрозу для людства в глобальному масштабі.

Політика держави у функціонуванні таких підприємств полягає у забезпеченні оперативної ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру, а політика самих об'єктів – у попередженні таких ситуацій. Тому для вимірювання одного й того ж самого параметру на підприємстві використовують декілька датчиків. Це підвищує достовірність отриманих результатів вимірювання, але є економічно недоцільним. Це може коштувати зупинки усього виробництва на деякий час, що спричинить збитки для усього підприємства. Так, можна заперечити і стверджувати, що у датчиків на великих підприємствах є, так звані, «дублікати». А, що стосовно малих підприємств. Наприклад, на станції технічного обслуговування автомобілів, де стенд для діагностики тиску усієї маси на гідравлічну підвіску є тільки в одному екземплярі.

Тому сучасність вимагає використовувати більш прості, ефективні та швидкодіючі методи отримання достовірних даних для багатоканальних систем вимірювань. У нашому випадку, тиску. У подальшому будемо говорити про тиск, бо саме для нього проведено математичне моделювання, але запропонований метод може бути використаний і для інших вимірювальних величин.

Метою роботи є розробка методики оцінки невизначеності вимірювань в багатоканальних вимірювальних каналах тиску.

Задачі дослідження. Для вирішення мети магістерської роботи слід сформулювати наступні задачі:

- аналіз сучасного стану проблеми;
- аналіз існуючих моделей вимірювальних каналів тиску;
- розробка методики оцінки невизначеності вимірювань в багатоканальних вимірювальних каналах тиску;
- опис комп'ютерного моделювання та порівняння отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є багатоканальні системи вимірювань.

Методи дослідження: теоретичні дослідження нормативної бази, методів та засобів для реалізації метрологічного аналізу вимірювання тиску в багатоканальних системах.

Новизна. Показано, що розроблена методика оцінки невизначеностей дає гарні результати. Також розроблена комп'ютерна модель в середовищі MATLAB для таких систем.

Предмет дослідження: методи та засоби вимірювання тиску.

Практичне значення. Проведено метрологічний аналіз вимірювання тиску в багатоканальних системах.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНІЧНО СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Серед безлічі об'єктів економіки (об'єктів господарської діяльності) виділяють певну групу об'єктів, які за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення виробничої аварії. Найчастіше це об'єкти, на яких використовуються або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини або біологічні препарати. Такі об'єкти господарської діяльності називають технічно небезпечними об'єктами. У свою чергу, вони є технічно складними об'єктами (ТСО).

Відповідно до ТСО – це об'єкти капітального будівництва для виробництва в заданих режимах і умовах функціонування, що розташовані в межах допустимої проектом території, на якій використовується комплекс необхідних систем, приладів, обладнання і споруд з необхідним персоналом.

На території України діють п'ять атомних електростанцій та більше восьми тисяч підприємств і організацій, які використовують у виробництві, науково- дослідній роботі різноманітні радіоактивні речовини, а також зберігають та переробляють радіоактивні відходи.

1.1 Поняття технічно складного об'єкту

До ТСО відносять:

– радіаційно-небезпечні об'єкти (РНО) (рис. 1.1). РНО являють собою підприємства, що працюють з техногенними джерелами іонізуючого опромінення. До них відносять підприємства ядерного паливного циклу, що включають у себе шахти і рудники з видобування ядерного палива, збагачувальні фабрики, підприємства з виробництва тепловипромінюючих елементів, атомні електростанції, теплоелектроцентралі, судна цивільного та воєнного призначення з ядерними енергетичними установками, підприємства з переробки і поховання радіоактивних відходів. Аварії на

РНО пов'язані з утворенням зон радіоактивного зараження. У деяких випадках при крупних аваріях вони охоплюють великі території, які можуть бути повністю виведені на тривалий час із господарчого обігу. Люди і тварини, що опиняються у межах зон радіоактивного ураження, як правило, отримують радіоактивні ураження різної тяжкості;



Рисунок 1.1 – Південноукраїнська атомна електростанція

– гідротехнічні споруди (рис. 1.2). Вони призначені для використання водних ресурсів і для боротьби зі шкідливим впливом водної стихії. До них відносяться греблі, дамби, вали, канали, шлюзи, трубопроводи, тунелі, моли, водосховища та інші інженерні споруди. Потенційно небезпечними є гідротехнічні споруди, на яких можливі гідродинамічні аварії, пов'язані з поширенням з великою швидкістю води;



Рисунок 1.2 – Запорізька гідротехнічна споруда

– теплові електростанції, теплоелектроцентралі, газоперекачувальні станції, котельні тощо (рис. 1.3). Аварії на об'єктах енергетики можуть являти собою пожежі, вибухи котлів і ємностей, що працюють під тиском, газоповітряних сумішей при виході газу у навколишній простір. При масштабних аваріях з газом можливо утворення зон хімічного зараження. Типовими наслідками аварій на потенційно небезпечних об'єктах енергетики є пошкодження і руйнування виробничих будівель і споруд, обладнання, травмування і загибель людей.



Рисунок 1.3 – Придніпровська теплова електростанція

– об'єкти космічної інфраструктури (рис. 1.4);



Рисунок 1.4 – Наземна станція сумісної командно-телеметричної радіолінії

- об'єкти авіаційної інфраструктури (рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Харківський аеропорт

- метрополітени (рис. 1.6) тощо.



Рисунок 1.6 – Київський метрополітен

Оскільки подібні об'єкти є системами, то проведемо короткий аналіз поняття системи.

1.2 Поняття складності та унікальності технічно складного об'єкту

Система – це множина елементів, що існують у відношеннях і зв'язках один з одним і створюють визначену цілісність, єдність. Головне для складних систем це наявність взаємодії, зв'язків між елементами, які можуть бути механічними, електричними, інформаційними, квантовими, біологічними тощо. Один елемент може мати різні види зв'язків з іншими елементами.

Усі ТСО, що були перераховані вище складаються із безлічі механічних, електричних елементів, тощо. Між елементами існують складні зв'язки. Будь-який ТСО має у своєму складі вимірювальні інформаційні системи, які отримують інформацію про чисельні значення різних параметрів, що є важливими для функціонування об'єкта. До складу ТСО потрібно включити також біологічні системи: людей, екосистему тощо. Помилки людей можуть приводити до важких наслідків при експлуатації ТСО і, зокрема, вимірювальних систем. І, нарешті, ТСО обов'язково включає абстрактні системи або їх елементи: алгоритми, програми чи ще щось подібне.

У свою чергу, кожен технічно складний об'єкт є унікальним. Кількість ТСО в Україні та в світі, як правило, обмежена. Унікальними є і вимірювальні інформаційні системи, що входять до складу ТСО.

Основними функціями вимірювальних інформаційних систем на ТСО є забезпечення безпеки об'єкта, керування технологічними процесами та забезпечення вимірювальною інформацією систем діагностики.

У теперішніх умовах пріоритетного розвитку таких галузей промисловості, як енергетика, неможливо обійтися без використання надійних систем управління, контролю та діагностування ТСО. Для цього

використовуються вимірювальні системи, серед яких дуже важливе місце займають вимірювальні канали тиску (ВКТ). Надалі будемо говорити про тиск, так як дослідження було проведено саме для нього.

1.3 Загальна характеристика вимірювальних каналів тиску та вимоги, що до них пред'являються

Вимірювальна система (ВС) – засіб вимірювання, що представляє собою об'єднання заходів, вимірювальних приладів і інше, що виконують схожі функції, які перебувають в різних частинах певного простору і призначених для вимірювання певного числа фізичних величин в даному просторі.

ВС використовуються для:

- технічної характеристики об'єкта вимірювань, одержуваної шляхом проведення вимірювальних перетворень деякої кількості динамічно змінюються в часі і розподілених в просторі величин;
- автоматизованої обробки отриманих результатів вимірювань;
- фіксування отриманих результатів вимірювань і результатів їх автоматизованої обробки;
- перекладу даних у вихідні сигнали системи.

ВС мають основними ознаками засобів вимірювань і є їх специфічним різновидом.

Найбільшою структурною одиницею, для якої можуть нормуватись метрологічні характеристики, є вимірювальний канал.

Вимірювальний канал (ВК) – функціонально об'єднана сукупність засобів вимірювальної техніки, за яким проходить один послідовно перетворений сигнал.

Типова структура ВК включає в себе:

- первинний вимірювальний перетворювач;
- сполучний компонент вимірювальної системи – технічний пристрій або частина навколишнього середовища, яке призначене або

використовується для передачі з мінімально можливими спотвореннями сигналів, що несуть інформацію про вимірювану величину від одного компонента ВС до іншого (провідна лінія зв'язку, радіоканал, телефонна лінія зв'язку, високовольтна лінія електропередачі з відповідною каналоутворюючою апаратурою, а також перехідні пристрої – кабельні роз'єми, тощо);

- проміжний (уніфікує) вимірювальний перетворювач;
- аналого-цифровий перетворювач;
- процесор;
- цифро-аналоговий перетворювач.

Протяжність ВК може становити від десятків метрів до декількох сотень кілометрів. Число ВК – від декількох десятків до декількох тисяч. Інформація від датчиків передається зазвичай електричними сигналами – струм, напруга, частота проходження імпульсів. У деяких областях вимірювань сучасні датчики мають цифровий вихід. При великій протяжності ВК використовуються радіосигнали. Конструктивно об'єднана або територіально локалізована сукупність компонентів, складова частина ВС, завершальну вимірювальні перетворення, обчислювальні і логічні операції, передбачені процесом вимірювань і алгоритмами обробки результатів вимірювань в інших цілях, а також вироблення вихідних сигналів системи, називається програмно-технічним комплексом (ПТК). Значна частина сучасних ПТК будується на базі контролерів, як правило, модульного виконання, що включають в себе аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, процесор, модулі дискретної (бінарної) інформації (вхідні та вихідні), допоміжні пристрої. Промисловість випускає досить універсальні контролери, ПТК, які можуть використовуватися для автоматизації роботи різних об'єктів. Склад, конфігурація, програмне забезпечення таких комплексів конкретизується з урахуванням специфіки об'єкта. Виділення ВС в окремий вид ЗВ обумовлено рядом їх особливостей, що породжують специфіку їх метрологічного забезпечення.

