

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та БЖД

Дипломна робота

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ
БАГАТОКАНАЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛА ЗГОРТКИ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц.



Я. С. Медведовська

Студентка гр. ММ-61-22



А. В. Плетенко

Харків - 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Освітній рівень - магістр

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. І. Богатов О. І. Богатов

«11» жовтня 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Плетенко Ангеліні Валеріївні

1. Тема роботи: «Дослідження методу оцінювання адекватності моделі багатоканальної інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи на основі інтеграла згортки».

Керівник роботи Медведовська Яна Сергіївна, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» жовтня 2023 р. №130.

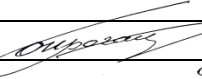

2. Строк подання студентом роботи 13 листопада 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи 1). Нелінійний інерційний вимірювальний канал тиску. 2). Розділ функцій нелінійності та інерційності вимірювального каналу тиску за допомогою блочно-орієнтованих моделей. 3). Обернена задача вимірювання для визначення характеристик та обробки результатів вимірювання вимірювального каналу тиску. 4). Перелік критеріїв адекватності інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Вимірювання тиску на потенційно небезпечних об'єктах; 3. Досліджувана багатоканальна інтелектуальна вимірювальна інформаційна система; 4 Оцінка адекватності досліджуваної моделі системи; 5. Охорона праці на підприємстві; 6. Висновок; 7. Перелік посилань.

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

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

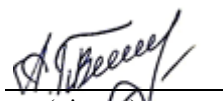
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4	Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання «19» вересня 2023 р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури стосовно потенційно небезпечних об'єктів України.	19.09.2023	
2	Огляд науково-технічних джерел щодо застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем тиску на потенційно небезпечних об'єктах.	29.09.2023	
3	Опис досліджуваної моделі вимірювального каналу тиску з подальшим використанням у багатоканальній системі для визначення її параметрів. Застосування оберненої задачі вимірювань.	10.10.2023	
4	Дослідження на адекватність запропонованої досліджуваної моделі.	20.10.2023	
5	Формування висновків по роботі. Оформлення дипломної роботи	30.10.2023	
6	Підготовка презентації та доповіді	10.11.2023	

Студентка гр. ММ-61-22


 (підпис)
А. В. Плетенко

Керівник роботи


 (підпис)
Я. С. Медведовська

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 83 с., 29 рис., 5 табл., 1 додаток, 21 джерело.

БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА, БЛОЧНО-ОРІЄНТОВАНІ МОДЕЛІ, ВИМІРЮВАЛЬНА ЛІНІЯ, ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ТИСКУ, ДАТЧИК ТИСКУ, МОДЕЛЬ ГАММЕРШТЕЙНА, ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ

Об'єктом дослідження є модель інтелектуальної інформаційної системи, що описує нелінійний інерційний вимірювальний канал тиску.

Мета роботи – дослідити відповідність досліджуваної моделі критеріям адекватності.

Метод дослідження – за допомогою математичного моделювання у програмному пакеті MATLAB провести дослідження відповідно до критерії адекватності.

Сучасні галузі підприємства вже не можуть існувати без сучасних інтелектуальних інформаційних систем. Ці системи або функціонують паралельно з існуючими стаціонарними системами, або зовсім їх заміщають. Наразі цього вимагають міжнародні стандарти якості продукції та сучасний ринок, який спонукає модернізувати підприємства.

У роботі розглядається саме модель вимірювального каналу тиску, що представляє собою нелінійну (вимірювальна лінія) інерційну (датчик) систему.

Вимірювальний канал описується блочно-орієнтованою моделлю Гаммерштейна, яка розносить нелінійність та інерційність на два різних блоки. Математична модель використовує обернену задачу вимірювань для достовірності відтворення вхідної дії.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ...	6
Вступ.....	7
1 Вимірювання тиску на потенційно небезпечних об'єктах	7
1.1 Потенційно небезпечні об'єкти України.....	7
1.2 Інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи на потенційно небезпечних об'єктах.....	13
1.3 Вимірювальний канал тиску на потенційно небезпечному об'єкті...	15
1.4 Вимірювальна лінія як складова вимірювального каналу тиску.....	21
2 Досліджувана багатоканальна інтелектуальна вимірювальна інформаційна система.....	23
2.1 Обґрунтування використання блочно-орієнтованих моделей.....	23
2.2 Сутність методу розв'язання оберненої задачі вимірювань.....	26
3 Оцінка адекватності досліджуваної моделі системи	38
4 Охорона праці на підприємстві.....	52
4.1 Правові основи охорони праці	52
4.2 Міжнародний стандарт ISO 45001 як інструмент менеджменту в області охорони праці	53
4.3 Нормовані показники освітленості та рівня шуму. Розрахунки.....	54
Висновки.....	62
Перелік посилань.....	63
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

ВК – вимірювальний канал

ВКТ – вимірювальний канал тиску

ВЛ – вимірювальна лінія

ОП – охорона праці

ОПН – об'єкти підвищеної небезпеки

ПНО – потенційно небезпечні об'єкти

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ВСТУП

Потенційно небезпечні об'єкти продовжують функціонувати навіть у складні часи для країни. Їх кількість на території держави значна у порівнянні з європейськими країнами. Основна політика держави у функціонуванні таких об'єктів – забезпечити охорону здоров'я населення, навколишнього середовища, збереження матеріальних цінностей та активна участь у ліквідації наслідків у разі виникнення катастрофи. Головна задача таких підприємств – попередити ті самі можливі катастрофи. Для цього активно використовуються сучасні інтелектуальні вимірювальні системи, які і дають змогу отримати реальні достовірні дані про об'єкт вимірювання.

Відповідно до європейських стандартів та тенденцій сучасного міжнародного ринку, вже важко представити промисловий об'єкт будь-якої галузі без застосування математичного апарату, віртуальних засобів вимірювань та програмних забезпечень, що функціонують разом з реальними вимірювальними системами. Їх використання дає змогу отримати більшу довіру до результатів вимірювання та дати більш повну оцінку самого процесу вимірювання.

У дипломі розглянута віртуальна модель вимірювального каналу тиску, яка складається з вимірювальної лінії (нелінійна частина) та датчика тиску (інерційна частина). Вимірювальний канал представлений у вигляді блочно-орієнтованої моделі та інтегралу згортки. Таке представлення спрощує математичний опис реального вимірювального каналу та спрощує сам математичний апарат обробки результатів.

Головна мета роботи – провести аналіз такого вимірювального каналу тиску та визначити переваги та обмеження для його використання.

1 ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

1.1 Потенційно небезпечні об'єкти України

Відповідно до Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [1], потенційно небезпечними об'єктами (ПНО) називають певну групу об'єктів господарської діяльності, які створюють потенційну, а за певних умов і реальну загрозу виникнення виробничої аварії.

Відповідно до [2], до потенційно небезпечних об'єктів належать такі промислові об'єкти, що спеціалізуються на виготовленні, переробці, транспортуванні та зберіганні небезпечних речовин та біологічні препарати.

Небезпечними називаються ті речовини, які через свої фізико-хімічні властивості здатні негативно впливати на людей, довкілля та матеріальні цінності [2]. Також небезпечними називають біологічні, хімічні, вибухові, окислювальні, займисті речовини.

До біологічних препаратів належать речовини біологічного походження, небезпечні для життя і здоров'я людей та довкілля.

У свою чергу, серед потенційно небезпечних об'єктів існують об'єкти підвищеної небезпеки (ОПН). Відповідно до Закону України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [3], ОПН це такі об'єкти на яких використовуються небезпечні речовини у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, що може стати причиною виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

За видом небезпечних речовин, що їх використовують у виробничому процесі, потенційно небезпечні об'єкти поділяються на: вибухо- й пожежонебезпечні об'єкти; хімічно небезпечні об'єкти; радіаційно небезпечні об'єкти.

Вибухо- й пожежонебезпечні об'єкти – це виробництва вибухових (тротил, тетрил, гексоген тощо) і займистих речовин, нафтопереробні

підприємства (рис. 1.1), млинарські комбінати, елеватори та інші підприємства, що використовують або виробляють вибухові та займісті речовини (рис. 1.2). Аварії на таких підприємствах спричиняють пошкодження та знищення матеріальних цінностей, травмування і загибель людей.



Рисунок 1.1 – Нафтобаза мережі автозаправного комплексу «ОККО» (Житомирська обл.)



Рисунок 1.2 – Акціонерне товариство «ДНІПРОАЗОТ» (Дніпропетровська обл.)

Хімічно небезпечними є підприємства хімічної, целюлозно-паперової (рис. 1.3), нафтопереробної, металургійної промисловості (рис. 1.4).



Рисунок 1.3 – Жидачівський Целюлозно-паперовий комбінат (Львівська обл.)

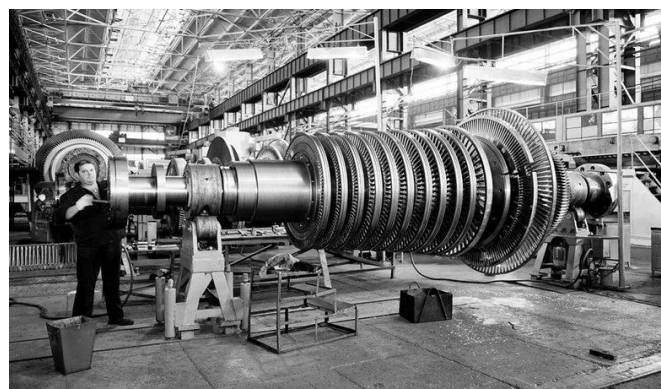


Рисунок 1.4 – Акціонерне товариство «Українські енергетичні машини» (м. Харків)

Такі об'єкти пов'язані з виробництвом добрив, соди, кислот; з великими запасами сильнодіючих отруйних речовин і транспортні магістралі для їх

перевезення. Вони є небезпечні тим, що забруднюють повітря хлором, сірководнем, азотом, аміаком та іншими хімічними речовинами. У стічних водах цих підприємств містять органічні речовини, хлориди, нітрати, залізо, нафтопродукти, важкі метали. На таких підприємствах є також накопичувачі, у яких збираються забруднені води, які можуть заподіяти значну шкоду довкіллю.

Радіаційно небезпечними об'єктами є атомні електростанції, виробництва ядерного палива, переробки та поховання радіоактивних відходів тощо. Аварії на таких об'єктах супроводжуються викидом радіоактивних речовин в атмосферу, що викликають радіоактивне зараження повітря, місцевості, водоймищ, рослинності.

Такі аварії називають радіаційними. Наслідком радіоактивного зараження може бути опромінення людей у дозах, що перевищують норми радіаційної безпеки. Людина й тварина, що опиняються в межах зони радіоактивного ураження, як правило, отримують радіоактивні ураження різної тяжкості. У разі крупних аварій охоплюються великі території, які можуть бути повністю виведені на тривалий час із господарчого обігу.

Прикладом цього є аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році (рис. 1.5) з дуже важкими наслідками не тільки для економіки країни, але й для життя та здоров'я людей, тваринного і рослинного світу, усього довкілля.

За функціональними ознаками ПНО поділяють:

- гідротехнічні споруди, водосховища;
- об'єкти енергетики;
- нафто-, газо-, аміакопроводи;
- підприємства металургійної, вугільновидобувної промисловості;
- полігони для зберігання твердих побутових відходів;
- тваринницькі комплекси;
- транспортні комунікації тощо.

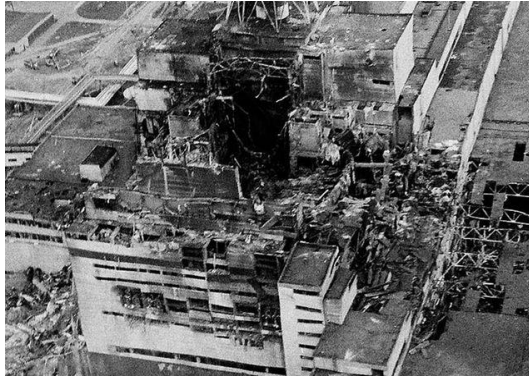


Рисунок 1.5 – Зруйнований четвертий енергоблок Чорнобильської атомної електростанції

Гідротехнічні споруди призначені для використання водних ресурсів і для боротьби зі шкідливим впливом водної стихії: греблі, дамби, вали, канали, шлюзи, трубопроводи, тунелі, моли, водосховища, хвостосховища та інші інженерні споруди, призначені для отримання електроенергії, покращення судноплавства або лісосплаву, забори води для водопостачання чи зрошення.

Хвостосховище (рис. 1.6) – це гідротехнічна споруда, призначена для складування або захоронення радіоактивних, токсичних та інших відходів і збагачення корисних копалин.



Рисунок 1.6 – Калуське хвостосховище №2



Рисунок 1.7 – Гребля Дніпровської гідроелектростанції

Потенційно небезпечними є гідротехнічні споруди, на яких можливі гідродинамічні аварії, за яких швидко поширюється велика кількість води.

Хвиля прориву має величезну енергію і з великою швидкістю розповсюджується, руйнуючи на своєму шляху будівлі і споруди, інфраструктуру, завдаючи шкоду людині і тварині. Якщо у зоні розповсюдження води розміщуються радіаційні або хімічні речовини, відповідно, можливе утворення зон радіаційного і хімічного зараження. Також можливі пожежі та вибухи в будівлях, спорудах, що мають пожежо- та вибухонебезпечні об'єкти, або в результаті короткого замикання в електричних мережах.

Водосховища (рис. 1.8) в Україні створювали з метою запобігання повеням, які завдавали величезних збитків народному господарству, регулювання стоку річок Дніпра, Дністра, Південного Бугу, Сіверського Дінця та інших, забезпечення окремих регіонів країни водою.



Рисунок 1.8 – Кременчуцьке водосховище

Величезна кількість води водосховищ, що накопичується над територіями, які нижче за течією, і в разі прориву греблі може спричинити затоплення земель і населених пунктів. Також водосховища можуть накопичувати радіоактивне забруднення, як це було на Київському водосховищі після аварії на Чорнобильській атомній електростанції (рис. 1.5).

Нафто-, газо-, аміакопроводи. На території країни створено розгалужену мережу нафтопродукто- і газопроводів. Більшість цих об'єктів побудована понад 50 років тому, а це значить, що їх обладнання та труби досить спрацьовані. Щорічно фіксуються аварії, що спричиняють викиди

нафтопродуктів і газу у навколишнє середовище, завдаючи значних збитків водному господарству та сільськогосподарським угіддям. Експлуатація згаданих трубопроводів потребує посиленого контролю державної служби охорони та природоохоронних органів. Для прикладу, на рисунках 1.9 та 1.10 представлені нафтопровід та нафтоперекачувальна станція відповідно.



Рисунок 1.9 – Нафтопровід
«Одеса-Броди»



Рисунок 1.10 – «Одеса-Броди».
Нафтоперекачувальна станція

Підприємства *металургійної промисловості*. Подібні підприємства забруднюють атмосферу викидами оксидів азоту, вуглецю, сірчаного ангідриду, пилу, сажі та інших шкідливих речовин. А вода, що використовується для охолодження, забруднюється механічними речовинами, нафтопродуктами, сульфатами, хлоридами та іншими хімічними речовинами. У складі таких підприємств є накопичувачі де збираються великі об'єми відходів виробництва. Таким чином дуже важливий процес передбачування можливих аварійних ситуацій, що можуть призвести до значних людських та матеріальних втрат.