До числа таких особливостей можна віднести:

– комплектацію ВС як єдиного, закінченого виробу з частин, що випускаються різними заводами-виробниками, тільки на місці експлуатації. У результаті цього відсутня заводська нормативна та технічна документація (технічні умови), яка регламентує технічні, зокрема, метрологічні вимоги до ВС як до єдиного виробу;

– багатоканальність систем, в результаті чого метрологічного контролю може підлягати не вся ВС, а тільки частина її ВК;

– рознесеність на значні відстані (іноді на десятки, сотні кілометрів) окремих частин ВС і, як наслідок, відмінність зовнішніх умов, в яких вони знаходяться;

– можливість розвитку, нарощування ВС в процесі експлуатації або можливість зміни її складу (структури) в залежності від цілей експерименту, що по суті виключає або ускладнює регламентацію вимог до таких ВС на відміну від звичайних ЗВ (вимірювальних приладів і т.д.), які є завершеними виробами на момент випуску їх заводом-виготовлювачем;

– розміщення окремих частин ВС може бути проведено на переміщаються об'єктах. У результаті одна (передає) частина ВС може працювати з різними прийомними частинами в процесі одного і того ж циклу вимірювань у міру переміщення об'єкта. При випуску і при експлуатації таких ВС заздалегідь невідомі конкретні екземпляри приймальні і передавальної частин, які будуть працювати спільно, тим самим відсутня «стабільний» об'єкт, для якого регламентуються метрологічні вимоги;

– використання первинних вимірювальних перетворювачів, вбудованих в технологічне обладнання, що ускладнює контроль ВС у цілому;

– широке використання в складі ВС обчислювальної техніки, що висуває проблему атестації алгоритмів обробки результатів вимірювань.

Враховуючи складність складових ТСО для функціонування таких систем необхідно розробляти новітні методи та методики діагностики їх елементів.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ТЕХНІЧНО СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТАХ

Вимірювальні дані отримують за допомогою ВКТ, що складаються з вимірювальної лінії (ВЛ) та датчиків тиску (рис. 2.1). Кількість останніх коливається в межах від 1 до 6. Надлишковість датчиків, що вимірюють один і той же тиск, обумовлена не тільки бажанням підвищити надійність і безпеку ТСО.



Рисунок 2.1 – Приклад реальної вимірювальної лінії на
ТСО

Спочатку розглянемо основні вимоги до вимірювань, що встановлені законодавством України. Особливо це важливо, враховуючи те, що саме невизначеності вимірювань присвячена робота.

2.1 Види та методи оцінювання результатів вимірювання засобами вимірювальної техніки

Перехід від похибок до невизначеностей вимірювань для України полягає не тільки в заміні відповідних термінів, а потребує системних заходів у метрологічному забезпеченні наукової діяльності, тощо. В теперішній час вимірювання є обов'язковою складовою професійної діяльності спеціалістів метрологів. Тому питання, які пов'язані з визначенням видів та методів оцінювання результатів вимірювання засобами вимірювальної техніки, відносяться до важливих науково-технічних задач, актуальність яких полягає у гармонізації вітчизняних нормативних документів в галузі метрології та метрологічного забезпечення з європейськими щодо переходу на невизначеність вимірювання.

Вимірювання – це відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту із застосуванням спеціальних технічних засобів. Під спеціальними технічними засобами розуміють засоби вимірювальної техніки. Відрізняють істинне і умовно істинне (дійсне) значення фізичної величини (ФВ). Істинне значення фізичної величини – це значення фізичної величини, що ідеально відображає в якісному і кількісному відношенні відповідну властивість даного об'єкта вимірювання. Проте через недосконалість вимірювань і засобів вимірювальної техніки істинне значення ФВ, яке існує об'єктивно, незалежно від його пізнання нами, визначити експериментально в принципі неможливо. Тому для значення фізичної величини, знайденого шляхом вимірювання, застосовують терміни «умовно істинне (дійсне) значення» і «результат вимірювання». Умовно істинне (дійсне) значення фізичної величини – це значення фізичної величини, знайдене експериментально і настільки наближене до істинного значення, що може бути використано замість нього для даної мети. Результат вимірювання – це значення фізичної величини, одержане шляхом її вимірювання. Результати вимірювань знаходять за показами засобів

вимірювань (ЗВ) безпосередньо або після додаткових обчислень. Математично результат вимірювання X (значення фізичної величини) в загальному вигляді подають у формі запису, названого основним рівнянням вимірювання:

$$X = \{X\} [X] = N_X X, \quad (2.1)$$

де $\{X\}=N_X$ – числове значення вимірюваної фізичної величини (показ ЗВ); $[X]$ – одиниця вимірювань (одиниця фізичної величини).

За характером зміни вимірюваної величини (або залежності вимірюваної величини) в часі розрізняють статичні і динамічні вимірювання. До статичного вимірювання належить вимірювання, при якому засіб вимірювальної техніки працює в статичному режимі, тобто тоді, коли вимірювана величина і відповідний їй сигнал вимірювальної інформації засобу вимірювальної техніки залишаються практично постійними протягом часу вимірювання або часу використання сигналу. До динамічного вимірювання належить вимірювання, яке виконується засобом вимірювальної техніки в динамічному режимі, тобто коли вимірювана величина і відповідний їй сигнал вимірювальної інформації засобу вимірювальної техніки змінюються в часі так, що для одержання результату вимірювання необхідно враховувати ці зміни. Звернемось до похибок вимірювань. Класифікація похибок надана на рис. 2.2. У загальному випадку повна похибка результату вимірювання складається з систематичної і випадкової складових, тому її слід розглядати в цілому як випадкову величину.

Математичне сподівання повної похибки вимірювань являє собою її абсолютну систематичну складову Δ_C , центрована складова повної похибки вимірювань – її абсолютну випадкову складову Δ . Виходячи з вказаного, за будь-яким законом розподілу абсолютну повну похибку вимірювань можна подати у вигляді:

$$\Delta = \Delta_c + \Delta, \quad (2.2)$$

де $\Delta = \Delta_c [M]$;

$$\Delta = \Delta M [\Delta] = \Delta - \Delta_c;$$

M – знак математичного очікування.

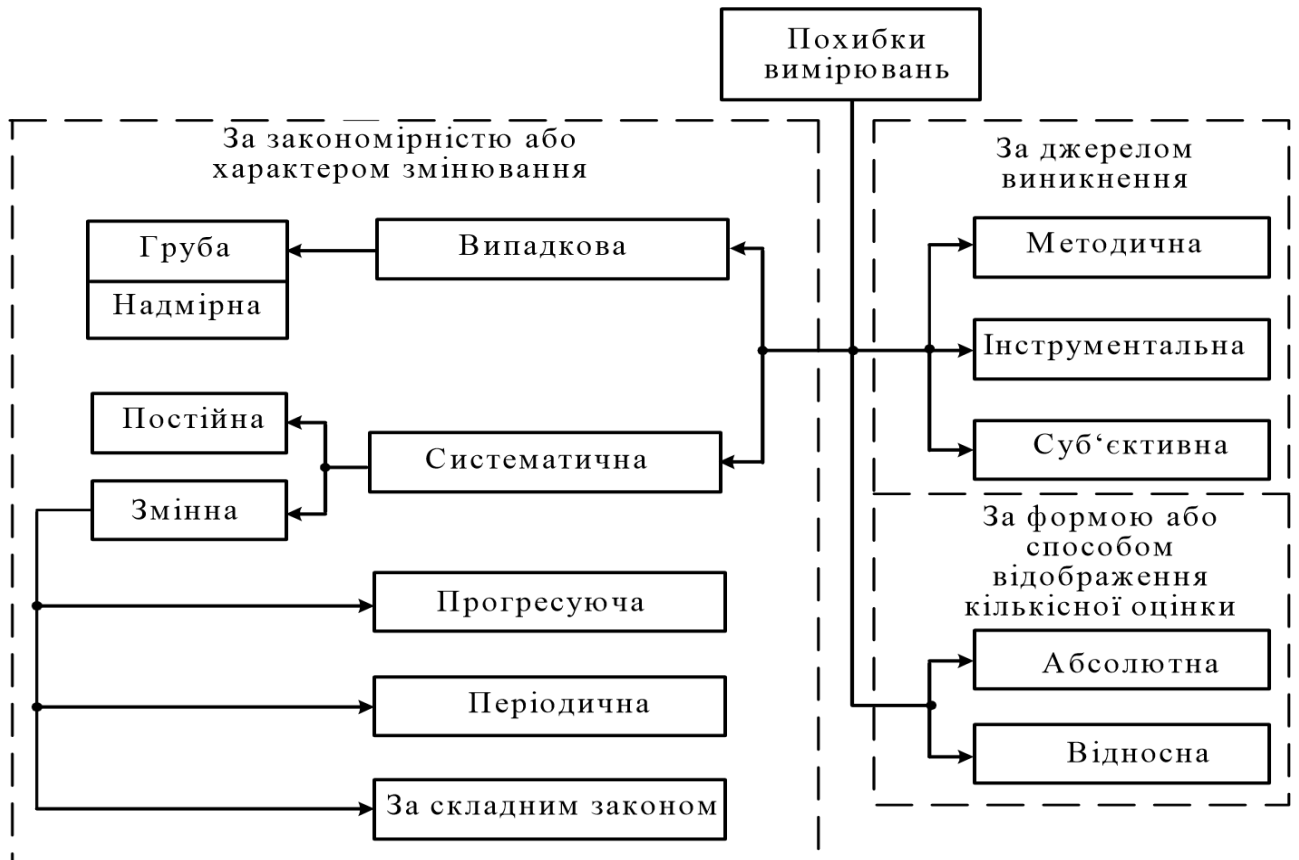


Рисунок 2.2 - Класифікація похибок

Якщо постійна систематична складова похибки вимірювання Δ_c відома, її вилучають з результату вимірювання X (або вводять поправку) і тим самим переходять до виправленого результату вимірювання:

$$\tilde{X} = X - \Delta_c \quad (2.3)$$

Кількісні характеристики похибок вимірювань відображають у двох формах (двома способами): абсолютній і відносній. Відповідно розрізняють

абсолютну і відносну похибки вимірювань. Абсолютна похибка вимірювання – різниця між результатом вимірювання X та істинним значенням вимірюваної величини X_i . Якщо істинне значення вимірюваної величини невідоме, то замість нього використовують умовно істинне (дійсне) значення X_y . Таким чином:

$$\Delta X = X - X_i = X - X_y \quad (2.4)$$

Відносна похибка вимірювання – відношення абсолютної похибки ΔX вимірювання до істинного чи умовно істинного (дійсного) значення вимірюваної фізичної величини або до результату вимірювання X . Відносна похибка вимірювання виражається у відносних одиницях:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_i} = X - X_y \quad (2.5)$$

або у відсотках

$$\delta X = \left(\frac{\Delta X}{X_i} \right) 100 = \left(\frac{\Delta X}{X_y} \right) 100 = \left(\frac{\Delta X}{X} \right) 100, \% \quad (2.6)$$

З відносною похибкою вимірювання пов'язане кількісне визначення точності вимірювань, яке іноді оцінюють величиною, зворотною модулю відносної похибки. Для кількісної оцінки впливу повної похибки, а також її систематичної і випадкової складових на результат вимірювання, використовують показники якості вимірювань: точність, правильність, збіжність, відтворюваність. Нагадаємо, що точність вимірювань звичайно характеризується відносною похибкою вимірювань: чим менша відносна похибка, тим вища точність вимірювань.

Правильність вимірювань – це показник якості вимірювань, що відбиває близькість до нуля систематичних похибок у результатах вимірювань. Тобто правильність характеризує вплив систематичної похибки на результат вимірювання.

Збіжність вимірювань – це показник якості вимірювань, що відбиває

близькість між собою результатів вимірювань того самого розміру фізичної величини, які виконуються повторно тими самими методами вимірювань і засобами вимірювальної техніки в однакових умовах. Таким чином, збіжність результатів вимірювань відображає близькість до нуля випадкової похибки.

Відтворюваність (або повторюваність у встановлених границях похибки) вимірювань визначається близькістю між собою результатів вимірювань того самого розміру фізичної величини, які отримують у різних містах і в різний час виконання експерименту, різними методами вимірювань і засобами вимірювальної техніки, але приводять до однакових умов виконання вимірювань (температури, тиску, вологості та інших впливових величин). Збіжність і відтворюваність можуть бути оцінені кількісно дисперсією результатів вимірювань. У вітчизняних нормативних документах для оцінювання точності вимірювань зберігається традиційний підхід, що ґрунтується на понятті «похибка вимірювань».

Новий підхід рекомендується Міжнародною електротехнічною комісією та іншими міжнародними організаціями. Цей підхід ґрунтується на оцінюванні точності вимірювань за допомогою поняття «невизначеність вимірювань» (або просто «невизначеність»). Поняття «невизначеності вимірювання» офіційно введено в міжнародну практику в 1993 р., коли було опубліковано роботу та її російський переклад. Одночасно було розроблено. Невизначеність вимірювання (а точніше невизначеність результату вимірювання) – це параметр, що зв'язаний з результатом вимірювання та характеризує певну дисперсію (розсіяння) значень, які можуть бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині. Отже, невизначеність вимірювань означає сумнів відносно вірогідності результатів вимірювань. У літературі з метрології та в будь-яких міжнародних документах нема досить переконливих обґрунтувань щодо відмови від терміну «похибка» і заміни його новим терміном «невизначеність». Це найактуальніша тема в метрології за останні 5-6 років. У сучасній літературі наголошуються на переваги невизначеності як показника вимірювань у порівнянні з класичним поняттям

похибки вимірювань. Визначаються три переваги невизначеності:

- з уведенням поняття невизначеності усувається поняття істинне значення вимірювальної величини;
- з уведенням поняття невизначеності усувається поняття абсолютна похибка вимірювань, яка виражається через істинне значення вимірювальної величини;
- усувається розподіл похибок вимірювань на систематичні та випадкові похибки.

Термін «похибка» асоціюється з визначеною величиною, а термін «невизначеність» – з сумнівом, невпевненістю, що нібито більше відображає фізичний зміст результату вимірювання.

Види невизначеності вимірювань:

- стандартна невизначеність (типи А і В);
- сумарна стандартна невизначеність;
- розширена невизначеність.

Стандартна невизначеність – це невизначеність результату прямих вимірювань, яка виражена через середнє квадратичне відхилення.

За методом обчислення розрізняють два типи стандартної невизначеності:

- стандартна невизначеність за типом А;
- стандартна невизначеність за типом В.

Стандартна невизначеність типу А – це невизначеність, яка обчислюється статистичними методами обробки результатів багаторазових вимірювань (спостережень). Вихідні дані – результати багатократних вимірювань, представлених вибіркою $X_q, q = \overline{1, n}$.

- стандартна невизначеність за типом А окремого результату вимірювань $X_q, q = \overline{1, n}$:

де X_q – вибірка; $1, \dots, n$ – вихідні дані

$$\hat{\Sigma}_x = + \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{q=1}^n (X_q - \bar{X})^2} = u_{Ax} = u_{A(X)}; \quad (2.7)$$

де $\hat{\Sigma}_x = u_{A(x)}$ – невизначеність типу А окремого результату вимірювань;

\bar{X} – середнє значення вимірюваної величини.

– стандартна невизначеність за типом А середнього арифметичного результатів багатократних вимірювань $X_q, q = \overline{1, n}$:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{q=1}^n (X_q - \bar{X})^2} = u_{A_X} = u_{A(\bar{X})};$$

(2.8)

де $\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ – невизначеність типу А середнього арифметичного результатів багатократних вимірювань.

Стандартна невизначеність типу В – це невизначеність, яка обчислюється за деякою апріорною інформацією: даними попередніх вимірювань величин, що входять в рівняння; даними вимірювань, що ґрунтуються на досвіді експериментатора або загальних знаннях про поведінку відповідних об'єктів і засобів вимірювальної техніки, даними їх перевірки, атестування і калібрування; невизначеності констант і довідкових даних тощо (рис. 2.3). Невизначеність усіх цих даних звичайно відображають границями відхилення результату вимірювання фізичної величини від оцінки її істинного значення. Тому невизначеність вимірювань типу В залежить від закону розподілу можливих значень вимірюваної величини.

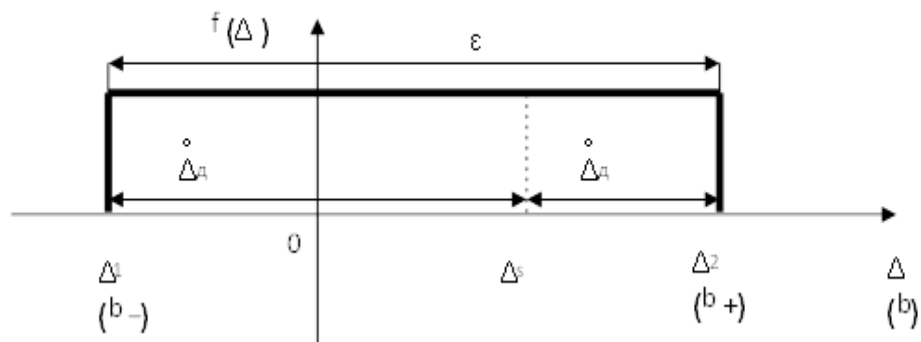


Рисунок 2.3 - Стандартна невизначеність за типом В

Вихідні дані невизначеність вимірювань типу В:

- дані попередніх вимірювань величин, що входять у рівняння вимірювань; відомості про закони (функції розподілу ймовірностей цих величин);
- дані, що ґрунтуються на загальних знаннях про поведінку та властивості відповідних засобів вимірювальної техніки;
- невизначеності констант і довідкових даних;
- дані повірок і калібрувань, відомості виробника ЗВТ про їх властивості (характеристики), тощо:

$$\sigma_x = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2\sqrt{3}} = \frac{\varepsilon}{2\sqrt{3}} = \quad (2.9)$$

$$\frac{\sum \Delta = \Delta_D}{\sqrt{3}} = u_B;$$

де $\sigma_x = u_B$ – невизначеність типу В; $\varepsilon = \Delta_D$ – відхилення результату;

Сумарна стандартна невизначеність – це стандартна невизначеність результату вимірювання, яка представляє суму складових цієї невизначеності. Вона має фізичний зміст дисперсії результату вимірювань і обчислюється через дисперсії (квадрати стандартних невизначеностей) інших фізичних величин (аргументів), через які визначається шукана фізична величина:

- суму складових невизначеності прямих багатократних вимірювань:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}; \quad (2.10)$$

де u_c – сумарна стандартна невизначеність прямих вимірювань.

- суму складових невизначеності опосередкованих вимірювань $Y = f(X_1, \dots, X_i, \dots, X_m)$;
- для корельованих величин $X_i, i = \overline{1, m}$

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial X}{\partial X_i}\right)^2 \times u^2(X_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial X_i} \times \frac{\partial f}{\partial X_j} r(X_i X_j) u(X_i) u(X_j)}; \quad (2.11)$$

де $r(X_i X_j)$ – коефіцієнт коеляції; $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ – коефіцієнт чутливості.

$$\hat{\Sigma}_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial X}{\partial X_i}\right)^2 \hat{\sigma}_{X_i}^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r(X_i X_j) \hat{\sigma}_{X_i}^2 \hat{\sigma}_{X_j}^2}; \quad (2.12)$$

де $\hat{\sigma}_{X_i} \hat{\sigma}_{X_j}$ – стандартні невизначеності; $\hat{\Sigma}_y$ – оцінка дисперсії результату вимірювання.