Відповідно до інформації Державного реєстру ПНО, територія України, порівняно з європейськими країнами, більш насичена промисловими об'єктами. Найбільша їх кількість розташована на території Дніпропетровської, Запорізької, Харківської та Львівської областей. В основному, це – пожежонебезпечні (41 %), вибухонебезпечні (37 %), хімічно небезпечні (7,9 %), радіаційно небезпечні (2,1 %), гідродинамічно небезпечні (1,85 %) та біологічно небезпечні (1,8 %) об'єкти.

У Харківській області до подій 2021 року було нараховано 381 ОПН.

Відповідно до проведеного аналізу, основна задача політика держави у функціонуванні таких ОПН полягає у попередженні аварій техногенного характеру:

- виявлення небезпечної продукції, що випускається;
- забезпечення оперативної ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Політика самих об'єктів полягає у:

- попередженні надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- розробці прогнозів щодо виникнення, розгортання в часі та просторі надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- розроблення запобіжних заходів та методів з метою забезпечення стійкої та безаварійної роботи таких підприємств.

Вимоги чинного законодавства України та важливих для міжнародних відносин міжнародних стандартів диктують саме такі вимоги, щоб під час проектування, розміщення, будівництва, введення в експлуатацію та реконструкції функціонуючих підприємств або об'єктів мають забезпечуватись сучасні обладнання та системи моніторингу інтелектуальних інформаційних систем для забезпечення безпечного функціонування таких підприємств.

1.2 Інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи на потенційно небезпечних об'єктах

З початком епохи комп'ютеризації вимірювань, переходом до модульного принципу побудови засобів вимірювань, створення розвинутого математичного забезпечення вимірювань, створили передумову для переходу більшості ПНО до інтелектуалізації вимірювань.

Під поняттям «інтелектуальний» мається на увазі властивість технічного засобу на основі отриманого досвіду приймати рішення та сповіщати користувача про хід вимірювання.

Термін «інтелектуальний» останнім часом стає настільки популярним, що з'явилися навіть «інтелектуальні вимірювальні канали», під якими розуміються канали, що містять функціональні вузли на основі мікропроцесорів і реалізації концепції «розподіленого інтелекту». Такі канали вільно існують самостійно або функціонують паралельно до звичайних вимірювальних каналів на ПНО, покращуючи таким чином достовірність вимірювальної інформації, проводячи моніторинг та діагностику каналів.

Відповідно до визначення у [4], вимірювальний канал (ВК) це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину. Приклад такого каналу наведений на рис. 1.11.

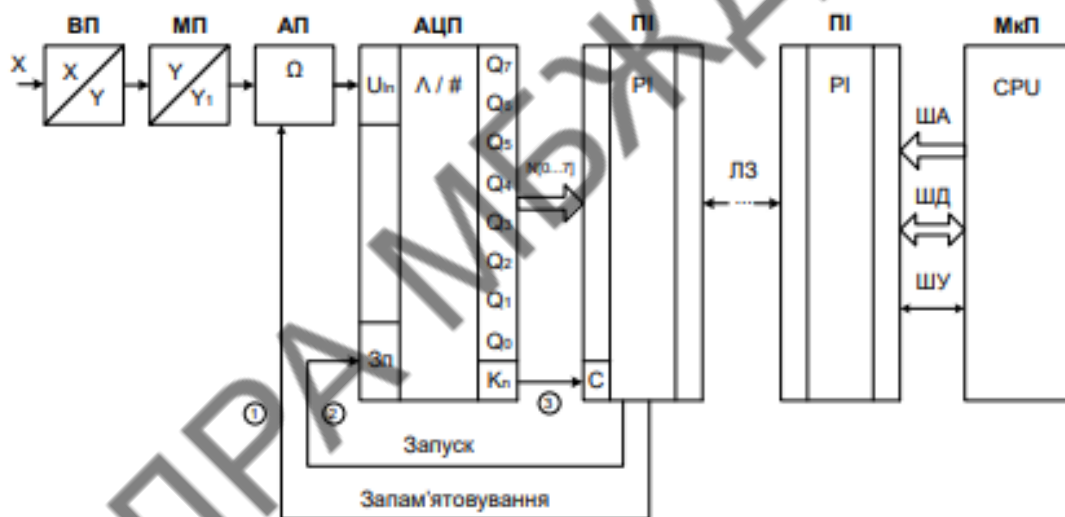


Рисунок.1.11 – Узагальнена схема вимірювального каналу

Відповідно до рис.1.11 маємо такі основні складові ВК:

- сенсор або вимірювальний перетворювач (С);
- масштабний перетворювач або вимірювальний підсилювач (МП);
- аналогова пам'ять або пристрій вибірки зберігання (АП);
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- програмний інтерфейс (ПІ);

- сигнал запам'ятовування вхідної аналогової величини (Зап);
- сигнал запуску АЦП (Зп);
- сигнал кінець перетворення АЦП (Кп);
- мікропроцесорна система або числовий перетворювач (CPU).

На рис. 1.12 представлені часові діаграми роботи вимірювального каналу.

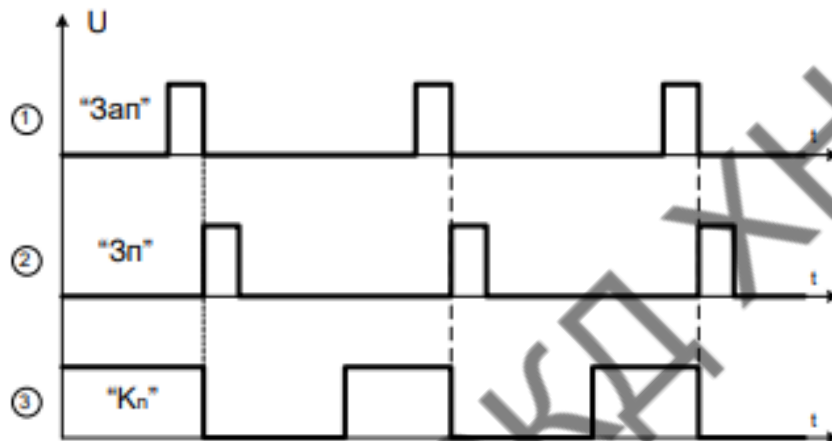


Рисунок 1.12 – Часові діаграми роботи вимірювального каналу тиску

Більш детальний опис суті роботи ВК, що представлений на рис. 1.11 описаний у [4]. У роботі буде розглядатися саме вимірювальний канал тиску (ВКТ).

1.3 Вимірювальний канал тиску на потенційно небезпечному об'єкті

Суть процесу вимірювання тиску ВК полягає у визначення числового значення тиску у рідкому чи газоподібному середовищі для керування технічними процесами та забезпечення безпечного функціонування ПНО. Відповідно до міжнародної системи одиниць, одиницею тиску є Паскаль (Па).

На реальному ПНО ВКТ складається з вимірювальної лінії (ВЛ) та датчика або датчиків тиску (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Приклад вимірювального каналу тиску на підприємстві

Датчик – це інформаційний пристрій, що перетворює контрольовану фізичну величину в електричний сигнал для зручності подальшої обробки у ВКТ. Також датчики називають вимірювальним перетворювачем, давачем, детектором, вимірювачем, чутливим елементом, зондом, рецептором.

Датчики тиску (рис. 1.14) мають широке використання в системах управління технологічними процесами, використовуються в усіх галузях, промислових сферах, включаючи й енергетику, оскільки тиск – одна з основних величин більшості виробничих процесів.

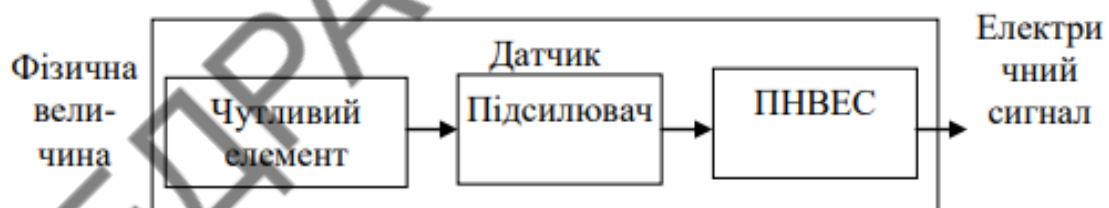


Рисунок 1.14 – Структурна схема датчика

Датчики тиску часто використовуються для вимірювання тиску в агресивному середовищі. Вимірювання тиску датчиком відбувається за рахунок зміни особистих фізичних параметрів.

Відповідно до нормативних документів, датчик або первинний вимірювальний перетворювач (primary measuring transducer) складається з чутливого елемента (detector) на який діє вимірювальна величина та з

вимірювального перетворення (measuring transducer) – це всі інші складові вимірювального ланцюга.

Однак інтелектуальні вимірювальні системи вимагають використання лише цифрових датчиків, котрі повинні набувати «інтелектуальних» властивостей (рис. 1.15).

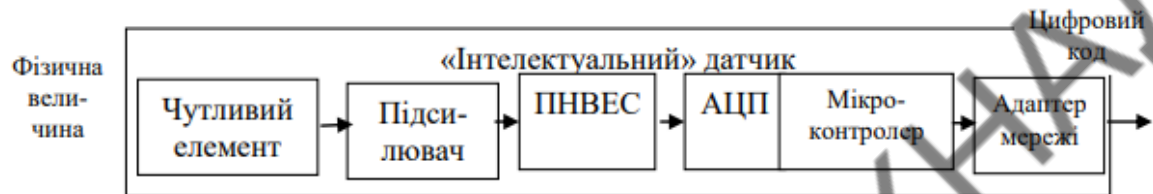


Рисунок 1.15 – Структурна схема цифрового «інтелектуального» датчика

Характеристики датчика поділяються на статичні та динамічні.

Статичні характеристики датчиків визначають настільки адекватно вихідна дія датчика відображає вимірювальну величину через деякий час після її зміни, коли вихідний сигнал встановлюється у нове значення. До важливих статистичних параметрів датчиків відносяться: чутливість, роздільна здатність, лінійність, дрейф, робочий діапазон, повторюваність і відтворюваність результату.

Чутливість (sensitivity) датчика визначається як відношення величини вихідного сигналу до одиничної вхідної величини. У формулі (1.1) представлено визначення чутливості датчика через вимірювальний параметр x та вихідний сигнал y .

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) = \frac{dy}{dx}. \quad (1.1)$$

Роздільна здатність (resolution) визначається як найменша зміна вимірюваної величини, котра може бути зафіксована і точно показана датчиком.

Точність (accuracy) визначає різницю між вимірюваною і дійсною величиною; вона може стосуватися датчика в цілому або конкретного його показника.

Похибка датчика складається з методичних, динамічних та інструментальних похибок, що є результатом перетворення вимірювального параметру x у вихідний сигнал y . Прийнято точність датчика оцінювати за допомогою приведеної відносної похибки, яка є результатом відношення абсолютної похибки до абсолютної величини діапазону вимірювання (1.2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{L_x} \text{ або } \varepsilon = \frac{\Delta y}{L_y}. \quad (1.2)$$

Дозвіл (resolution) – це найменша зміна вимірюваної величини, яка може бути зафіксована та точно показана датчиком.

Лінійність (linearity) не описується аналітично, а визначається виходячи з градуйованої кривої датчика.

Статичне посилення (static gain) - це коефіцієнт посилення датчика на дуже низьких частотах.

Дрейф (drift) визначається як відхилення показань датчика, коли вимірювана величина залишається постійною протягом тривалого часу. Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному або деякому проміжному значенні вхідного сигналу.

Деякі датчики через вплив сил тертя, люфтів і інших причин мають зону нечутливості (зону нульової чутливості). Для таких датчиків вводиться поняття порога чутливості, тобто мінімального збільшення параметра при якому сигнал s починає змінюватися. Ряд датчиків має статичну характеристику з петлею гістерезису.

Динамічні властивості датчика характеризуються цілим рядом параметрів, які, проте, досить не часто наводяться у технічних описах

виробників. Динамічну характеристику датчика можна експериментально отримати як реакцію на стрибок вимірюваної вхідної величини (рис. 1.16).

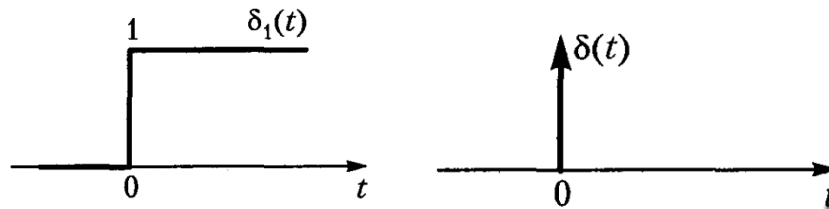


Рисунок 1.16 – Приклад тестових сигналів для визначення динамічних властивостей датчика

В принципі слід прагнути до мінімізації таких параметрів:

- час проходження зони нечутливості;
- запізнення;
- час наростання;
- час досягнення першого максимуму;
- час перехідного процесу, час встановлення;
- відносне перерегулювання;
- статична помилка.

У реальних умовах деякі вимоги до датчиків завжди суперечать один одному тому всі параметри можна мінімізувати одночасно.

ВКТ може містити у своєму складі від одного до шести датчиків тиску. Це обумовлено підвищенням надійності та безпеки підприємства. Також постає питання необхідністю проводити взаємне калібрування датчиків за їх вихідним сигналам [5], середнє значення яких вважається істинним. Необхідність в калібруванні датчика визначається по відхиленню амплітуди його вихідного сигналу від середнього значення, що отримано експериментально.

Калібрування також відбувається періодично відповідно до нормативних документів підприємства та чинного законодавства.

У процесі експлуатації внаслідок впливу умов функціонування та старіння датчика відбувається дрейф функції перетворення [5] або змінювання її нахилу [6]. Датчик стає лінійним інерційним.

Як зазначено в [7] на кожній станції встановлюють звичайно від 50 до 200 датчиків тиску і навіть більше з діапазоном від 0 до 3000 фунт-сили на квадратний дюйм. Тому довіряти середньому значенню вимірювальної інформації про стан вимірювального об'єкту не можливо. Не можливо дати оцінку кількості «справних» та «несправних» датчиків.

Треба враховувати, що при калібруванні можуть виникати несприятливі ситуації, наприклад, ненавмисне пошкодження ВКТ або його складових. Звідси випливає, що калібрування є складним процесом, що може ускладнювати робочий процес та несе за собою великі матеріальні збитки. Як зазначають технічні джерела [7, 8], на протязі року відбувається від 50 до 150 калібрувань, тобто вартість калібрування за рік досягає сотень тисяч доларів для одного підприємства. Отже, висока вартість калібрування та витрати часу на його проведення, а також несприятливі супутні умови роблять калібрування непривабливим для основного застосування. Також калібрування не враховує динамічні властивості датчиків, а також статичні і динамічні властивості вимірювальної лінії, оскільки воно для ВЛ не проводиться. Ось чому в останні роки розглядається проблема проведення технічного обслуговування з урахуванням ризику [9].