– для некорельованих величин $X_i, i = \overline{1, m}$, якщо $r(X_i X_j) = 0$, тоді:

$$u_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 u^2(X_i)}; \quad (2.13)$$

де $u_c(Y)$ – комбінована стандартна невизначеність

$$\hat{\sigma}_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 \hat{\sigma}_{X_i}^2} \quad (2.14)$$

Розширена невизначеність – це величина, що визначає інтервал, у границях якого знаходиться більша частина результатів непрямих вимірювань, які з достатньою підставою можуть бути приписані вимірюваній величині. Розширена невизначеність вимірювань обчислюється через сумарну стандартну невизначеність $u_c(Y)$, де k – коефіцієнт охоплення. Проаналізуємо інтервальну оцінку похибки:

$$U = k_p u_c(Y) \quad (2.15)$$

$$K_0 = t_0(V_{\text{эф}}) \text{ та } k_p = t_p(V_{\text{эф}}),$$

де $t_p(V_{\text{эф}})$ – коефіцієнт Стюдента, або квантіль розподілу Стюдента з ефективним числом степенів вільності $V_{\text{эф}}$ і довірчою ймовірністю (рівнем довіри) P .

Для коефіцієнта k :

$$V_{\text{еф1}} = \frac{u^4 c}{\sum_{i=1}^m \frac{u^4(X_i)}{V_i} \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^4}. \quad (2.17)$$

де V_i – число степенів свободи при розрахунку невизначеності оцінки i -ї вхідної величини.

Відповідно до вимог, розглянемо існуючу методику оптимального вимірювання тиску в багатоканальній системі. Ця методика є наближеною до запропонованої, але має свої недоліки.

2.2. Оптимальне вимірювання тиску в багатоканальній системі

Як уже згадувалося, на ТСО для отримання надійної вимірювальної інформації використовують багатоканальні системи, що вимірюють один і той же параметр технологічного процесу, наприклад, тиск.

Для отримання високих якісних показників вимірювання ці системи часто потребують оптимізації.

Під багатоканальністю розуміємо ВС до складу якої входить ВКТ та декілька каналів тиску. Тому, нехай одночасно вимірюється один і той же тиск p декількома датчиками тиску. Безпосередньому спостереженню доступний випадковий процес $\xi(t)$, який в кожному i -тому каналі $i = \overline{1, m}$ багатоканальної системи може бути записаний як:

$$\xi_i = p + n_i, \quad (2.18)$$

де p – тиск, що не змінюється на інтервалі спостереження;

n_i – адитивний білий гаусівський шум, тобто шум, миттєві значення якого розподілені по нормальному (гаусівському) закону. Апріорні відомості про тиск в неперервному часі записуються як:

$$\frac{dp}{dt} = 0 \quad (2.19)$$

Наступний крок - синтезування двоканальної оптимальної схеми вимірювання тиску за критерієм мінімуму дисперсії. Користуємося для цього рівняннями лінійної фільтрації. У результаті фільтрації отримуємо систему стохастичних диференціальних рівнянь оцінки тиску:

$$\frac{dp}{dt} = R \left[\frac{2}{N_1} (\varepsilon_1 - p) + \frac{2}{N_2} (\varepsilon_2 - p) \right] \quad (2.20)$$

та дисперсії

$$\frac{dR}{dt} = - \left[\frac{2}{N_1} + \frac{2}{N_2} \right] R^2 \quad (2.21)$$

де N_1, N_2

- спектральні інтенсивності каналів вимірювання, поділені на два. При розв'язанні (2.22) отримуємо:

$$\frac{1}{R(t)} = - \left[\frac{2}{N_1} + \frac{2}{N_2} \right] t + \frac{1}{R(0)} \quad (2.22)$$

де $R(0)=D(0)$ – початкове значення апіорної дисперсії тиску; t –час оцінки тиску. З формули (2.22) маємо:

$$R(t) = \frac{D(0)}{1 + D(0) \left[\frac{2}{N_1} + \frac{2}{N_2} \right] t} \quad (2.23)$$

Приклад результату розв'язання диференціальних рівнянь (2.20) та (2.21) приведений на рис. 2.3.

Оцінка тиску показана суцільною лінією, а дисперсія тиску – пунктирною. Через декілька секунд вона наближається до нуля, що свідчить про високу точність вимірювання тиску в багатоканальних вимірювальних інформаційних системах на техногенно небезпечних об'єктах.

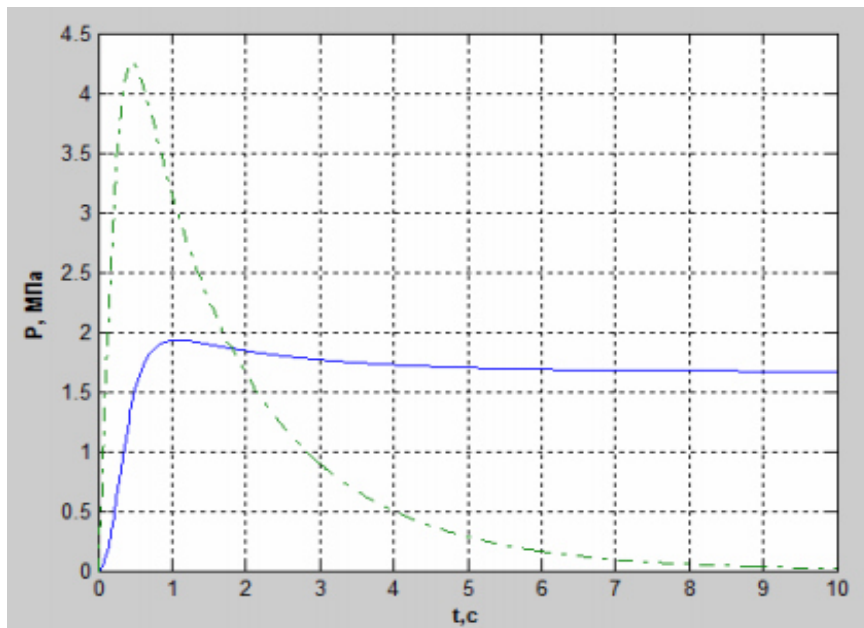


Рисунок 2.3 – Часова залежність оцінки тиску (суцільна лінія) та дисперсії тиску(пунктирна лінія)

Дана методика не пропонує оптимальну багатоканальну систему та не досліджує невизначеність вимірювань

3 МЕТОДИКА ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

3.1 Модель багатоканального вимірювального каналу тиску

На багатьох ТСО для надійності один і той же досліджуваний параметр може одночасно вимірюватись декількома датчиками, тобто виникає надлишковість вимірювання. У роботі розроблена оптимальна (відповідно мінімуму середньоквадратичної похибки) багатоканальна система вимірювання тиску (рис. 3.1). Вона представляє собою декілька лінійних датчиків, на вхід яких надходить одна й та ж сама вхідна нестационарна випадкова дія $\xi(t)$.

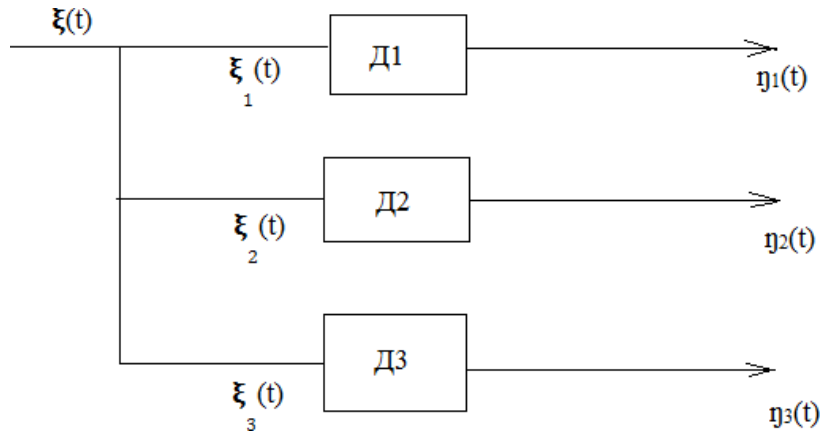


Рисунок 3.1 – Модель багатоканального вимірювального каналу тиску

Якщо, припустимо, динамічні характеристики першого датчика є повністю відомими зі стендових випробувань, то характеристики інших датчиків неважко визначити з кореляційного аналізу. При цьому вважається, що не тільки датчики, але і весь вимірювальний канал тиску, тобто датчики разом з вимірювальною лінією є лінійними. На основі розробленої системи запропонована методика оцінки невизначеності вимірювань.

Для початку представимо вхідні сигнали у трьох каналах p_1, p_2, p_3 у вигляді стохастичних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = -a_1 p_1(t) + n_{01} \quad (3.1)$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = -a_2 p_2(t) + n_{02} \quad (3.2)$$

$$\frac{dp_3(t)}{dt} = -a_3 p_3(t) + n_{03} \quad (3.3)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - коефіцієнти, що являють собою ширину спектру вхідних сигналів,

n_{01}, n_{02}, n_{03} - незалежні гауссівські білі шуми в першому, що мають двосторонню спектральну щільність $\frac{N_{01}}{2}, \frac{N_{02}}{2}, \frac{N_{03}}{2}$, яка представлена у вигляді матриці (3.4).

$$N_0 = \begin{pmatrix} \frac{N_{01}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{N_{02}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{N_{03}}{2} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Вхідні сигнали $p_1(t), p_2(t), p_3(t)$ разом з шумами створюють випадкові процеси (рис. 3.2):

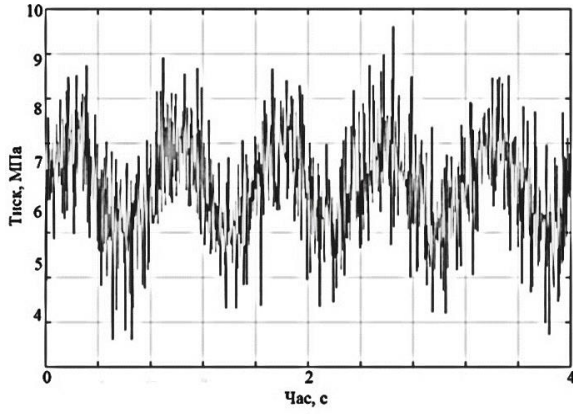
$$\xi_1(t) = p_1(t) + n_1(t), \quad (3.5)$$

$$\xi_2(t) = p_2(t) + n_2(t), \quad (3.6)$$

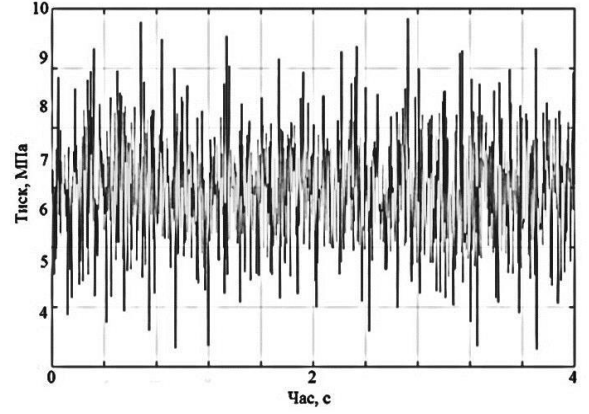
$$\xi_3(t) = p_3(t) + n_3(t), \quad (3.7)$$

де $n_1(t), n_2(t), n_3(t)$ - адитивні незалежні білі шуми, спектральна щільність яких представлена у вигляді матриці (3.8).

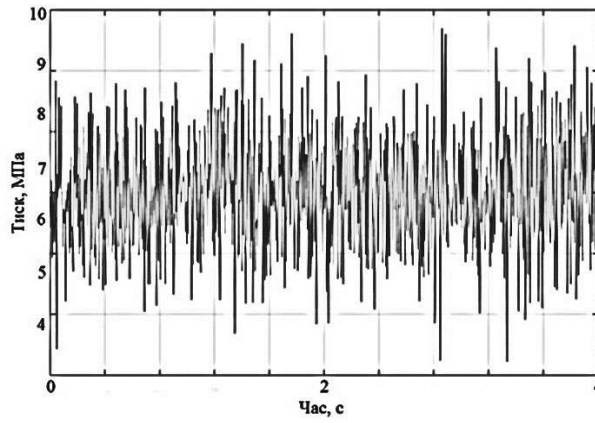
$$N = \begin{pmatrix} \frac{N_1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{N_2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{N_3}{2} \end{pmatrix} \quad (3.8)$$



$$\xi_1(t) = p_1(t) + n_1(t)$$



$$\xi_2(t) = p_2(t) + n_2(t)$$



$$\xi_3(t) = p_3(t) + n_3(t)$$

Рисунок 3.2 – Реалізації випадкових процесів у трьох каналах

3.2 Система оптимальної лінійної фільтрації

Представимо усі компоненти вимірювальної системи у вигляді векторів.

$$\vec{\xi}(t) = (\xi_1(t)\xi_2(t)\xi_3(t))^T \quad (3.9)$$

$$\vec{\xi}(t) = H(t)\vec{C}(t) + \vec{n}(t) \quad (3.10)$$

$$H(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3.11)$$

де $H(t)$ - матриця з рівномірними коефіцієнтами випадкових процесів

$$\vec{C}(t) = (p_1(t)p_2(t)p_3(t))^T \quad (3.12)$$

$$\vec{n}(t) = (n_1(t)n_2(t)n_3(t))^T \quad (3.13)$$

$$A = \begin{pmatrix} -a_1 & 0 & 0 \\ 0 & -a_2 & 0 \\ 0 & 0 & -a_3 \end{pmatrix}, \quad (3.14)$$

де a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти при випадкових процесах

Зупинимся на матриці (3.8). Це матриця спостереження, яка для простого випадку стаціонарного випадкового процесу не залежить від часу. При моделюванні замість одиниць можуть використовуватись часові функції, що описують деякий нестационарний процес параметрів тиску, що пов'язаний з характером процесів в каналах тиску.

Система оптимальної лінійної фільтрації записується у вигляді:

$$\frac{d\vec{C}(t)}{dt} = A\vec{C}(t) + K(t)H^T(t)N^{-1}(\vec{\xi}(t) - H(t)\vec{C}(t)) \quad (3.15)$$

$$\frac{dK(t)}{dt} = AK(t) + K(t)A^T(t) - K(t)H^T(t)N^{-1}H(t)K(t) + N_0 \quad (3.16)$$

де кореляційна матриця похибок фільтрації:

$$K(t) = \begin{pmatrix} K_{11}(t) & K_{12}(t) & K_{13}(t) \\ K_{21}(t) & K_{22}(t) & K_{23}(t) \\ K_{31}(t) & K_{32}(t) & K_{33}(t) \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Після перемноження матриць отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{R}(t)}{dt} &= -a_R \hat{R}(t) + \frac{2K_{11}(t)}{N_R} (\xi_1(t) - \hat{R}(t)) + \\ &+ \frac{2K_{12}(t)}{N_G} (\xi_2(t) - \hat{G}(t)) + \frac{2K_{13}(t)}{N_B} (\xi_3(t) - \hat{B}(t)) \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{G}(t)}{dt} &= -a_G \hat{G}(t) + \frac{2K_{12}(t)}{N_R} (\xi_1(t) - \hat{R}(t)) + \\ &+ \frac{2K_{22}(t)}{N_G} (\xi_2(t) - \hat{G}(t)) + \frac{2K_{23}(t)}{N_B} (\xi_3(t) - \hat{B}(t)) \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{B}(t)}{dt} &= -a_B \hat{B}(t) + \frac{2K_{13}(t)}{N_R} (\xi_1(t) - \hat{R}(t)) + \\ &+ \frac{2K_{23}(t)}{N_G} (\xi_2(t) - \hat{G}(t)) + \frac{2K_{33}(t)}{N_B} (\xi_3(t) - \hat{B}(t)) \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\frac{dK_{11}(t)}{dt} = -2a_R K_{11}(t) - \frac{2K_{11}^2(t)}{N_R} - \frac{2K_{12}^2(t)}{N_G} - \frac{2K_{13}^2(t)}{N_B} + \frac{N_{0R}}{2} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} \frac{dK_{12}(t)}{dt} &= -a_G K_{12}(t) - a_R K_{12}(t) - \\ &- \frac{2K_{11}(t)K_{12}(t)}{N_R} - \frac{2K_{12}(t)K_{22}(t)}{N_G} - \frac{2K_{13}(t)K_{22}(t)}{N_B} \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \frac{dK_{13}(t)}{dt} &= -a_B K_{13}(t) - a_R K_{13}(t) - \\ &- \frac{2K_{11}(t)K_{13}(t)}{N_R} - \frac{2K_{12}(t)K_{23}(t)}{N_G} - \frac{2K_{13}(t)K_{33}(t)}{N_B} \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\frac{dK_{22}(t)}{dt} = -2a_G K_{22}(t) - \frac{2K_{12}^2(t)}{N_R} - \frac{2K_{22}^2(t)}{N_G} - \frac{2K_{23}^2(t)}{N_B} + \frac{N_{0G}}{2} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \frac{dK_{23}(t)}{dt} &= -a_B K_{23}(t) - a_G K_{23}(t) - \\ &- \frac{2K_{12}(t)K_{13}(t)}{N_R} - \frac{2K_{22}(t)K_{23}(t)}{N_G} - \frac{2K_{23}(t)K_{33}(t)}{N_B} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\frac{dK_{33}(t)}{dt} = -2a_B K_{33}(t) - \frac{2K_{13}^2(t)}{N_R} - \frac{2K_{23}^2(t)}{N_G} - \frac{2K_{33}^2(t)}{N_B} + \frac{N_{0B}}{2} \quad (3.26)$$

У системі відсутні рівняння для симетричних компонент, наприклад,

$$K_{12}(t) = K_{21}(t), K_{13}(t) = K_{31}(t), K_{23}(t) = K_{32}(t).$$

3.3 Результати математичного моделювання

На рис. 3.3 представлені результати математичного моделювання, а саме розв'язок перших трьох рівнянь системи. На рис. 3.3, а представлені результати математичного моделювання для рівняння (3.18), на рис. 3.3, б – для рівняння (3.19), а на рис. 3.3, в – (3.20) відповідно.

На рис. 3.4 представлені елементи матриці кореляційних похибок фільтрації. Коефіцієнт кореляції не перевищує 3 %, що підтверджує наші припущення стосовно природи сигналу та лінійності датчиків.

Також були проведені дослідження і для інших видів сигналів: сигналів із деякою аномалією (рис. 3.5) та суми гармонійних сигналів (рис. 3.7).