1.4 Вимірювальна лінія як складова вимірювального каналу тиску

Ще однією складовою ВКТ є ВЛ. У ході досліджень [8, 9] було виявлено, що вона має свої особливості і значний вплив на отримання достовірної вимірювальної інформації. ВЛ являє собою металеву трубу, як правило, круглого поперечного перерізу, що має різну довжину від сантиметрів до сотень метрів. Труба заповнюється найчастіше рідиною, що служить засобом передачі тиску від технологічного процесу підприємства до датчиків тиску.

Найчастіше у якості рідини використовується вода, яка повинна відповідати вимогам чистоти. Реально в ній можуть зосереджуватись як тверді частки (наприклад, бруд, різні домішки, лід), так і газоподібні, зокрема, повітряні бульбашки різних розмірів (рис. 1.17).

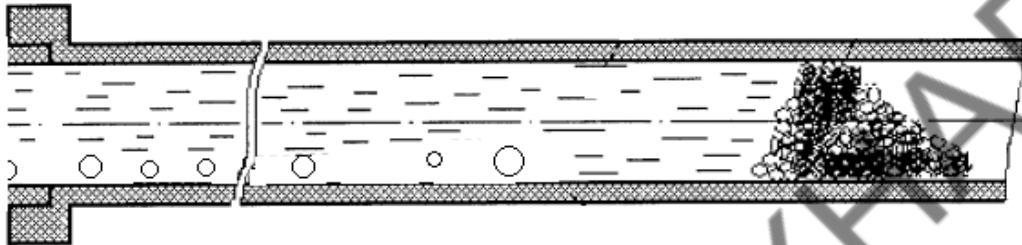


Рисунок 1.17 – Приклад несправної вимірювальної лінії

Якщо вимірювальна лінія є ідеальною, тобто рідина в ній не має повітряних пустот та забрудненості, то весь ВКТ є близьким до лінійної неінерційної системи. При наявності в рідині зазначених аномалій канал перетворюється в **нелінійну інерційну систему** [9, 10]. Таким же він може бути у випадку, коли вимірювальна лінія повністю наповнена газом, зокрема, повітрям. У процесі експлуатації під дією зовнішніх та інших чинників статичні і динамічні характеристики ВКТ змінюються і можуть спотворювати вимірювальну інформацію про тиск технологічного процесу. Це накладає жорсткі вимоги щодо проведення технічного обслуговування ВКТ і, зокрема, ВЛ.

Таке обслуговування потребує затратних робіт іноді, наприклад виконання повного демонтажу ВЛ із заміною передатної рідини. Це, у свою чергу, може призвести до повної зупинки виробничого процесу на підприємстві. Тому раціональна організація роботи підприємства повинна ґрунтуватись на наукових основах функціонування ВКТ у різних режимах роботи об'єкта. Для цього необхідно розробляти надійні методи аналізу ВКТ. З цього випливає доцільність і важливість створення інтелектуальної вимірювальної системи, яка б працювала паралельно до реального ВКТ.

Висновки до розділу

Важко уявити функціонування промислового об'єкта господарювання, що відноситься до ПНО без використання інтелектуальних інформаційних систем. Таке використання таких систем не тільки підвищує авторитет підприємства на міжнародному ринку, але й гарантує безпеку його функціонування та викликає більший ступінь довіри у держави, відповідно до нормативних документів та чинного законодавства, та у споживачів, інвесторів, клієнтів, тощо.

Нажаль, деякі моменти функціонування таких систем є й досі актуальними та деякі задачі є невирішеними. Також до нових систем є багато запитань і проведено недостатня кількість їх досліджень.

У дипломній роботі [8] запропонований удосконалений метод визначення вхідного сигналу нелінійного інерційного ВКТ, але він потребує більш детального дослідження, щоб визначити межі його застосування.

2 ДОСЛІДЖУВАНА БАГАТОКАНАЛЬНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВИМІРЮВАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА

Адекватне моделювання процесів, що відбуваються у ВКТ, дає можливість створити віртуальний аналітичний канал, інформація з якого в деяких випадках може використовуватись навіть для оцінки якості вимірювальної інформації, що приходить від реального ВКТ. Сучасні технології передбачають комплексне використання реальних і віртуальних каналів.

2.1 Обґрунтування використання блочно-орієнтованих моделей

Як уже зазначалось, на сучасних підприємствах, з метою підвищення достовірності отриманих результатів про об'єкт вимірювання, використовуються декілька датчиків, що утворюють багатоканальну систему (рис. 2.1).

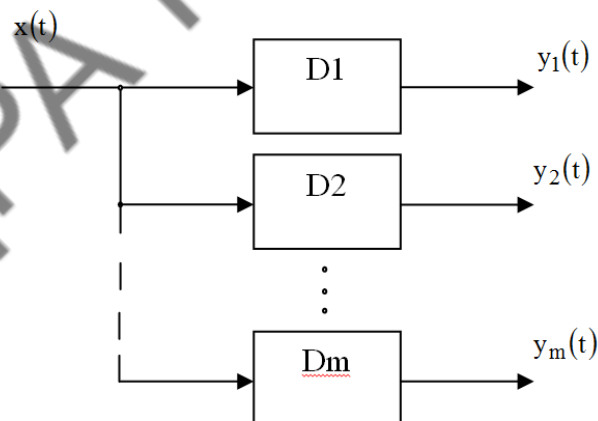


Рисунок 2.1 – Схема багатоканального вимірювання однієї і тієї ж реалізації
вхідного впливу

Існуючі дослідження спрямовані на вирішення задачі ідентифікації датчиків та на відновленні вхідного сигналу за умови, що вся система є лінійною і неінерційною. Але в реальних умовах то є неможливим. Тому що, як

зазначено в попередніх розділах, ВЛ з часом стає нелінійною, а вхідна дія має стохастичний характер і у датчика є певна затримка реакції.

Відповідно до [10] та чисельних наукових праць за останні два десятиріччя, у теорії нелінійних інерційних систем найбільшого поширення набуло використання математичного представлення динамічних характеристик системи рядами Вольтерри та її різновидами. Популярність використання цієї моделі обумовлюється її придатністю до використання у будь-якій галузі та у широкому діапазоні умов, але така система є дуже незручною і складною з інженерної точки зору і вимагає дуже багато машинного часу при розрахунках та обробці результатів. Складнощі проявляють себе навіть при використанні ядер Вольтерра низьких порядків.

При подальшому аналізі літератури [11], було виявлено, що єдиним відносно простим підходом є розділення єдиної функції, що описує нелінійність та інерційність системи, на дві окремі функції. Тобто, розбиваємо всю систему на частини. Це з легкістю можна реалізувати за допомогою блочно-орієнтованих моделей. Блочно-орієнтовані моделі є складовою імітаційного моделювання, яке у сучасному світі набуло неймовірних розмахів, так як дозволяє реалізовувати будь-які моделі і, у поєднанні із сучасним програмним забезпеченням, надає можливість відтворити варіанти сценаріїв розвитку стану об'єкту моделювання. Блочно-орієнтовані моделі не обмежуються лише однією сферою застосування, вони присутні у всіх сферах діяльності людини: при моделюванні непротих економічних предметів, в енергетичній області, нафтогазовій промисловості та у інших галузях. Застосування таких моделей починається на етапах розробки складних апаратів, наприклад, ракет, кораблів і може закінчуватися інформаційними мережами. Найбільш широко розробляються підходи в області ідентифікації нелінійних об'єктів, що описують системи за допомогою блочно-орієнтованих моделей [10, 11].

Об'єктом проведення дослідження є ВКТ, що представляє собою нелінійний керований одновимірний динамічний предмет з вимірюють в дискретні моменти часу виходом $y(t)$ і входом $p(t)$ (рис. 2.2).

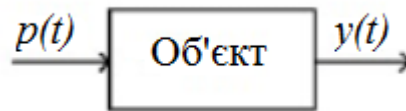


Рисунок 2.2 – Структура об'єкту ідентифікації

Властивості нелінійності та інерційності подібних предметів у більшості випадків не можна чітко поділити. І щоб спростити завдання досліджуваній нелінійний динамічний предмет виставляють у вигляді окремої комбінації лінійних динамічних блоків і безінерційних нелінійних блоків [11]. Даний підхід до моделей дає можливість зв'язати вхідні і вивідні змінні предметів з різноманітним будовою і рівнем нелінійності.

До подібних систем відносять системи типу Гаммерштейна, Вінера, Вінера-Гаммерштейна, фільтра Заде, узагальненої моделі Вінера.

Ідентифікація систем пов'язана з рішенням різних завдань в залежності від апріорної інформації про систему.

Побудова оптимальної моделі системи багато в чому визначається рішенням завдання структурної ідентифікації.

Але, в основному, ідентифікація систем ґрунтується на лінійних стаціонарних моделях, які широко застосовуються для виробничих процесів. У той же час більшість реальних систем є нелійними і мають, з точки зору організації процесу управління, багатьма «незручними» властивостями. Подання таких систем лійними стаціонарними модель не дає прийнятних для практики результатів.

Як наголошувалося у попередньому розділі, у загальному випадку ВКТ є нелінійною інерційною системою і, відповідно до основного підходу блочно-орієнтованих моделей, ці дві властивості можна рознести на дві ланки: нелінійну неінерційну (без пам'яті) та лінійну інерційну (з пам'яттю) (рис. 2.3). Нагадаємо, що нелінійну інерційну ланку представляє ВЛ, а лінійну інерційну – датчик. Таке представлення нелінійної інерційної системи називають моделлю Гаммерштейна.



Рисунок 2.3 – Нелінійний інерційний вимірювальний канал тиску

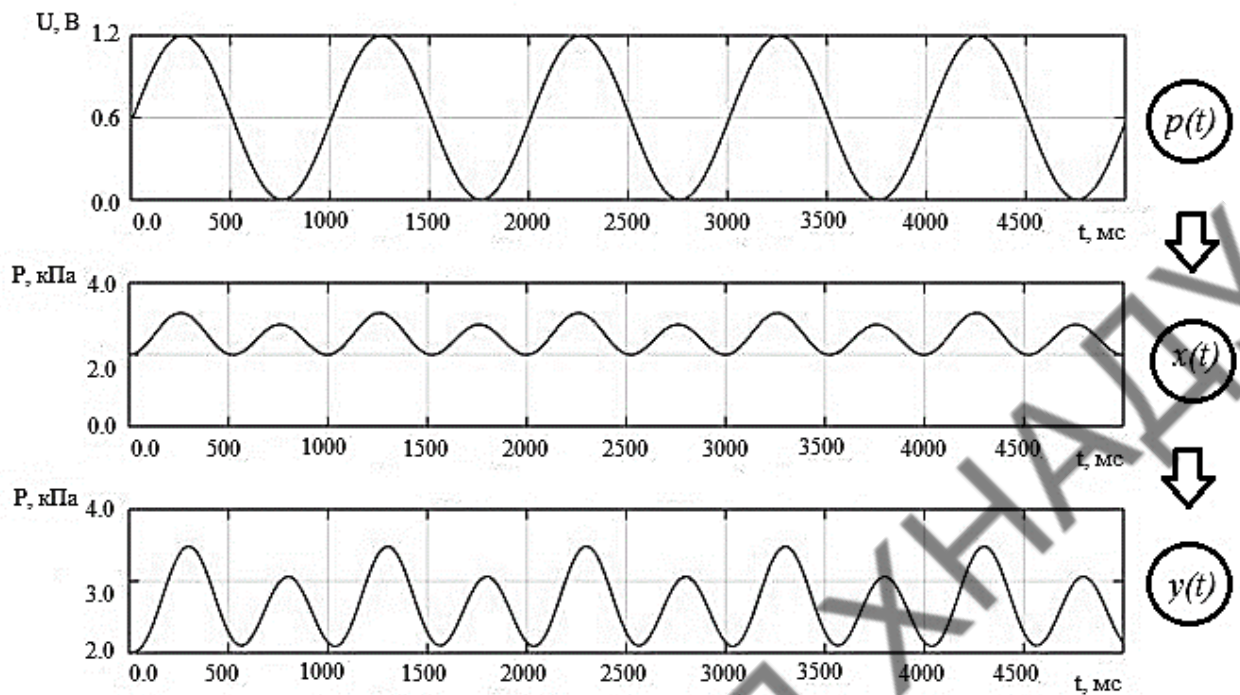
Передумовою створення таких моделей стала важливість вирішення питання контролю стану всього ВКТ на основі вимірних вихідних сигналів. Останні 20 років стали початком використання онлайн моніторингу ВКТ, що передбачає дистанційне визначення характеристик ВКТ, зокрема, тестування постійної часу ВКТ, дрейфу функції перетворення, а також створення передумови для оперативного контролю вимірювальних ліній, наприклад, проведення ідентифікації блокування ВЛ.

Переваги використання саме цієї блочно-орієнтованої моделі та порівняльний аналіз описані у [12].

2.2 Сутність методу розв'язання оберненої задачі вимірювань

Невідомий сигнал подається на вхід нелінійного неінерційного блоку (рис. 2.2) і на виході лінійного інерційного блоку вимірюється сигнал (рис. 2.2). Форму вхідного сигналу можна визначити при розв'язанні оберненої задачі вимірювань, але для нелінійних інерційних систем не розроблені методи отримання достовірних результатів у цих умовах та неоцінені обмеження методів.

Задача полягає у відновленні сигналу на вході системи (на вході нелінійної неінерційної ланки) і, як наслідок, невідомий вхідний сигнал стає відомим з деякими похибками, які потрібно визначити. Приведемо приклад аналізу проходження через ВКТ гармонійного сигналу (рис. 2.4).



$p(t)$ – невідомий сигнал на вході нелінійного неінерційного блоку (або вхідний сигнал усієї системи); $x(t)$ – сигнал на виході нелінійного неінерційного блоку; $y(t)$ – сигнал виході системи (на виході лінійного інерційного блоку)

Рисунок 2.4 – Приклад проходження відомого сигналу через модель ВКТ Гаммершейна

Метод реалізується у два етапи. Спочатку відновлюється сигнал на вході віртуального лінійного інерційного блоку за допомогою відомого методу [13]. Цим методом можна отримати реалізацію випадкового вхідного сигналу лінійного інерційного блоку $x(t)$. Вона одночасно є реалізацією випадкового вихідного сигналу нелінійного інерційного блоку. В подальшому під сигналами будемо розуміти реалізації сигналів, оскільки реально вимірюється випадковий процес, а в результаті вимірювання отримуємо реалізацію випадкового процесу. При використанні методу необхідно мати повну інформацію про вихідний сигнал та імпульсну характеристику лінійного блоку в математичному вигляді. В окремих випадках, метод потребує повної інформації про імпульсну характеристику каналу (або датчика). Для відновлення вхідної дії каналу (в математичному вигляді) достатньо мати уяву про загальний вигляд

цієї характеристики, яка описується математичною функцією з деякими невідомими коефіцієнтами.