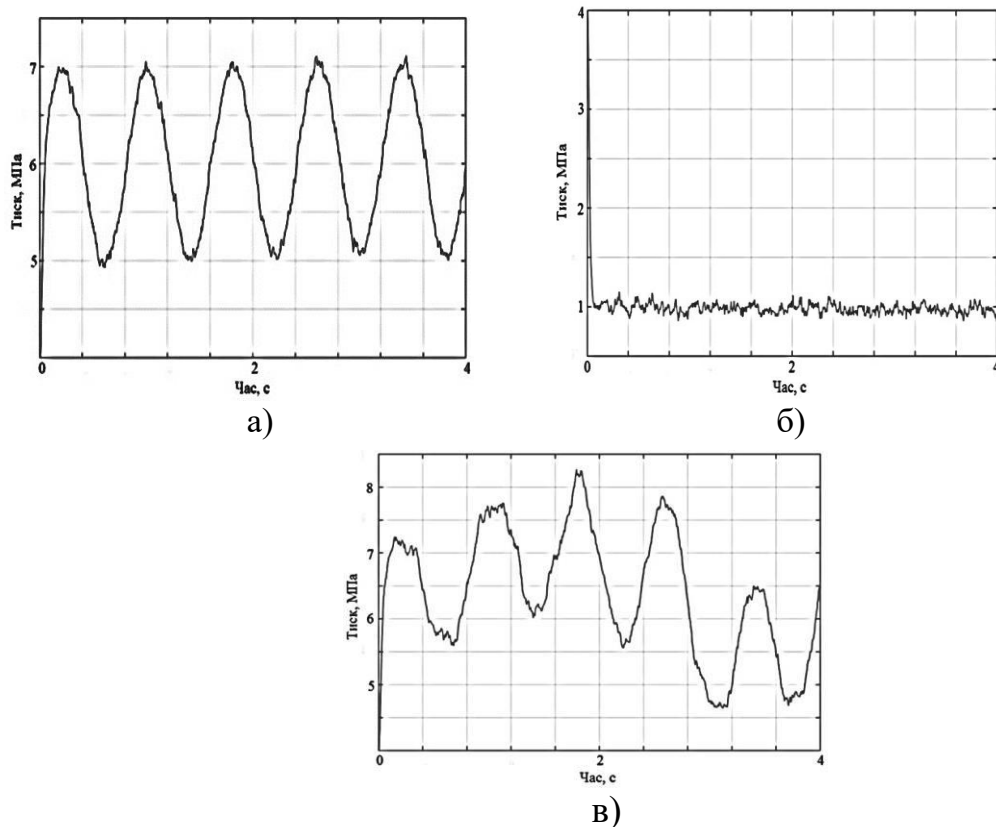
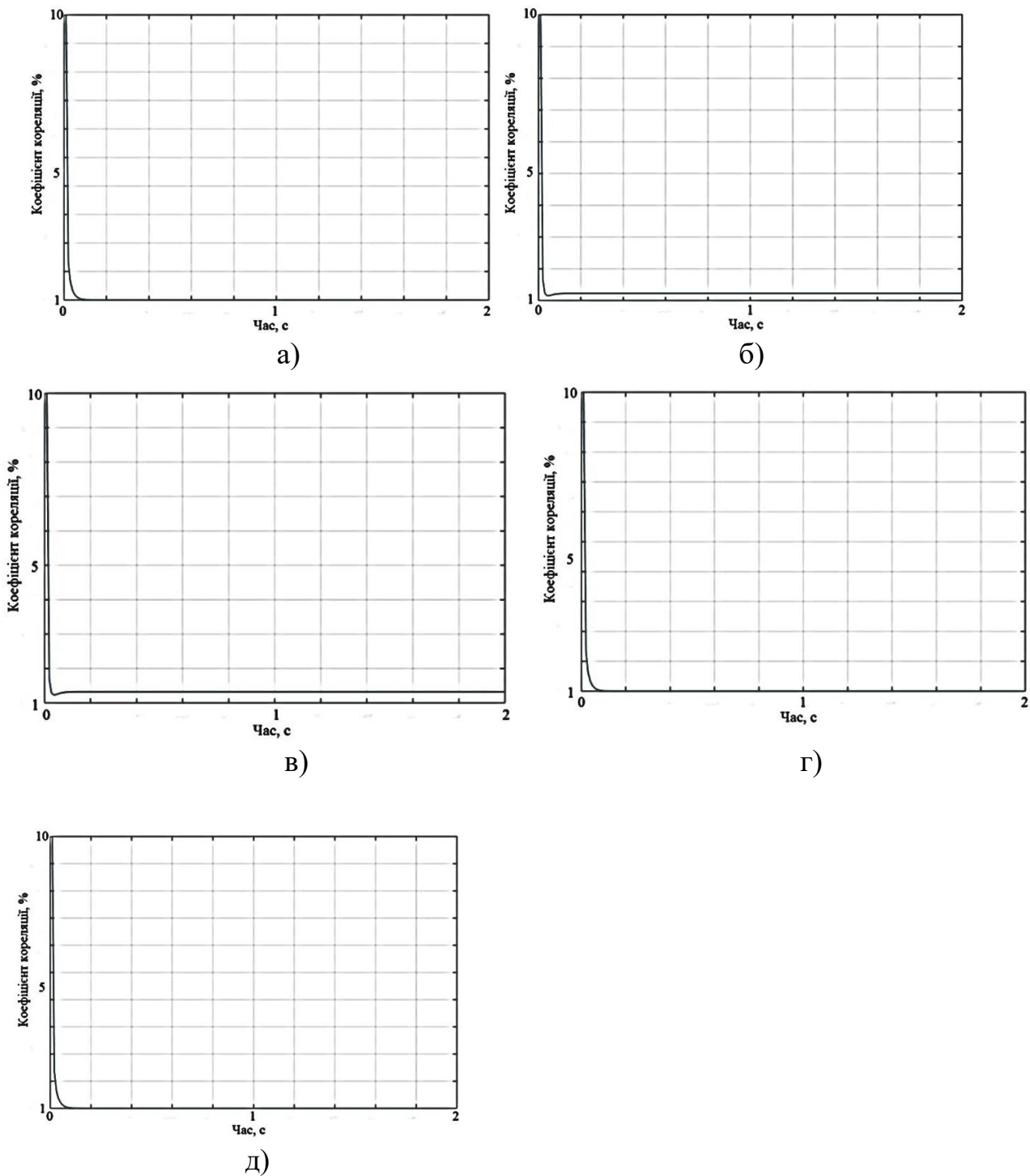
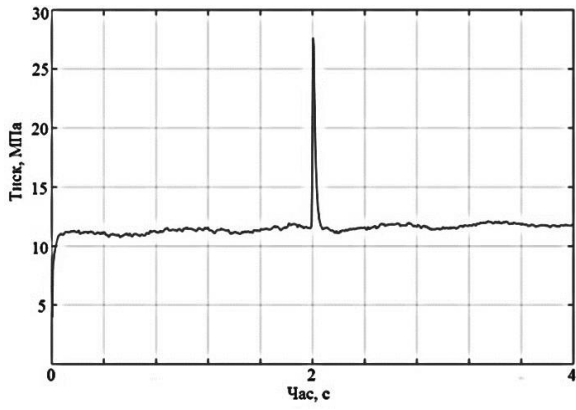


Рисунок 3.3 – Результати математичного моделювання

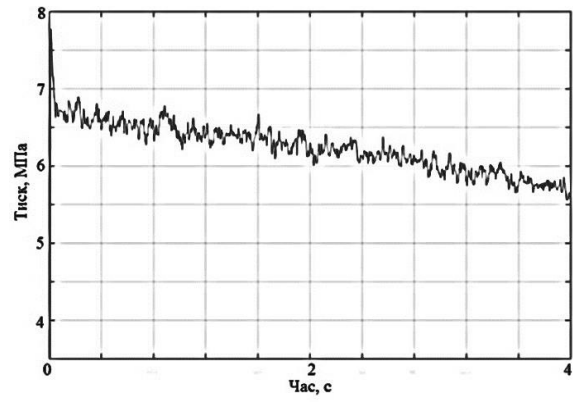


- а) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- б) – коефіцієнт похибки результату 2-го дослідження;
- в) – коефіцієнт похибки результату 3-го дослідження;
- г) – коефіцієнт похибки результату 4-го дослідження;
- д) – коефіцієнт похибки результату 5-го дослідження.

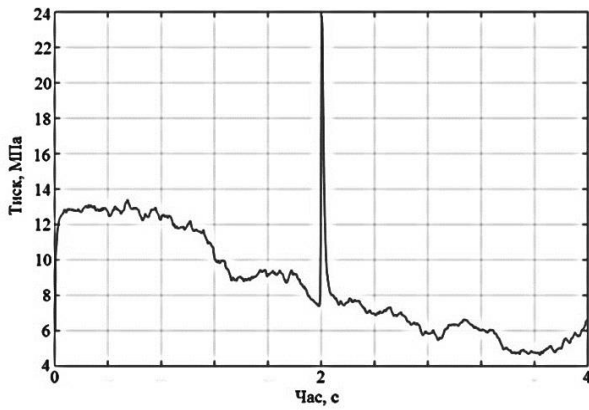
Рисунок 3.4 – Елементи матриці кореляційних похибок фільтрації



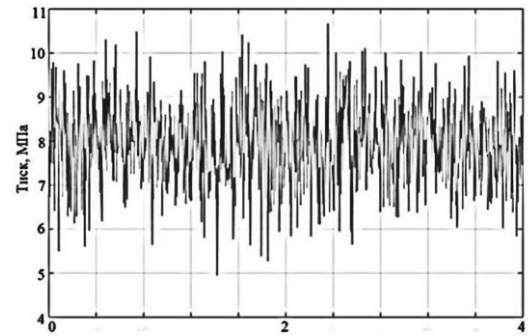
а)



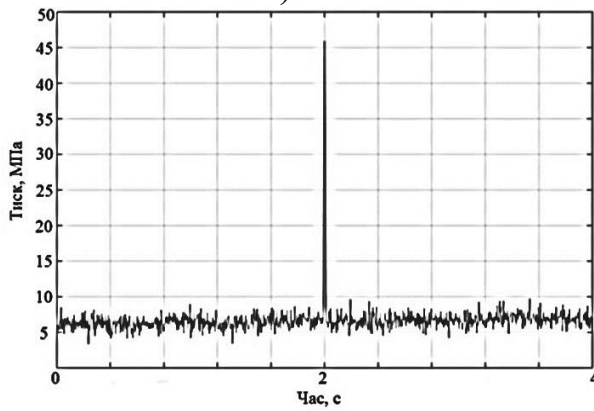
б)



в)



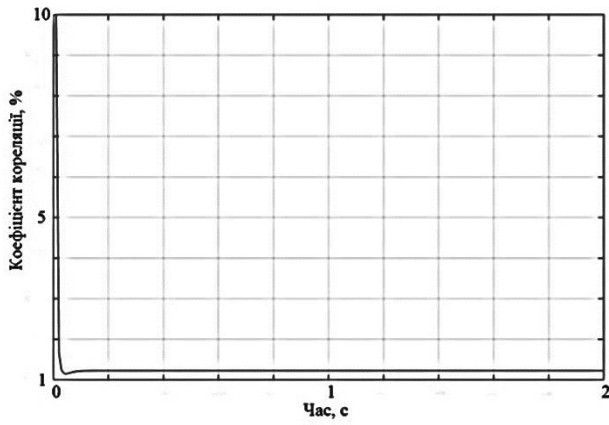
г)



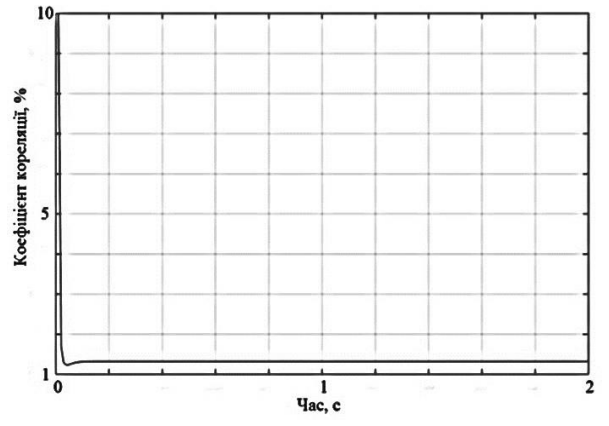
д)

- а) – результат математичного моделювання 1-го дослідження;
- б) – результат математичного моделювання 2-го дослідження;
- в) – результат математичного моделювання 3-го дослідження;
- г) – результат математичного моделювання 4-го дослідження;
- д) – результат математичного моделювання 5-го дослідження.