Розглянемо метод більш детально. У функціональному просторі з квадратичною метрикою є дві точки. Одна з них є відображенням вимірювального сигналу $y(t)$, а її положення в просторі відоме (або являє деякий підпростір точок, обумовлених похибками вимірювання $y(t)$). Інша точка є відображенням теоретичного вихідного сигналу, який представлений у ряд Карунена-Лоева з невідомими випадковими коефіцієнтами γ_i . Змінюючи ці коефіцієнти, можна досягти ситуації, коли зазначені дві точки в функціональному просторі співпадатимуть (ідеальна ситуація) або будуть розміщені дуже близько. Відстань між цими точками виражається функціоналом (2.1) і мінімізація функціоналу виконується одним з методів глобального випадкового пошуку (генетичним алгоритмом). У результаті роботи генетичного алгоритму повинен досягатись глобальний мінімум функціоналу (2.1).

$$J(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n) = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - \sum_{i=1}^n \gamma_i \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau) \cdot \psi_i(\tau) d\tau - n(t)]^2 dt, \quad (2.1)$$

де $h(t-\tau)$ - імпульсна характеристика лінійного інерційного блоку;

$\psi_i(\tau)$ - ортогональний сигнал з номером i та нормованою амплітудою, що дорівнює одиниці;

$\gamma_i (i=1, 2, \dots, n)$ - випадкові коефіцієнти, які для кожної реалізації випадкового сигналу будуть в загальному випадку різними.

В формулу (2.1) входять також білі гауссівські шуми $n(t)$, які задаються при моделюванні або створюються при технічному впровадженні. В функціоналі, що розглядається, приведене розкладання сигналу $x(t)$ в ряд Карунена – Лоева.

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \psi_i(t) = x(t), \quad (2.2)$$

де $x(t)$ - вихідний сигнал нелінійного неінерційного блоку або вхідний сигнал лінійного інерційного блоку, який визначається в процесі мінімізації функціоналу (3.1), що залежить від n змінних γ_i .

Оскільки ортогональні сигнали $\psi_i(\tau)$ є відомими, то для визначення сигналу $x(t)$ достатньо розрахувати коефіцієнти γ_i . Вони визначаються при роботі алгоритму випадкового пошуку глобального мінімуму функціоналу. Найбільш поширеним алгоритмом такого пошуку є генетичний алгоритм, структура і робота якого описана в багатьох книжках, а програмно він реалізований, зокрема, в математичному пакеті MATLAB. Отже, в результаті мінімізації функціоналу (2.1) отримують всі коефіцієнти γ_i , а, значить, і вхідний сигнал $x(t)$ лінійного інерційного блоку. Цей сигнал згідно з моделлю Гаммерштейна є вихідним сигналом нелінійного неінерційного блоку.

На рис. 2.5 зображена існуюча схема реалізації процесу визначення вхідного сигналу $x(t)$, що описаний формулою (2.1), на якій позначені: 1 – імпульсна характеристика лінійного інерційного блоку, 2 – генератори ортогональних сигналів, 3 – підсилювачі напруги, 4 – інвертор, 5 – квадратор, 6 – перший блок випадкового пошуку глобального мінімуму.

Описаний метод дозволяє розв'язати обернену задачу вимірювань для лінійного інерційного блоку. Далі маємо наступну ситуацію. На нелінійний неінерційний блок поступає невідомий сигнал $p(t)$, а на його виході існує відомий сигнал $x(t)$, який відновили в результаті розв'язання оберненої задачі вимірювань для лінійного інерційного блоку. Необхідно визначити невідомий сигнал $p(t)$. У загальному вигляді задача не має розв'язків. Якщо є відомою функція перетворення нелінійного блоку, то задача визначення вхідного сигналу ВКТ розв'язується методом, що розроблений автором і описаний далі.

Існує також можливість отримання рішення при частково відомій функції перетворення (наприклад квадратична залежність з невідомими коефіцієнтами).

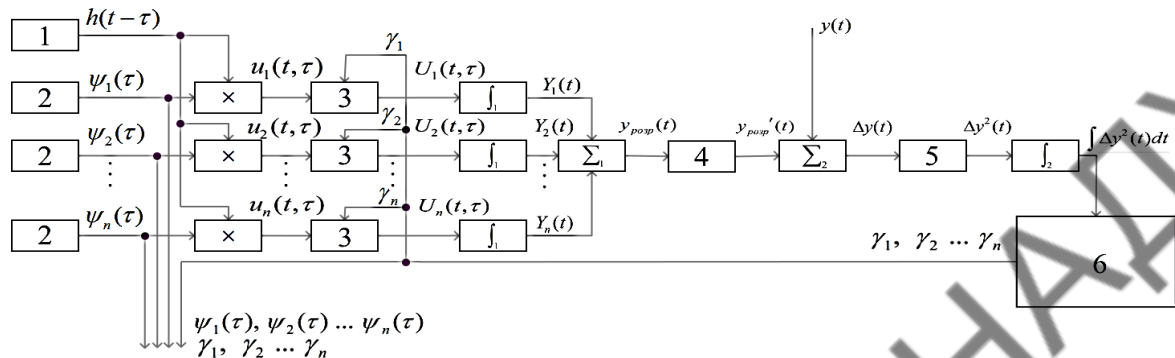


Рисунок 2.5 – Існуюча схема реалізації процесу визначення вхідного сигналу $x(t)$

Нашим же завданням було визначення сигналу на вході нелінійного неінерційного блоку при наявності відомого вихідного сигналу цього блоку, який визначається способом [14]. Це забезпечує підвищення точності вимірювань вимірювальним каналом. Математична модель нелінійного неінерційного блоку вважається відомою, оскільки її можна визначити в процесі статичних випробувань каналу, тобто в процесі ідентифікації, коли на вхід блоку подають відому вхідну дію, наприклад, тиск, а на виході вимірюють сигнал.

Невідому вхідну дію, наприклад, тиск $p(t)$ представляють у математичному вигляді при відомій функції перетворення нелінійної ланки ВКТ, яку описують поліномом

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t) + \dots + a_{n-1} p^{n-1}(t). \quad (2.3)$$

В формулі (2.3) a_i відомі коефіцієнти нелінійної функції перетворення вимірювального каналу, наприклад, ВКТ. Отже, необхідно визначити вхідну дію, тобто тиск $p(t)$ в математичному вигляді. В принципі, можливе

відтворення реального тиску і в фізичному вигляді, але для цього потрібно перетворити відновлений в процесі розв'язання оберненої задачі сигнал в реальний тиск, що досягається в процесі застосування простої гідравлічної системи з попереднім перетворенням напруги в хід поршня. Для завдань прийняття рішень по вимірному сигналу достатньо визначити вхідний сигнал каналу у вигляді напруги, що змінюється, і яка легко представляється в математичному вигляді. З метою ілюстрації роботи запропонованого способу обмежимося невеликою кількістю коефіцієнтів a_i (два) і тоді з (2.3) отримуємо

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t). \quad (2.4)$$

Розкладаємо вже відому функцію $x(t)$ в ряд Карунена-Лоева

$$x(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t), \quad (2.5)$$

де ψ_i - вибрані дослідником ортогональні функції, які для конкретної задачі були гармонічними сигналами;

γ_i - відомі коефіцієнти, що були раніше визначені першим блоком пошуку глобального екстремуму функціоналу (2.1).

Невідому реалізацію вхідної дії $p(t)$ також розкладаємо в ряд Карунена-Лоева

$$p(t) = \sum_{k=0}^{n-1} \beta_k \psi_k(t), \quad (2.6)$$

де $\psi_k(t)$ - ті ж самі ортогональні відомі функції;

β_k - невідомі випадкові коефіцієнти і для кожної реалізації вхідної дії $p(t)$

як випадкового процесу вони будуть в загальному випадку відрізнятись.

Кількість коефіцієнтів γ_i та β_k залежить від форми функцій $x(t)$ та $p(t)$ і повинна бути однаковою, тобто $m=n$. Вона вибирається дослідником на основі вибраної точності представлення функції.

В формулу (2.4) підставимо співвідношення (2.5) і (2.6)

$$\sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t) = a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) + a_2 \cdot \left(\sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) \right)^2. \quad (2.7)$$

Співвідношення (2.7) приводимо у розгорнутому вигляді

$$\begin{aligned} \gamma_0 + \gamma_1 \psi_1(t) + \gamma_2 \psi_2(t) + \dots + \gamma_{n-1} \psi_{n-1}(t) = & a_0 + a_1 \beta_0(t) + a_1 \beta_1 \psi_1(t) + \\ & a_1 \beta_2 \psi_2(t) + \dots + a_1 \beta_{n-1} \psi_{n-1}(t) + a_2 \beta_0^2 + a_2 \beta_1^2 \psi_1^2(t) + a_2 \beta_2^2 \psi_2^2(t) + \dots \\ & \dots + a_2 \beta_{n-1}^2 + \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} a_2 \beta_i \beta_k \psi_i(t) \psi_k(t). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Для спрощення виразу (2.8) проводимо інтегрування його на інтервалі спостереження $[0, T]$. В силу ортогональності функції $\psi_i(t)$ та $\psi_k(t)$

$$\int_0^T \psi_i(t) \psi_k(t) dt \approx 0. \quad (i \neq k). \quad (2.9)$$

Знак " \approx " замість знаку "=" записаний тому, що межа інтегралу в (2.9) становить T , а не " ∞ ". З урахуванням інтегрування вираз (2.8) трансформують до вигляду

$$\begin{aligned}
& \int_0^T \gamma_0 dt + \gamma_1 \int_0^T \psi_1(t) dt + \gamma_2 \int_0^T \psi_2(t) dt + \dots + \gamma_{n-1} \int_0^T \psi_{n-1}(t) dt = \\
& = \int_0^T a_0 dt + \int_0^T a_1 \beta_0 dt + a_1 \beta_1 \int_0^T \psi_1(t) dt + a_2 \beta_2 \int_0^T \psi_2(t) dt + \dots \\
& + a_1 \beta_{n-1} \int_0^T \psi_{n-1} dt + \int_0^T a_2 \beta_0 dT + a_2 \beta_1^2 \int_0^T \psi_1^2(t) dt + \\
& + a_2 \beta_2^2 \int_0^T \psi_2^2(t) dt + \dots + a_2 \beta_{n-1}^2 \int_0^T \psi_{n-1}^2(t) dt.
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}
C_i &= \int_0^T \psi_i(t) dt, \\
d_i &= \int_0^T \psi_i^2(t) dt,
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Коефіцієнти C_i , d_i після інтегрування по формулам (2.11) є відомими. З урахуванням (2.11) співвідношення (2.10) записують у вигляді

$$\begin{aligned}
\gamma_0 T + \gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2 + \dots + \gamma_{n-1} C_{n-1} &= a_0 T + a_1 \beta_0 T + \\
+ a_1 \beta_1 C_1 + a_1 \beta_2 C_2 + \dots + a_1 \beta_{n-1} C_{n-1} &+ a_0 \beta_0 T + \\
+ a_2 \beta_1^2 d_1 + a_2 \beta_2^2 d_2 + \dots + a_2 \beta_{n-1}^2 d_{n-1}.
\end{aligned} \tag{2.12}$$

У співвідношенні (2.12) невідомими є наступні коефіцієнти:

$$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}. \tag{2.13}$$

Ліва частина рівності (2.12) є повністю відомою. Тоді задача визначення коефіцієнтів (2.13) зводиться до мінімізації цільової функції багатьох (у даному випадку n) змінних, тобто різниці між лівою та правою частин рівняння (2.12)

$$f(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}) = \gamma_0 T + \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i C_i - (a_0 + a_1 \beta_0) - a_1 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i C_i - a_2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i^2 C_i. \quad (2.14)$$

Мінімізацію (2.14) проводимо за допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку екстремуму (генетичного алгоритму). У результаті визначимо всі коефіцієнти (2.13), а, значить, і вхідний сигнал.

Описані формули демонструють математичні операції, які проводяться при реалізації запропонованого способу. В реальному часі неможливо побудувати пристрій визначення вхідного сигналу вимірювального каналу, внаслідок того, що така операція повинна проходити в оберненому часі (вхідний сигнал уже приходив на вхід системи, пройшов вимірювальний канал, спотворився і по вихідному сигналу треба відновити реалізацію вхідного випадкового сигналу, якої більше ніколи не буде). Ось чому в запропонованому способі реалізують пристрій, який фізично відтворює математичні операції, а в кінцевому результаті відтворить реалізацію вхідного сигналу, що вже раніше була на вході каналу. Час затримки між реальним вхідним сигналом та відтвореним дорівнює часу проходження сигналу по вимірювальному каналу, часу обробки при проведенні вимірювальних операцій, а найбільший внесок в цей час вносять операції з пошуку глобального екстремуму функціоналу при роботі генетичного алгоритму. Сумарний час затримки найчастіше може досягати десятки секунд або декілька хвилин.

На рис. 2.5 зображена схема роботи технічного пристрою, з допомогою якого визначається реалізація вхідного сигналу, на якій позначені: 7 – підсилювачі напруги, 8 – пристрій для піднесення до ступеня, 9 – підсилювачі напруги, 10 – генератор постійної напруги, 11 – інвертор, 12 – блок випадкового пошуку глобального екстремуму.