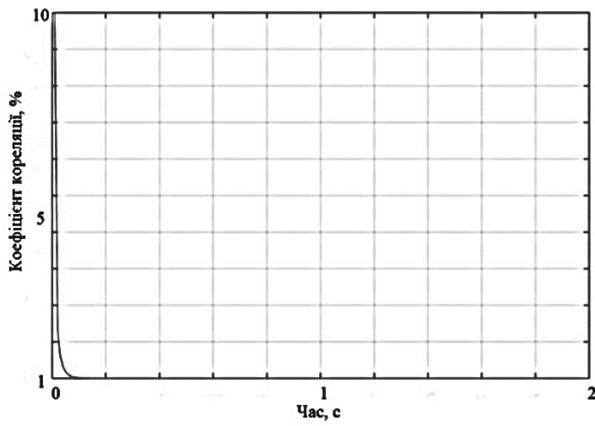
Рисунок 3.5 – Результати математичного моделювання для сигналів із деякою аномалією



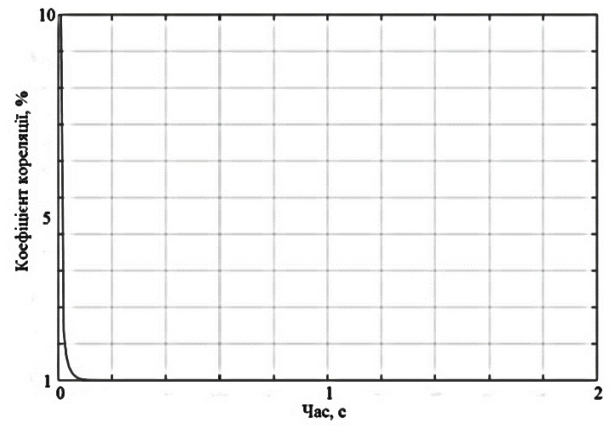
а)



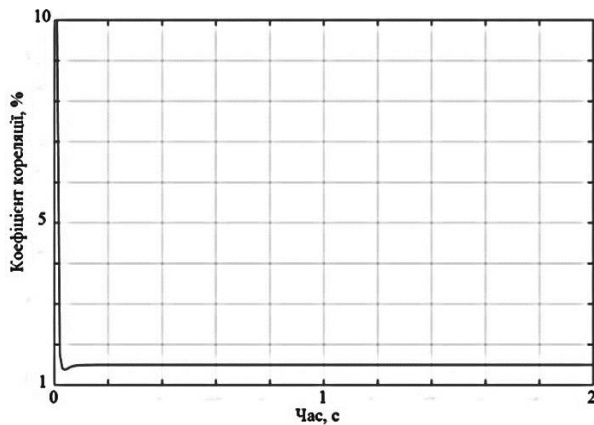
б)



в)



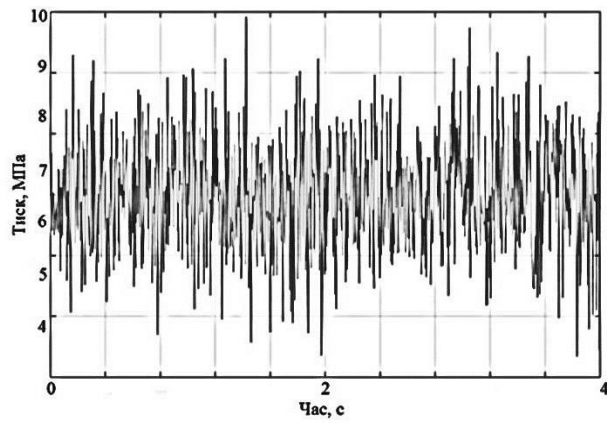
г)



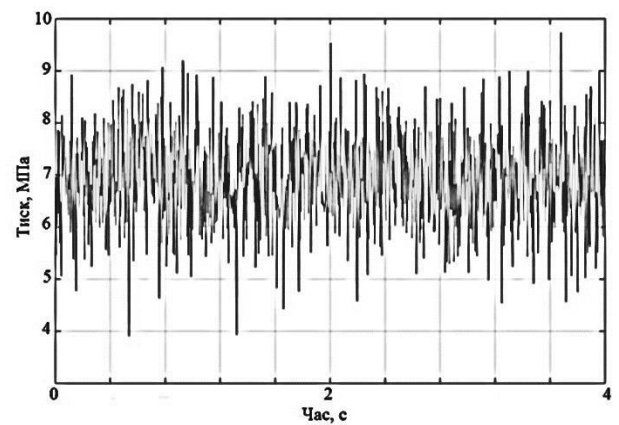
д)

- а) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- б) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- в) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- г) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- д) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження.

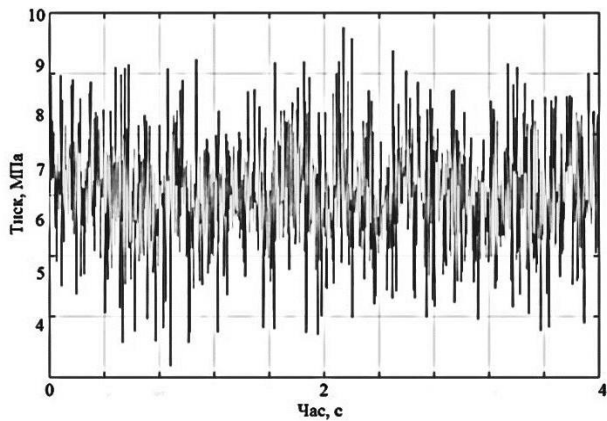
Рисунок 3.6 – Елементи матриці кореляційних похибок фільтрації для сигналів із деякою аномалією



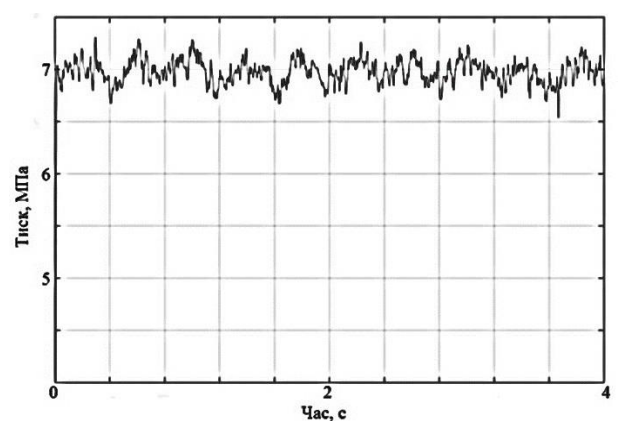
а)



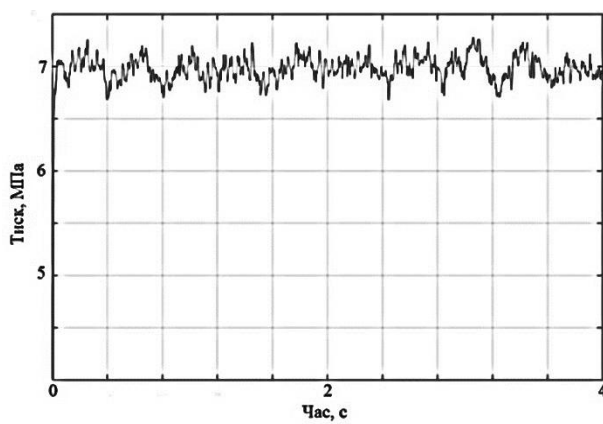
б)



в)