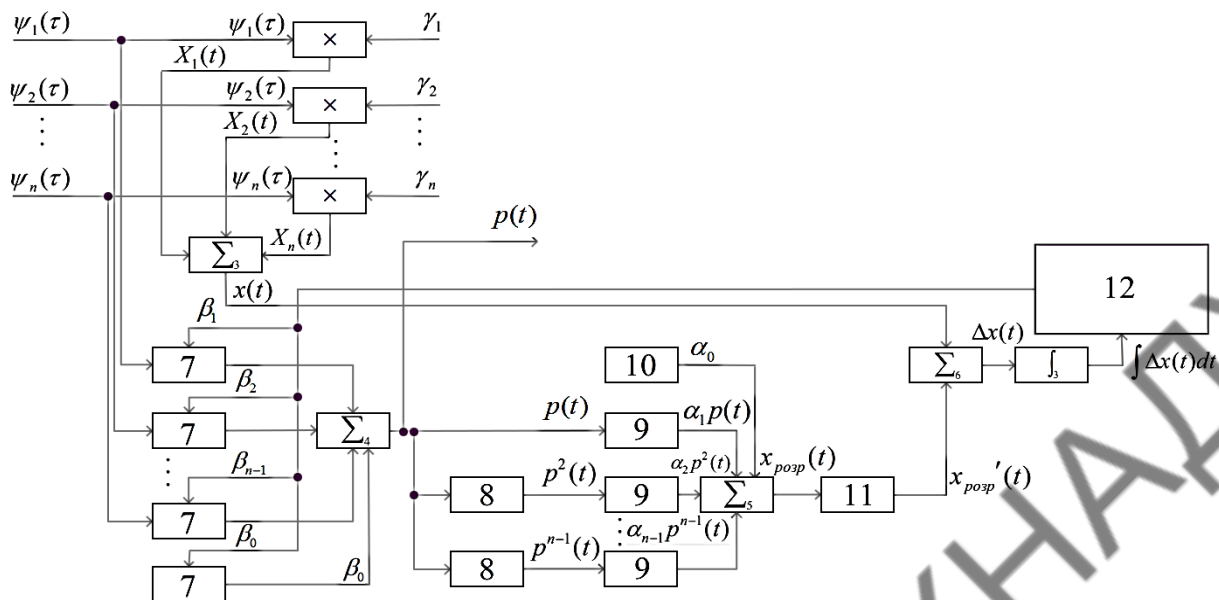


Рисунок 2.6 – Структурна схема технічного пристрою, з допомогою якого визначають реалізацію вхідного сигналу

Для визначення реалізації вхідного сигналу, що ґрунтується на операціях, описаних формулами (2.3-2.14) перемножуються ортогональні сигнали $\psi_i(t)$ генераторів 3 на коефіцієнти γ_i ряду Карунена-Лоева, реалізуючи при цьому співвідношення (2.5). Зазначені коефіцієнти подаються у вигляді напруги з відповідних підсилювачів 3 з коефіцієнтами підсилення γ_i . Вихідні сигнали перемножувачів $X_i(t)$ подають на третій суматор, на виході якого формується сигнал $x(t)$, який використовується в співвідношенні (2.7). Для формування інших членів формули (2.7) вихідні сигнали генераторів ортогональних сигналів $\psi_1(\tau), \psi_2(\tau), \dots, \psi_n(\tau)$ відправляються на відповідні підсилювачі 7 з коефіцієнтами підсилення β_k , ($k=0, 1, 2, \dots, n-1$). На першому етапі роботи пристрою коефіцієнти підсилення β_k можуть бути довільними. Вихідні сигнали всіх підсилювачів направляють на четвертий суматор, після якого формується сигнал (2.6), який після виконання всіх операцій, що описані в формулах (2.8-2.14), перетвориться у вхідний сигнал $p(t)$.

Для цього з виходу четвертого суматора сигнал $\sum_{k=0}^{m-1} \beta_k \psi_k(t)$

безпосередньо подаються на підсилювач з коефіцієнтом підсилення a_1 , а також на інші підсилювачі 9, але після зведення в різні степені: на підсилювач з коефіцієнтом підсилення a_2 цей сигнал зводять в квадрат, тобто множать сам на себе, на підсилювач з коефіцієнтом підсилення a_3 сигнал зводиться до третього степеню і т. д. (за допомогою пристрою для піднесення до ступеня 8). Вихідні сигнали всіх зазначених підсилювачів подаються на п'ятий суматор. На один з входів цього суматора підводяться також постійна напруга з генератора 10 величиною a_0 , яка описує постійну складову функції перетворення нелінійного блоку. Вихідний сигнал п'ятого суматора $x_{\text{розр}}(t)$ поступає через інвертор ($x_{\text{розр}}'(t)$) на перший вхід четвертого суматора, а на його другий вхід – сигнал з виходу третього суматора. Вихідний сигнал п'ятого суматора $Vx(t)$ спрямовується на третій інтегратор, де здійснюється його інтегрування на інтервалі спостереження ($\int Vx(t) dt$) з метою позбавлення від добутоків ортогональних сигналів з різними номерами і спрощення оптимізаційної задачі. Після третього інтегратора сигнал подається на другий блок випадкового пошуку глобального екстремуму багатомірної функції (2.14), де в результаті роботи генетичного алгоритму отримують коефіцієнти β_k , які спрямовуються для встановлення коефіцієнтів підсилення величиною β_k у відповідних підсилювачах. Внаслідок цього згідно з формулою (2.6) на виході п'ятого суматора маємо шуканий вхідний сигнал $p(t)$. Удосконалений метод відновлення вхідного сигналу ВКТ на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань є другим пунктом наукової новизни і, на відміну від існуючих методів, враховує нелінійність каналу. Для функціонування розробленого методу необхідно мати апіорну інформацію про функцію перетворення нелінійного блоку.

Висновки до розділу

Форму вхідного сигналу можна визначити при розв'язанні оберненої задачі вимірювань, але для нелінійних інерційних систем не розроблені методи отримання достовірних результатів у цих умовах та не оцінені обмеження методів.

При розв'язанні обернених задач вимірювання найбільші вимоги висуваються до співвідношення між смугою пропускання ВКТ та шириною спектру вхідного сигналу, але навіть при виконанні вимог до цього співвідношення нелінійність функції перетворення може привести до значних похибок відновлення сигналу.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

3 ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ

Використання математичних моделей, що відображають процеси, що відбуваються у ВКТ, дає можливість створити віртуальний аналітичний канал, інформація з якого в деяких випадках може використовуватись навіть для оцінки якості вимірювальної інформації, що приходить від реального вимірювального каналу. Сучасні технології передбачають комплексне використання реальних і віртуальних каналів. Але такі системи повинні бути адекватними.

Відповідно до визначення [13], адекватність моделі – збіг властивостей (функцій, параметрів, характеристик тощо) і відповідних властивостей модельованого об'єкта. Зрозуміло, що поняття «адекватності» є умовним, так як повної відповідності віртуальної моделі до реального (фізичного) об'єкту не можна відтворити, інакше це вже не модель, а ідентичний об'єкт. Тут мається на увазі «адекватність» не в повному розумінні цього слова, а лише за тими основними властивостями моделі, які є істотними та характеризують її.

Треба також розуміти, що модель вважається адекватною, якщо відображає істотні властивості з певною і прийнятною для оператора точністю. Точність у цьому випадку визначається як ступінь збіжності значень вихідних параметрів моделі та об'єкта.

Оскільки обернена задача розв'язується за допомогою математичної моделі, ми повинні оцінити адекватність моделі поставленій задачі та достовірність результатів, отриманих за допомогою використання цієї моделі.

Моделлю, що адекватна до поставленої задачі, ми будемо вважати таку, що має наступні властивості:

1. Модель дає правильний якісний опис властивостей об'єкта, наприклад, можливість при дослідженні моделі зробити правильні висновки про асимптотичну поведінку основних характеристик ВКТ, про наявність та характер нелінійності, про зміну характеристик ВКТ з плином часу.

2. Правильний кількісний опис цих властивостей з деякою допустимою точністю.

Для оцінки адекватності роботи математичної моделі ВКТ була проведена серія експериментів у нелінійному інерційному ВКТ. Для цього був проведений експеримент з використанням ВКТ з неоднорідною вимірювальною лінією. Середовищем передачі тиску було повітря. Тиск вимірювався на вході і виході лінії за допомогою датчиків тиску MPX5050DP (рис. 3.1). Система виводів датчика представлена на рис. 3.2.

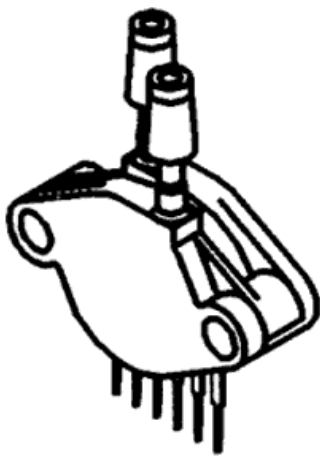


Рисунок 3.1 – Датчик тиску MPX5050DP CASE 857C-05

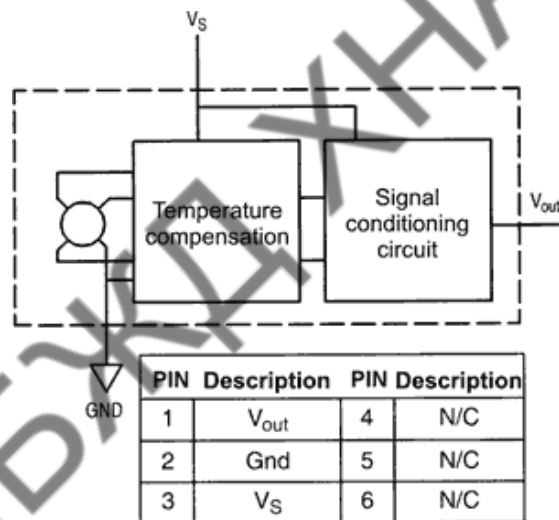


Рисунок 3.2 – Система виводів датчика MPX5050DP

П'єзорезистивні датчики тиску серії MPX5050DP забезпечують дуже точний результат вимірювання. Також датчики обробляються за допомогою лазера для точного калібрування та температурної компенсації. Датчики цієї серії є лінійними, тобто лінійний вихідний сигнал прямо пропорційний прикладеному тиску. Інші характеристики датчика представлені у таблиці 3.1.

Отриманий досвід вимірювання дозволив створити віртуальну багатоканальну інтелектуальну вимірювальну інформаційну систему. Адекватне моделювання процесів, що відбуваються у ВКТ, дає можливість створити віртуальний аналітичний канал, інформація з якого може використовуватись навіть для оцінки якості вимірювальної інформації, що приходить від реального вимірювального каналу.

Таблиця 3.1 – Характеристика датчика тиску серії MPX5050DP

№ з/п	Характеристика	Значення
1.	Діапазон тиску	від 0 кПа до 50 кПа
2.	Вихідна напруга	від 0,2 В до 4,7 В
3.	Точність	2,5 %
4.	Напруга живлення	5 В (від 4,75 В до 5,25 В)
5.	Діапазон робочих температур	від -40 С° до +125 С°
6.	Час реакції	1 мс
7.	Температурна компенсація	+

Сутність оцінки адекватності моделі ВКТ зводиться до:

- створення експериментального нелінійного інерційного каналу тиску;
- вимірювання реалізації вхідного та вихідного сигналів цього ВКТ;
- отримання моделі ВКТ методами ідентифікації.

Далі на основі вимірюного вихідного сигналу визначається вхідний сигнал, який порівнюється з експериментальним тестовим сигналом. Після цього на вхід ВКТ подаються різноманітні вхідні дії (тиск), що змінюються в часі. І знову, для кожного разу розв'язуються обернена задача вимірювань і відновлюється вхідний сигнал, який порівнюється з відповідним тестовим. Якщо максимальна відносна похибка відновлення не перевищує 10 %, коефіцієнт кореляції цих сигналів є більше 0,8, то вважаємо, що розроблена модель є адекватною.

Окрім реалізацій вхідного і вихідного випадкових процесів тиску, були оцінені спектри вхідного і вихідного сигналів, взаємні спектри, кореляційні функції випадкових процесів тиску. Розглядалися два основні режими роботи вимірювальної лінії: стаціонарний та нестаціонарний. Для імітації останнього здійснювалось переключення вентилля під час руху повітря в лінії. Аналіз функції когерентності свідчить про наявність нелінійних властивостей вимірювальної лінії. Проведена ідентифікація моделі вимірювального каналу, яка є різновидністю моделі Гаммерштейна. Ця модель перевірялась шляхом

розв'язання прямої та оберненої задачі вимірювання, в якій розрахована реалізація вхідного сигналу порівнювалась з реальною реалізацією, що була виміряна датчиком тиску. При цьому було досягнене задовільне співпадіння зазначених реалізацій.

Розглянемо це питання більш детально. Для ідентифікації була вибрана вимірювальна система тиску з неоднорідною повітряною вимірювальною лінією, яку легко перетворити в нелінійну систему шляхом простих маніпуляцій вентилем всередині лінії. У експериментальних дослідженнях в якості датчика використовувався датчик малого тиску MPX5050DP. Вибір датчика був обумовлений двома причинами. Перша – це тип компресора, який міг забезпечити максимальний тиск повітря в 50 кПа. Друга – лінійність функції перетворення датчика в діапазоні вимірювань. Крім того, враховувалась необхідність температурної корекції відносної похибки вимірювань тиску.

Функція перетворення датчика тиску MPX5050DP є лінійною, діапазон її вхідних граничних значень P_{\min} і P_{\max} складає від 0 кПа до 50 кПа, а вихідна напруга не перевищує 5 В. Внаслідок високої чутливості датчика, яка становить $\frac{\partial U}{\partial P} = 90$ мВ/кПа, навіть при відсутності вхідної дії на виході датчика спостерігаються шуми з середнім значенням $m = 40$ мВ. Оскільки діапазон вимірювань тиску при проведенні експериментальних досліджень був вибраний в межах від 2 кПа до 40 кПа, то з метою покращення відношення сигнал/шум вимірюваного сигналу датчика тиску була використана порогова обробка з постійним порогом $U = 40$ мВ, що відповідає 13 кодовим одиницям аналого-цифрового перетворювача. Це було реалізовано у вимірювальному алгоритмі мікроконтролера. Абсолютна похибка вимірювань датчика тиску в процесі досліджень була сталою у всьому діапазоні вимірювань і склала $\Delta P = \pm 1,25$ кПа. Експериментально був також визначений температурний коефіцієнт K_T абсолютної похибки вимірювань датчика тиску, який необхідно

враховувати у вимірювальному алгоритмі мікроконтролера. Дослідження проводились на лабораторному стенді, який є аналогічним стенду. Його структурна схема приведена на рис. 3.3.

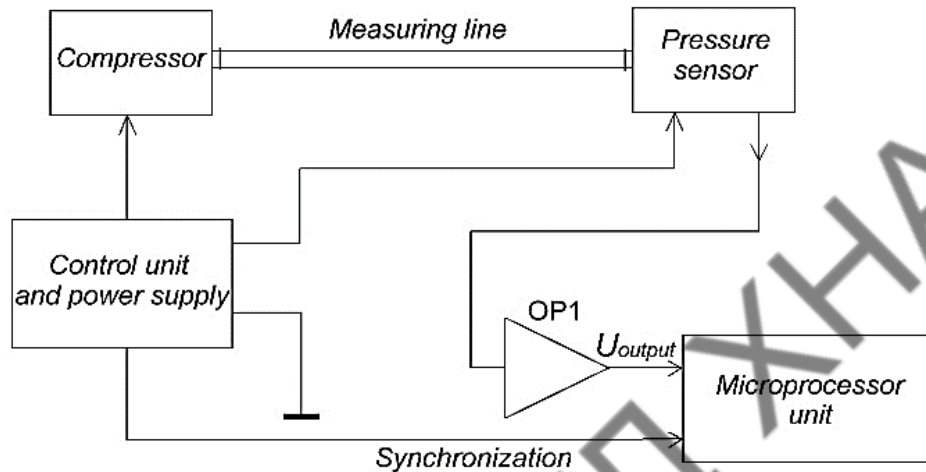


Рисунок 3.3 – Структурна схема стенду досліджень вимірювального каналу тиску з вимірювальною лінією, що наповнена повітрям.

Для кожного стану вимірювальної лінії проводилось 10 випробовувань, отримані вимірювальні дані потім усереднювались. Всі вимірювання проводились синхронно в єдиному масштабі часу. Періодичність вимірювань в кожній з 10 серій становила 30 хв., а тривалість часової вибірки кожної серії – 1 хвилина. Періодичність вимірювань в 30 хвилин визначалась необхідністю скидання тиску до сталого атмосферного. Дискретність вимірювань всередині однієї часової вибірки становила $20 \mu s$. Отже для багатьох випадків були отримані множина дискретних відліків вхідних сигналів, що знімались з першого датчика тиску, і множина відліків вихідного сигналу з другого датчика. Зазначені дискретизовані сигнали потім перетворювались в неперервні.

На рис. 3.4 показаний приклад функції когерентності вхідного та вихідного сигналів $\gamma_{xy}^2(f)$, тобто відношення квадрату взаємного спектра до добутку спектрів зазначених сигналів.

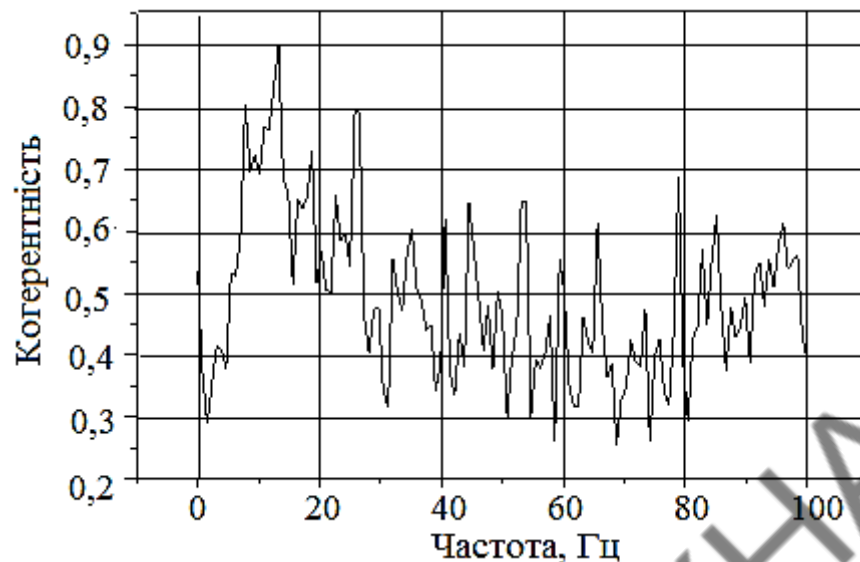


Рисунок 3.4 – Приклад функції вимірювального каналу тиску когерентності вхідного та вихідного сигналів

Оскільки $0 < \gamma_{xy}^2(f) < 1$, то згідно з [14] це означає, що, по-перше у вимірюваннях може бути присутній зовнішній шум, по-друге, на вихідний процес $y(f)$ впливають і інші вхідні процеси, і по-третє, система є нелінійною. Оскільки перші два фактори усувались при організації та проведенню експерименту, то основною причиною отриманих значень вважаємо нелінійність системи.

Оскільки в експериментах є відомими виміряні вхідний та вихідний сигнали, то основною метою є отримання моделі ВКТ. Така задача є задачею ідентифікації системи.

Основними завданнями ідентифікації системи є пошук її математичної моделі та оцінка параметрів моделі. В подальшому вважаємо, що моделлю ВКТ є модель Гаммерштейна. Ідентифікація моделі зводиться до визначення функції перетворення нелінійного неінерційного блоку та імпульсної характеристики лінійного інерційного блоку. Імпульсна характеристика є повною динамічною характеристикою цього блоку і замість неї можуть використовуватись часткові динамічні характеристики – постійна часу або смуга пропускання.

На практиці зустрічаються дві основні ситуації: 1) на вході ВКТ присутні тестові сигнали і 2) ці сигнали відсутні внаслідок того, що їх створення є технічно складним та витратним завданням. В першому випадку ідентифікація моделі здійснюється по-різному в залежності від ситуації. При відомій постійній часу лінійного інерційного блоку розв'язується обернена задача вимірювань і визначається сигнал на виході нелінійного неінерційного блоку. Оскільки для цього блоку є відомими вхідний (тестовий) та вихідний сигнали, проблема визначення функції перетворення є відносно простою алгебраїчною задачею.

При відомій функції перетворення нелінійного блоку розраховується сигнал $x(t)$ на виході цього блоку, який зв'язаний з вихідним $y(t)$ рівнянням згортки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau, \quad (3.1)$$

В цьому рівнянні треба визначити імпульсну характеристику $h(t)$ лінійного інерційного блоку. У загальному випадку розв'язується інтегральне рівняння (1), але внаслідок того, що зазначені вхідний та вихідний сигнали не є точно відомими, рішення інтегрального рівняння може бути погано обумовленим. Для наближеного розв'язання (1) імпульсна характеристика розкладається в ряд Карунена-Лоева і коефіцієнти цього ряду визначаються в процесі глобальної оптимізації функціоналу методом випадкового пошуку. У співвідношенні (3.2) $y(t)$ - вихідний сигнал, що записаний на основі ряду Карунена-Лоева, $y_{ексн}(t)$ - вихідний сигнал, що отриманий в процесі вимірювання.

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - y_{ексн}(t)]^2 dt \rightarrow \min. \quad (3.2)$$

Якщо невідомими є як функція перетворення, так і постійна часу, задача ідентифікації істотно ускладнюється. В цьому випадку можна використати

особливості тестових сигналів, наприклад, використати гармонічні сигнали різної частоти. При лінійній функції перетворення ВКТ при змінюванні частоти вхідного сигналу на виході каналу буде спостерігатись також гармонічний сигнал, якщо функція перетворення нелінійного блоку є лінійною і сигнал узгоджений з каналом по динамічному діапазону та спектру. При змінюванні частоти вхідного гармонічного сигналу амплітуда вихідного сигналу буде змінюватись і на деяких частотах цей сигнал не проходить на вихід каналу. Це визначається АЧХ лінійного інерційного блоку. Отже, використовуючи цей підхід можна визначити смугу пропускання і постійну часу зазначеного блоку. Нелінійність ВКТ приводить до розширення спектру тестового гармонічного сигналу на виході нелінійного блоку. Кількість частотних компонент починає збільшуватись в залежності від того, поліномом якої степені описана функція перетворення нелінійного блоку. Для другої степені маємо три частотних складових вихідного сигналу. Якщо всі вони попадають в смугу пропускання лінійного інерційного блоку, то вихідний сигнал також має три компоненти. При деяких значеннях частоти тестового сигналу у вихідному сигналі залишиться тільки одна частотна компонента спектру, що дає можливість отримати як смугу пропускання лінійного блоку, так і коефіцієнт при квадратичному члені функції перетворення.

Отже, при наявності відповідних тестових сигналів проблема ідентифікації моделі нелінійного інерційного ВКТ може бути розв'язана. Якщо тестові сигнали відсутні, модель ВКТ являє собою «чорну шухляду» і в загальному випадку ідентифікація моделі неможлива. Оскільки цілеспрямовано підготовлених тестових сигналів немає, виникає необхідність знаходити інформацію про сигнали, які можна використовувати в якості замінників тестових.

Такими тестовими сигналами можна вважати вхідні сигнали ВКТ, що були записані в початковий період експлуатації ТСО, коли канал ще був лінійним слабоінерційним. Характер поведінки вихідних сигналів у цьому випадку був таким же, як вхідних. Вважаємо, що технічні характеристики ТСО

с початку експлуатації змінились мало, а ВКТ перетворився в нелінійний інерційний. Виходячи з цього, можна мати уявлення про вид вхідних випадкових процесів при відомих режимах роботи ТСО. Якщо реалізація вихідного сигналу кардинально відрізняється від апріорно відомого вхідного сигналу, то можна стверджувати, що в каналі з'явилась нелінійність чи звужилась смуга пропускання або такі події відбулися одночасно.

У роботі досліджується метод ідентифікації моделі нелінійного інерційного ВКТ.

Методика визначення цих коефіцієнтів, а також уточнення інших параметрів (A, τ_0, a_0, a_1) зводиться до наступного. Вихідний сигнал (3.3) записуємо

$$y(t) = a_0 \int_{-\infty}^{+\infty} h(t-\tau) d\tau + a_1 \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)h(t-\tau) d\tau + a_2 \int_{-\infty}^{+\infty} x^2(t)h(t-\tau) d\tau + \dots \\ \dots + a_{n-1} \int_{-\infty}^{+\infty} x^{n-1}(t)h(t-\tau) d\tau. \quad (3.3)$$

Вираз (3.4) описує теоретичний сигнал, який повинен співпадати з експериментальним $y_{\text{exp}}(t)$. Складаємо функціонал, що характеризує відстань між сигналами $y(t)$ та $y_{\text{exp}}(t)$ у функціональному просторі з квадратичною метрикою

$$J(a_0, a_1, \dots, a_{n-1}, A, \tau_0) = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - y_{\text{exp}}(t)]^2 dt. \quad (3.4)$$

Мінімізація цього функціоналу методом випадкового пошуку глобального мінімуму з урахуванням апріорних відомостей про a_i та параметри A, τ_0 дозволяє визначити зазначені параметри, тобто отримати модель нелінійного інерційного вимірювального каналу. Для того, щоб ускладнити роботу алгоритму ідентифікації каналу з метою його перевірки, на вхід каналу подавався складний нестационарний сигнал, що створювався шляхом

переключення вентиля, який був встановлений в трубі між компресором і вимірювальним каналом.

Приклади реалізацій випадкового вхідного та вихідного сигналів, що були отримані в одному з експериментів, зображені на рис. 3.5.

Модель вимірювального каналу тиску була. Випадковий пошук глобального мінімуму функції (3.4) декількох змінних (τ_0, a_i) здійснювався за допомогою генетичного алгоритму. Для конкретного експерименту виявилось, що коефіцієнти в співвідношенні становлять $a_0=1, a_1=0,5, a_2=0,2$, а постійна часу всього ВКТ - $\tau_0 = 30$ мс. Коефіцієнти a_3, a_4, \dots, a_{n-1} для даного експерименту є близькими до нуля і при ідентифікації каналу не використовувались. Діапазон пошуку параметрів моделі ВКТ обмежувався апріорними відомостями про процес. Наприклад, постійна часу ВКТ при ідеальній вимірювальній лінії дорівнює постійній часу датчика MPX5050DP, який використовувався в експерименті, тобто $\tau_0 = 20$ мс. Вимірювальна лінія (труба зі змінною неоднорідністю, що заповнена повітрям під тиском) збільшувала постійну часу і остання визначалась в процесі мінімізації функції (3.4). Отже, для даного експерименту постійна часу каналу $\tau_0 = 20$ мс зростає до $\tau_0 = 30$ мс.

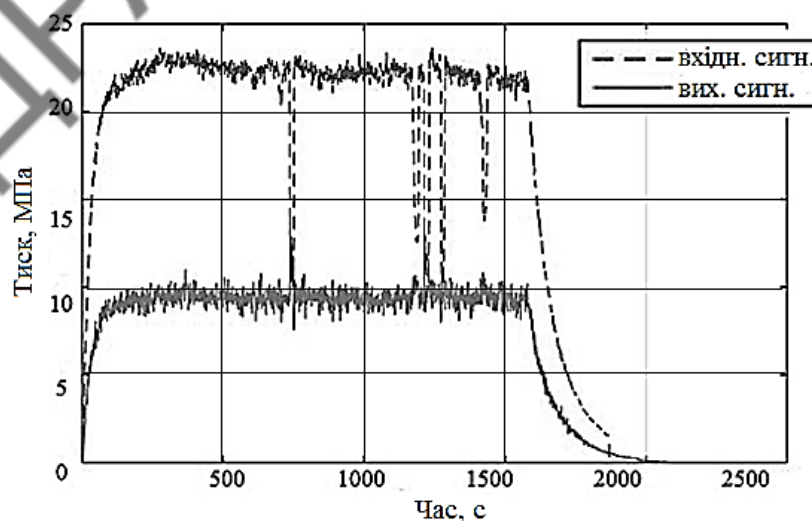


Рисунок 3.5 – Приклади експериментальних реалізацій вхідного (а) та вихідного (б) випадкового сигналів

Після отримання моделі ВКТ для одного конкретного експерименту ця модель була використана для аналізу результатів іншого експерименту, що проводився в аналогічних умовах, тобто модель каналу була такою ж. Для цього вимірювався вхідний сигнал $x(t)$, який перетворювався в сигнал $y(t)$. Цей сигнал вважається теоретичним (розрахованим). Він порівнювався з експериментальним $y_{\text{exp}}(t)$, тобто вимірним сигналом. Ці сигнали не співпадають, оскільки експериментальний сигнал вимірюється разом з шумами. В моделі каналу, яка отримана з використанням генетичного алгоритму, коефіцієнти (τ_0, a_i) не враховують шумові складові, тобто генетичний алгоритм має фільтруючу властивість. Якщо експериментальний сигнал згладжувати методом «ковзаючого вікна», то шуми вихідного сигналу пропадають. На рис. 3.6 показані згладжені реалізації експериментального та теоретичного сигналів, причому останній розрахований для даної моделі ВКТ.

Як видно з рис. 3.6, зазначені сигнали є близькими за формою. Максимальна похибка на окремих ділянках кривих не досягає 5 %, а найбільш ймовірна похибка відхилення теоретичного вихідного сигналу від експериментального не перевищує 1 %. Все це свідчить про те, що модель вимірювального каналу тиску є достовірною, тобто задача ідентифікації розв'язується запропонованим способом з високою достовірністю.

Запропонований метод ідентифікації каналу вимірювання тиску дозволяє використовувати цей канал для вимірювання без проведення лінеаризації функції перетворення. Ця функція, а також постійна часу каналу під час роботи можуть змінюватися. Модель вимірювального каналу також змінюється, забезпечуючи стабільність характеристик каналу, а максимальна похибка вимірювання, викликана зміною моделі, не перевищить 5 %.

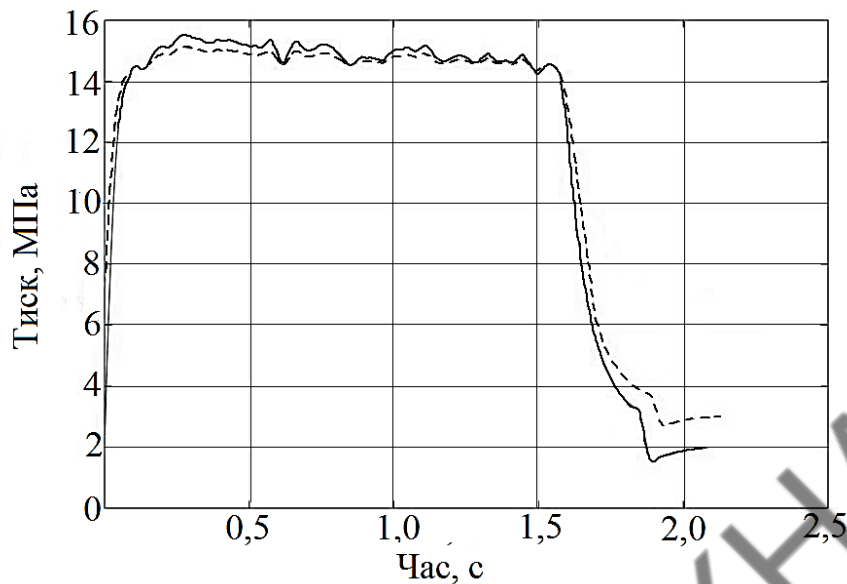


Рисунок 3.6 – Згладжені реалізації експериментального (суцільна лінія) та теоретичного (пунктирна лінія) сигналів

Оскільки результати математичного моделювання показали похибку відновлення не більше 10% при накладених обмеженнях, можна зробити висновок, що досліджувана модель ВКТ адекватно описує нелінійний неінерційний ВКТ. Запропонований метод ідентифікації нелінійного інерційного вимірювального каналу складає третій пункт наукової новизни.