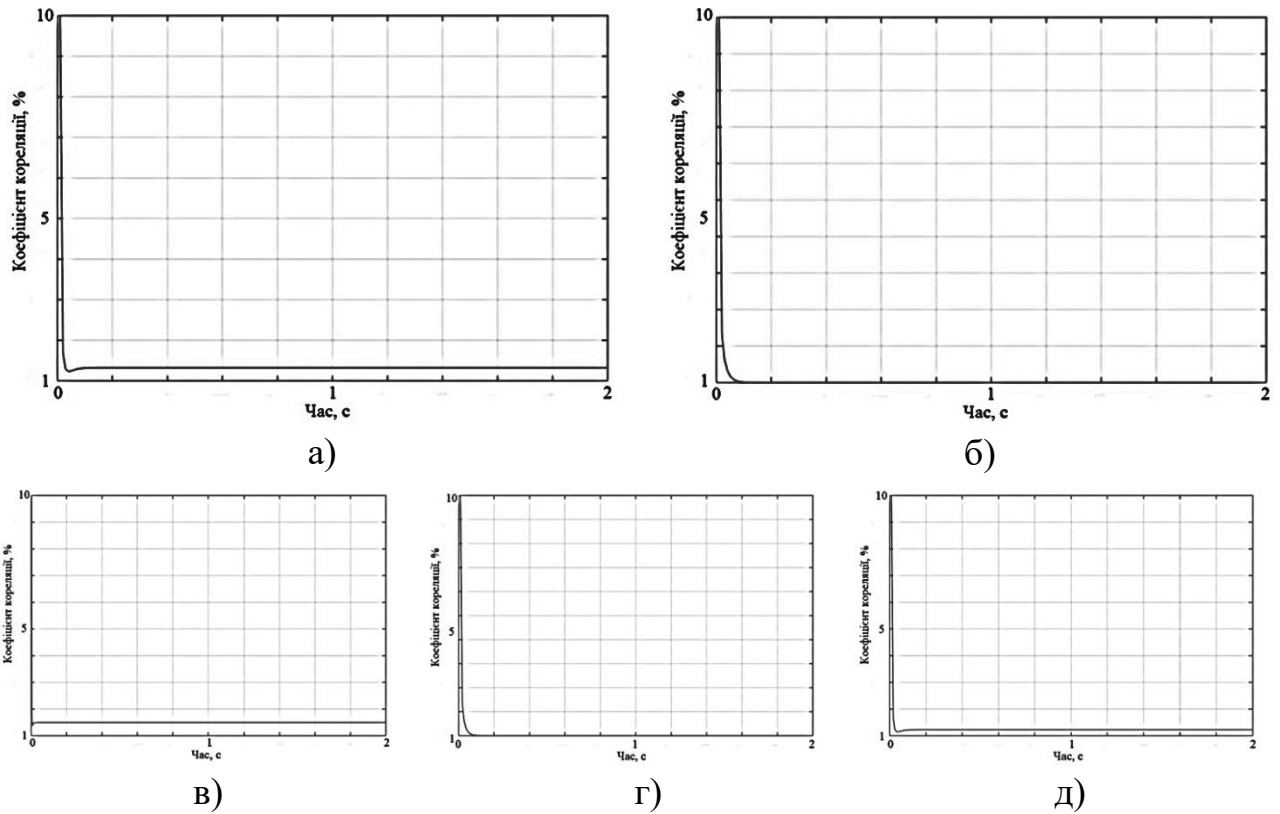
г)



д)

- а) – результат математического моделирования 1-го дослідження;
- б) – результат математического моделирования 2-го дослідження;
- в) – результат математического моделирования 3-го дослідження;
- г) – результат математического моделирования 4-го дослідження;
- д) – результат математического моделирования 5-го дослідження.

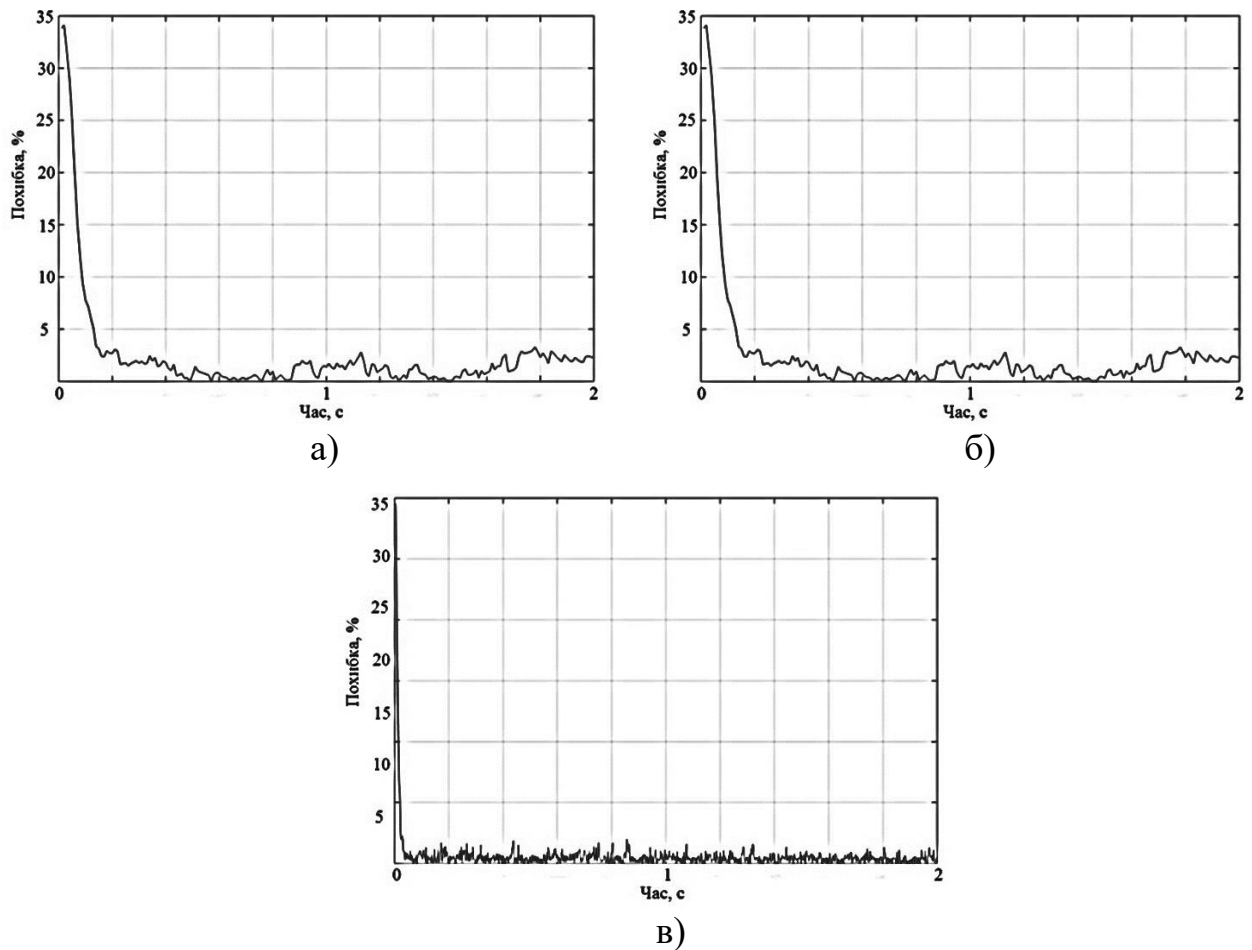
Рисунок 3.7 – Результати математического моделирования для суми гармонійних сигналів



- а) – коефіцієнт похибки результату 1-го дослідження;
- б) – коефіцієнт похибки результату 2-го дослідження;
- в) – коефіцієнт похибки результату 3-го дослідження;
- г) – коефіцієнт похибки результату 4-го дослідження;
- д) – коефіцієнт похибки результату 5-го дослідження.

Рисунок 3.8 – Елементи матриці кореляційних похибок фільтрації для суми гармонійних сигналів

У результаті досліджень отримали невизначеність типу В (рис. 3.9), що дає змогу стверджувати, що метод має похибку у результаті чисельного вирішення диференціальних рівнянь.



- а) – невизначеність 1-го результату;
- б) – невизначеність 2-го результату;
- в) – невизначеність 3-го результату.

Рисунок 3.9 – Невизначеність вимірювання

Відносна похибка вимірювань коливається у межах 5 % для усіх досліджуваних типів сигналів, що говорить про адекватність функціонування запропонованої методики.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було проаналізовано науково-технічну інформацію щодо каналів вимірювання тиску на складних об'єктах, їх класифікацію, принцип роботи та характеристики. Також в роботі було запропоноване використання моделювання зміни тиску для раціональної експлуатації технічно складних об'єктів.

У роботі розроблена та досліджена оптимальна багатоканальна система вимірювання тиску за допомогою середовища MATLAB. Вона представляє собою декілька лінійних датчиків, на вхід яких надходить одна й та ж сама вхідна нестационарна випадкова дія. На основі цієї системи була розроблена методика оцінки невизначеності вимірювань в багатоканальних вимірювальних каналах тиску.

Дана методика показала достовірні результати. Коефіцієнт кореляції не перевищує 3% для різних типів сигналів, що підтверджує наші припущення стосовно природи сигналу та лінійності датчиків. Методика має невизначеність типу В. Відносна похибка коливається у межах 5%.

ПРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва». [Чинний від 1 вересня 2013 року] Вид. офіційне. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 32 с.
2. Бровко. Я. С. Порівняння основних моделей вимірювальних каналів тиску на техногенно небезпечних об'єктах. *Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення сил охорони правопорядку: збірник тезисів доповідей науково-практичної конференції г. Харків, 2016 г.* Харків : НАНГУ, 2016. С. 28–30.
3. ДСТУ ISO/IEC 17025-2001 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій». [чинний від 27 грудня 2006 р] вид.оф. Київ держспоживстандарт україни 2007. 24 с.
4. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник. Частина 1. Х.: ХВУ, 2001. 424 с.
5. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник. Частина 2. Х.: ХУПС, 2007. 86 с.
6. Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: підручник /2-ге вид., випр. і доп. Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2004. 560 с.
7. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2004. 324 с.
8. ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). [Valid from 01-05-2007]. Ed. Offiser. Geneva: ISO, 2007. 120 p.

9. Hashemian H. M. Predictive maintenance in nuclear power plants through online monitoring. *Ядерна та радіаційна безпека*, 2013. №4 (60). С. 42-50.
10. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. *Proceedings of the First International Conference on Neural Network IEEE Press*. New York, 1987. Vol. III. Pp. 11-13.
11. Про основи національної безпеки України : Закон України від 19.06.2003 р.
№ 964-IV. *Офіційний вісник України*. 2003р. №29 стор.38 стаття 1433.
12. Hashemian H. M. Predictive maintenance in nuclear power plants through online monitoring. *Ядерна та радіаційна безпека*, 2013. №4 (60). С. 42-50.
13. Kolmogorov A. N. On the representation of continuous functions of several variables by superpositions of continuous functions of one variable and addition. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1957. Vol. 114. Pp. 679-681 (in Russian).
14. Yao L. Identification of a Nonlinear System Modeled by a Sparse Volterra Series.
IEEE International Conference on Systems Engineering, 1992.Pp. 624-627.
15. Sprecher D. A. Numerical implementation of Kolmogorov's superpositions I. *Neural Network*, 1996. Vol. 9. Pp. 765-772.
16. Sprecher D. A. Numerical implementation of Kolmogorov's superpositions II. *Neural Network*, 1997. Vol. 10. Pp. 447-457.
17. Кондрашов С. І. Методи підвищення точності систем тестових випробовувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах. Харків : НТУ «ХП», 2004. С. 224.