Висновки до розділу

Для створення умов якісного розв'язання оберненої задачі вимірювань необхідно висувати вимоги до апріорної інформації, функції перетворення та смуги пропускання вимірювального каналу тиску, похибки вимірювання вихідного сигналу, рівня шумів на вході та виході каналу, а також спеціальних вимог до сигналів та параметрів генетичного алгоритму.

Оскільки обернена задача використовує результати вимірювання вихідного сигналу, то вона залишається вимірювальною і для неї справедливі вимоги багатьох ДСТУ та ISO. На відміну від традиційних вимірювань, обернена задача потребує модельних еталонів вхідного тиску, тобто еталонних

математичних моделей вхідних сигналів. Похибки відновлення оцінюються при порівнянні відновленого сигналу з еталонним сигналом.

У технічно складних об'єктах, де існують високі вимоги до їх безпеки і до точності відновлення вхідного сигналу, необхідно оцінювати якість відновлення вхідного сигналу з урахуванням ризику. Це потребує порогового значення похибки відновлення вхідного сигналу і вартостей неправильних рішень, тобто пропуску недопустимої похибки відновлення та хибної тривоги.

Перевищення ширини спектру вхідного сигналу після нелінійного перетворення над шириною смуги пропускання вимірювального каналу тиску приводить до збільшення похибок відновлення вхідного сигналу. (перевищення ширини смуги пропускання на 1% приводить до збільшення похибки відновлення на 3...4%).

Для якісного відновлення вхідного сигналу (відносні похибки менші 10...15%, коефіцієнт кореляції більше 0.7) відносні похибки вимірювання вихідного сигналу не повинні перевищувати 15...20% для простих сигналів (сума декількох гармонічних компонентів) і 10% для експериментальних більш складної форми.

Похибки відновлення вхідного сигналу істотно залежать від рівня шуму як на вході, так і виході вимірювального каналу. Відносна похибка відновлення сигналу не перевищує 10% при відношенні сигнал/шум 20 дБ і більше на вході каналу для простих сигналів і 10 дБ на виході каналу. Шум аналого-цифрових перетворювачів має менший вплив на процес відновлення сигналів.

Якість відновлення вхідного сигналу є залежною від параметрів генетичного алгоритму, що використовується при мінімізації цільової функції. Збільшення розміру популяції і кількості генерацій приводить до зменшення похибок відновлення вхідного сигналу, але до збільшення часу моделювання.

Потрібно враховувати тривалість сигналу (час спостереження), зі збільшенням якої точність відновлення зменшується. У типових випадках час спостереження не повинен перевищувати декількох хвилин. Якщо завдання

практики потребують більшого часу, то відновлення треба здійснювати на окремих часових інтервалах, що не перевищують вказані значення.

Експериментальні дослідження нелінійного інерційного каналу тиску з встановленими датчиками тиску на вході та виході показують адекватність розробленого методу відновлення вхідного сигналу та методу ідентифікації каналу. Розроблений метод може застосовуватись для розв'язання обернених задач як для стаціонарного, так і нестаціонарного сигналів, якщо ширина спектру вхідного сигналу після нелінійного перетворення не перевищує ширини смуги пропускання вимірювального каналу тиску.

КАФЕДРА МБЖД ХНУАДУ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1 Правові основи охорони праці

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» [15], термін «охорона праці» (ОП) визначається як система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Саме цим Законом регламентується захист конституційного права працівників на безпечні умови праці, регулюються відносини між власником підприємства або організації і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації ОП в Україні. Дія цього Закону поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Також основні положення ОП визначають Конституцією України, Кодексом законів про працю, Законом України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», а також державні міжгалузеві акти про ОП та державні галузеві акти про ОП.

Сучасний стан ОП в Україні можна охарактеризувати як критичний. Особливо, якщо брати до уваги середній та малий бізнеси. На це вплинули економічний та екологічний стани країни, демографічна криза, події на Сході України та світова пандемія COVID-19.

Більш ніж 70 % підприємств країни не відповідають вимогам норм безпеки, гігієни праці та санітарних правил, зокрема щодо функціонування на них систем опалення, вентиляції, освітлення та роботи санітарно-побутових приміщень тощо. Високий рівень виробничого травматизму – головний негативний показник стану ОП на підприємствах в Україні.

Фактичний рівень виробничого травматизму та умови праці в Україні залишаються значно гіршими, ніж у країнах Європейського Союзу, а за рівнем смертності на виробництві Україна випереджає всі країни Європейського Союзу. Саме така невтішна статистика на сьогоднішній день, спонукає сучасних, прогресивних та конкурентоздатних підприємців України забезпечувати функціонування міжнародної системи управління охороною праці, що є частиною загальної системи управління організацією, яка сприяє запобіганню нещасним випадкам та професійним захворюванням на виробництві і включає у собі комплекс взаємопов'язаних заходів на виконання вимог законодавчих та нормативно-правових актів з ОП.

4.2 Міжнародний стандарт ISO 45001 як інструмент менеджменту в області охорони праці

Серія міжнародних стандартів ISO 45000, що присвячена ОП та техніці безпеки, створена саме для тих організацій, у яких у пріоритеті підвищення рівня безпеки співробітників, зниження ризиків на робочому місці та створення більш безпечних умов праці.

Відповідно до статистики Міжнародної організації праці, більш ніж 7600 людей щоденно помирають від нещасних випадків на роботі або від пов'язаних з нею хвороб, що загалом становить більш ніж 2,78 мільйону людей на рік. Наслідки від виробничих травм та хвороб відображаються як на роботодавцеві, так і на економіці взагалі, що призводить до передчасного виходу співробітника на пенсію, відсутності персоналу та росту страхових внесків. Саме ця статистика стала передумовою для створення стандарту ISO 45001, котрий, на думку міжнародного комітету експертів з ОП та техніки безпеки, може спасти майже три мільйони життів на рік.

Ключові особливості ISO 45001:

1. Контекст: глава 4.1 включає нові вимоги з визначення та моніторингу бізнес середовища.

2. Робітники та інші зацікавлені сторони: глава 4.2 посилює фокус на потреби та очікування робітників та інших зацікавлених сторін. Система охорони праці будується з урахуванням цих потреб.

3. Менеджмент ризиків та можливостей: пункти 6.1.1, 6.1.2.3 та 6.1.4 містять вимоги до організацій, щоб ті розуміли ризики та можливості, що впливають на результативність системи охорони праці, а також розробляли міри керування.

4. Лідерство та прихильність: глава 5 підсилює вимоги до демонстрації лідерства та прихильності в області ОП.

5. Розширені вимоги: участь та консультування робітників (пункт 5.4); велика увага до механізмів комунікації (пункт 7.4); закупівля матеріалів, процесів та послуг (8.1.4).

Стандарт був опублікований 12 березня 2018 року і став першим міжнародним стандартом з системи ОП та виробничої безпеки.

Стандарт відповідає іншим системним підходам до управління, таким як ISO 14001 [19] та ISO 9001 [20]. Також ISO 45001 базується на успішних результатах інших міжнародних стандартів даної області, наприклад, таких як OHSAS 18001.

Більш детально про важливість запровадження міжнародних стандартів представлено в матеріалах конференції [21].

4.3 Нормовані показники освітленості та рівня шуму. Розрахунки

Одним з основних чинників зовнішнього середовища, що впливає на організм людини під час робочого процесу є освітлення.

Важливо зазначити, що конкретні норми освітлення визначаються для кожної організації або підприємства індивідуально фахівцями з ОП та безпеки життєдіяльності. Розглянемо норми освітлення для типового офісу, де люди проводять робочий час за комп'ютером.

Приміщення повинно мати природне і штучне освітлення. Середня величина освітленості приміщення повинна коливатися від 800 лк до 100 лк,

але необхідно ще враховувати безпосередню близькість до робочого місця: її значення повинно бути не менше 200 лк.

Блискіт необхідно звести до мінімуму. Це можна зробити за рахунок світлодіодних SMD-моделей світильників., що мають матовий розсіювач світла і найменше відбиваються на екрані монітора.

Для того, щоб створити оптимальне розподілення освітлення необхідно симетрично розставити однакові прилади, контролювати їх температуру, потужність та кольорову температуру. Показник рівномірності освітлення для типового офісу вважається нормальним, якщо становить 0,4 од. у радіусу півметра від людини та 0,1 од. у віддалені від нього.

Останній важливий аспект – відсутність пульсацій в світловому спектрі. Тут знову готові добре себе показати світлодіодні прилади й, особливо, універсальні LED-панелі. Якщо для офісів виникнення стробоскопічного ефекту загрожує лише псуванням настрою та тимчасово зниженою працездатністю, то на виробництвах з безліччю рухомих механізмів таке явище набагато небезпечніше. Співробітники, схильні до впливу мерехтливого світла, можуть втрачати над собою контроль, непритомніти, або погано контролювати свої рухи, особливо під час взаємодії з вібруючими механізмами.

Приклад розрахунку фактичної освітленості приміщення.

Для освітлення типового офісу, який розглянутий вище, з розмірами $A = 20$ м, $B = 12$ м і висотою $H = 3$ м використовуються 20 світильників з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ-40. Коефіцієнти відбиття світлового потоку від стелі $p_{стелі} = 70$ %, стін $p_{стін} = 50$ %, і підлоги $p_{підлоги} = 10$ %. Затемнення робочих місць відсутнє. Висота звісу світильника $h_p = 0,8$ м.

Для початку знаходимо нормативну величину освітленості для приміщень для роботи з комп'ютерними дисплеями $E_n = 400$ лк.

Фактичну освітленість можна визначити за формулою (5.1). Для цього необхідно знати кількість світильників, ламп, їх тип і потужність.

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k}, \text{ лк,} \quad (4.1)$$

де $N = 30$ – число світильників, шт.;

$F = 3120$ лм – світловий потік лампи;

$n = 2$ – число ламп у світильнику;

S – площа освітленого приміщення;

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп;

$k_z = 1,5$ – коефіцієнт запасу, враховуючий забруднення і старіння лампи;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт відбиття світлового потоку від стелі і підлоги. Так як тип світильника і коефіцієнти відбиття світлового потоку відомі, то для визначення η необхідно визначити значення індексу приміщення i .

Індекс приміщення i визначається рівнянням

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (4.2)$$

де A і B – відповідно довжина і ширина приміщення в м;

h_c – висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H , м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_p = 0,8$ м) за формулою

$$h_n = H - h_c - h_p = 3 - 0 - 0,8 = 2,2 \text{ м.} \quad (4.3)$$

Підставляємо отримане значення h_n у (4.2) і знаходимо індекс приміщення

$$i = \frac{12 \cdot 18}{2,2 \cdot (12 + 18)} = 3,27. \quad (4.4)$$

За додатковою літературою визначаємо, що світильник має криву силу світла Г-1. Також визначаємо коефіцієнт використання освітлювальної установки, який виявляється рівним 89 %. Підставляємо усі знайдені величини у (4.1) для E_ϕ

$$E_\phi = \frac{20 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0,89}{18 \cdot 12 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 311,6 \text{ лк.} \quad (4.5)$$

Так як отримана величина $E_\phi < E_n$, для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Розрахуємо ступень збільшення W

$$W = \frac{E_n}{E_\phi} = \frac{400}{311,6} = 1,28 \text{ рази.} \quad (4.6)$$

Тепер можна розрахувати необхідну кількість світильників

$$N_i = N \cdot W = 20 \cdot 1,28 = 25,6 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Збільшимо кількість світильників до 26 шт

$$E_\phi = \frac{26 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0,89}{18 \cdot 12 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 405,1 \text{ лк.} \quad (4.8)$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на 6 штук фактична освітленість E_ϕ практично відповідає нормативному значенню освітленості

$E_n = 400$ лк. Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світловим потоком. Розрахуємо потрібний світловий потік лампи

$$F_i = F \cdot W = 320 \cdot 1,28 = 3993,6 \text{ лм.} \quad (4.9)$$

Так, якщо лампи типу ЛБ-40 у комп'ютерному залі замінити на лампи ЛТБ-65 с $F = 3980$ лм

$$E_\phi = \frac{20 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0,89}{18 \cdot 12 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 397,6 \text{ лк.} \quad (4.10)$$

Таким чином, у цьому випадку фактична освітленість також буде практично відповідати нормативному значенню.

Завдання 2. Визначити загальний рівень шуму, створюваного 4 вентиляторами, встановленими в вентиляційній камері і працюючими з однаковими режимами (продуктивність $Q = 2000$ м³/год., тиск $H = 900$ Па).

Сусідні приміщення цехових лабораторій відокремлені від вентиляційної камери глухою цегляною стіною товщиною 520 мм.

Рішення. Розрахунок звукового тиску окремого вентилятора

$$L_{pj} = 10 \lg Q + 5\gamma(\lg H - 1) - 30 \lg f + 140, \quad (4.11)$$

де f – середньгеометрична частота смуги, Гц;

γ – коефіцієнт (його значення наведені у таблиці 4.1).

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнту γ

Середньгеометрична частота активної смуги, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
γ	0,4	0,6	1,6	2,5	3,5	4	4,5	5

Рівень шуму у лабораторії у кожній із активних смуг визначається як різниця між звуковим тиском джерела шуму і звукоізоляцією стіни

$$L_{\text{лаб } j} = L_{n.j} - R_j. \quad (4.13)$$

Потім ця величина порівнюється з допустимим рівнем шуму. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків

Середньгеометрична частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звуковий тиск одного вентилятора, L_{pj} , дБ	88,06	82,06	87,63	91,74	97,3	95,6	93,9	92,2
Загальний рівень звукового тиску, L_n , дБ	92,83	86,83	92,4	96,51	102,07	100,37	98,67	96,97
Звукоізоляція цегляної стіни, $R_{ст}$, дБ	45	45	52	59	65	70	70	70
Рівень шуму у лабораторії, $L_{\text{лаб}}$, дБ	47,83	41,83	40,4	37,51	37,07	37,07	28,37	26,97
Допустимий рівень шуму у лабораторії, $L_{\text{дон}}$, дБ	79	70	63	58	55	52	50	49

Висновок: за результатами розрахунку, рівень шуму в лабораторії не перевищує допустимих значень, тому методи пониження шуму не використовуються.

Завдання 3. Розрахунок звукоізолюючої здатності стіни з пройомом.

Виявимо середню звукоізолюючу здатність стіни з дверми на частоті 1000 Гц, якщо перегородка на цій частоті має звукоізолюючу здатність $R_c = 40$ дБ, двері – $R_0 = 25$ дБ, $S_k/S_{\text{общ}} = 10$ %. Визначимо, що являється більш доцільним – підвищення звукоізоляції глухої частини стіни або дверей.

Рішення. Звукоізолююча здатність складних стін, маючих дверні або віконні отвори, залежить від звукоізоляції дверей і вікон. Середню звукоізолюючу здатність складної огорожі визначається за формулою

$$R = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{k=1}^m S_k}{\sum_{k=1}^m S_k \cdot 10^{-0,1 \cdot R_k}}, \quad (4.14)$$

де S_k – площа окремого елемента складної огорожі (глухої частини стіни, вікна або ін.), m^2 .

Знаходимо R_{cp}

$$R_{cp} = R_c - 15 = 50 - 15 = 35 \text{ дБ}. \quad (4.15)$$

Підвищмо звукоізоляцію двері на 10 дБ, додавши у стіні подвійні двері. При цьому різниця звукоізолюючої здатності стіни і дверей складатиме

$$R_c - R_o = 40 - 35 = 5 \text{ дБ}. \quad (4.16)$$

$$R_{cp} - R_c = 1 \text{ дБ}. \quad (4.17)$$

Знаходимо R_{cp} :

$$R_{cp} = R_c - 15 = 40 - 1 = 39 \text{ дБ}. \quad (4.18)$$

Висновок: для покращення звукоізоляції стін з отворами потрібно в першу чергу підвищувати звукоізоляцію дверей і вікон.

Висновки по розділу

Таким чином, у розділі дипломної роботи було розглянуто питання, що стосуються безпосередньо умов праці, техніки безпеки, промислової санітарії й гігієни праці, визначені небезпечні й шкідливі виробничі фактори.

Проведений розрахунок фактичної освітленості приміщення машинобудівного підприємства показав результати, що відповідають нормативному значенню. Це означає, що такий шкідливий фактор, як незадовільне освітлення на робочому місці користувачів – відсутній. Також були проведені розрахунки звукоізоляційної здатності стіни з проймою та загальний рівень шуму, що створюється 4 вентиляторами. Отримані результати теж відповідають нормативним значенням, тому методи зменшення рівня шуму не застосовуються, але для більш високих показників запропоновано провести звукоізоляцію вікон та дверей.

Запропоновані організаційно-технічні заходи при роботі дозволили поліпшити умови праці і зменшити травматизм на розглянутих робочих місцях.

ВИСНОВКИ

Вимірювальна лінія каналу тиску в процесі експлуатації змінює свої характеристики і може набувати нелінійних та додаткових інерційних властивостей. Вхідна дія в такому каналі спотворюється, її енергетичний спектр на виході розширюється, що може привести до неправильного прийняття рішення оператором. Це викликає необхідність визначення вхідного сигналу каналу на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань.

Вивчено принцип роботи удосконаленої моделі нелінійного інерційного каналу на основі моделі Гаммерштейна, яка віртуально розділяє функції нелінійності та інерційності і дозволяє розв'язати обернену задачу вимірювань.

Обґрунтовано адекватність та межі застосування досліджуваної моделі інтелектуальної інформаційної вимірювальної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки : Закон України від 13.12.2022 р. № 2849-IX. *Голос України*. 2001. 18 січня. (№ 2245-III). 73 с.
2. Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки : постанови Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 року № 1030. *Офіційний вісник України*. 2016. № 2. 89 с.
3. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [На зміну ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94), ГОСТ 12.1.044-89 (ISO 4589-84); чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2020. 16 с. (Інформація та документація).
4. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина II : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2020. 154 с.
5. Hashemian H. M. Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plant. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006. 304 p.
6. Zhang F., Boring S., Hines J. W. Combination of Unquantization Technique and Empirical Modeling for Industrial Applications. Washington: Transactions of the American Nuclear Society, 2017. vol. 117. Pp. 449-452.
7. Webster J. W. The measurement instrumentation and Sensors Handbook. Press LLC, 1999. 2588 p.
8. Медведовська Я. С. Вдосконалення методів визначення вхідного сигналу нелінійного інерційного вимірювального каналу тиску : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02. Харків, 2018. - 24 с.
9. Коваль А. О. Удосконалення методів визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.02. Харків, 2016. 24 с.
10. Медведовська Я. С., Кірічук А.І. Використання блочно-орієнтованих моделей для розробки складних систем. *Матеріали конференції KIT-2020*. Харків, ХНАДУ, 25.11.2020. С. 31-32.

11. Завадская Т. В. Блочно-орієнтована модель газодинамічних процесів у схемах провітрювання ділянок шахт. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Донецьк, 2007. №6. (127). 243 с.

12. Бровко Я. С. Порівняння моделей вимірювальних каналів тиску на техногенно небезпечних об'єктах. *Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення сил охорони правопорядку*: зб. тез доп. наук.-практ. конф. (м. Харків, 27 жовтня 2016 р.). Харків, 2016. С. 28-30.

13. Hashemian H. M. A Review of Sensor Calibration Monitoring for Calibration Internal Extension in Nuclear Power Plants. US Department of Energy, 2012. 52 p.

14. Nair A. M. Bayesian Framework for High Confidence Signal Validation for Online Monitoring Systems in Nuclear Power Plants. University of Tennessee, Knoxville, 2016. 55 p.

15. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2695-ХІІ. Редакція від : 01.10.2023. URL : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

16. ДСТУ 4500-3:2008 Вантажі небезпечні. Класифікація. [На заміну ГОСТ 19433-88 в частині класифікації; чинний від 2010-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2010. 37 с.

17. ДСТУ EN 13631-16:2013 Вибухові речовини для цивільного застосування. Речовини вибухові бризантні. Частина 16. Виявлення та вимірювання токсичних газів (EN 13631-16:2004, IDT). [Чинний від 2014-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 39 с.

18. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT). [На заміну ДСТУ ISO 14001:2006; чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 29 с.

19. ДСТУ EN ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT). [Чинний від 2018-12-05]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 22 с.

20. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). [На заміну ДСТУ OHSAS 18001:2010; чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 31 с.

21. Плетенко А. В., Медведовська Я. С. Важливість удосконалення систем менеджменту для сучасного функціонування підприємств. *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (2 листопада 2023 р.). Харків, 2023. С. 95-98.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ДОДАТОК А
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ



Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Ілюстративний матеріал до дипломної роботи

магістра

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ
ІНТЕГРАЛА ЗГОРТКИ**

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.

О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент

І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доцент

Я. С. Медведовська

Студентка гр. ММ-61-22

А. В. Плетенко

Харків – 2023

МЕТА, ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ☑ **Мета роботи** – дослідити багатоканальну інтелектуальну вимірювальну систему тиску на відповідність основним вимогам адекватності її роботи.

- ☑ **Предмет дослідження** – багатоканальний вимірювальний канал тиску (нелінійна інерційна система).

- ☑ **Об'єкт дослідження** – модель Гаммерштейна, що описує нелінійний інерційний вимірювальний канал тиску та обернена задача вимірювань.

ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ УКРАЇНИ



Рисунок 1 – Нафтобаза мережі автозаправного комплексу «ОККО» (Житомирська обл.)



Рисунок 5 – Зруйнований четвертий енергоблок Чорнобильської атомної електростанції



Рисунок 2 – Акціонерне товариство «Українські енергетичні машини» (м. Харків)



Рисунок 3 – Кременчуцьке водосховище



Рисунок 4 – «Одеса-Броди». Нафтоперекачувальна станція

ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

Термін «інтелектуальний» останнім часом стає настільки популярним, що з'явилися навіть «інтелектуальні вимірювальні канали», під якими розуміються канали, що містять функціональні вузли на основі мікропроцесорів і реалізації концепції «розподіленого інтелекту». Такі канали вільно існують самостійно або функціонують паралельно до звичайних вимірювальних каналів на потенційно небезпечних об'єктах, покращуючи таким чином достовірність вимірювальної інформації, проводячи моніторинг та діагностику каналів.



Рисунок 6 – Приклад багатоканального вимірювального каналу тиску

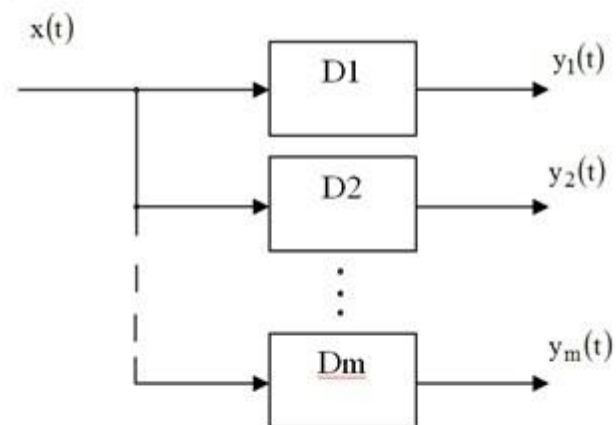


Рисунок 7 – Структурна схема багатоканального вимірювального каналу тиску

ВИМІРЮВАЛЬНА ЛІНІЯ ЯК СКЛАДОВА ВКТ

Вимірвальна лінія (ВЛ) свої особливості і значний вплив на отримання достовірної виміральної інформації. ВЛ являє собою металеву трубу, як правило, круглого поперечного перерізу, що має різну довжину від сантиметрів до сотень метрів. Труба заповнюється найчастіше рідиною, що служить засобом передачі тиску від технологічного процесу підприємства до датчиків тиску. Найчастіше у якості рідини використовується вода, яка повинна відповідати вимогам чистоти. Реально в ній можуть зосереджуватись як тверді частки (наприклад, бруд, різні домішки, лід), так і газоподібні, зокрема, повітряні бульбашки різних розмірів

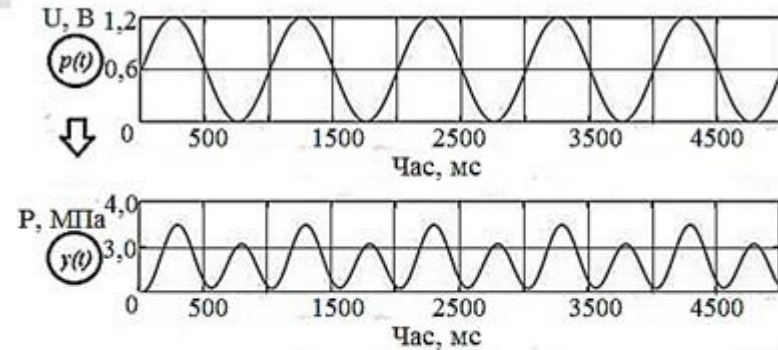
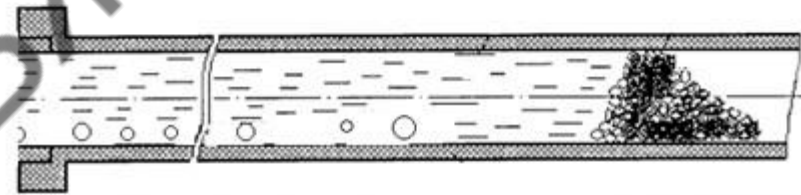
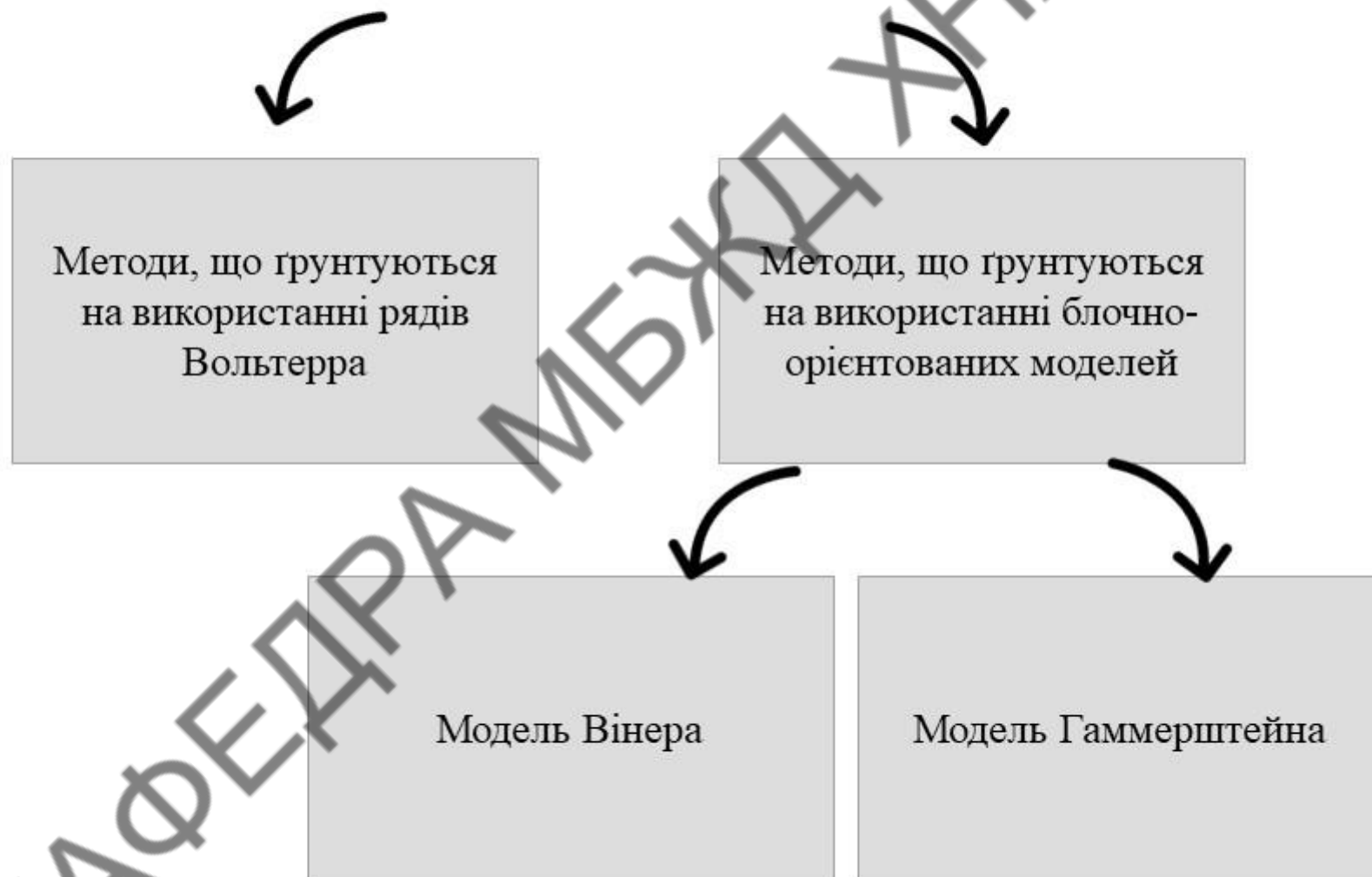
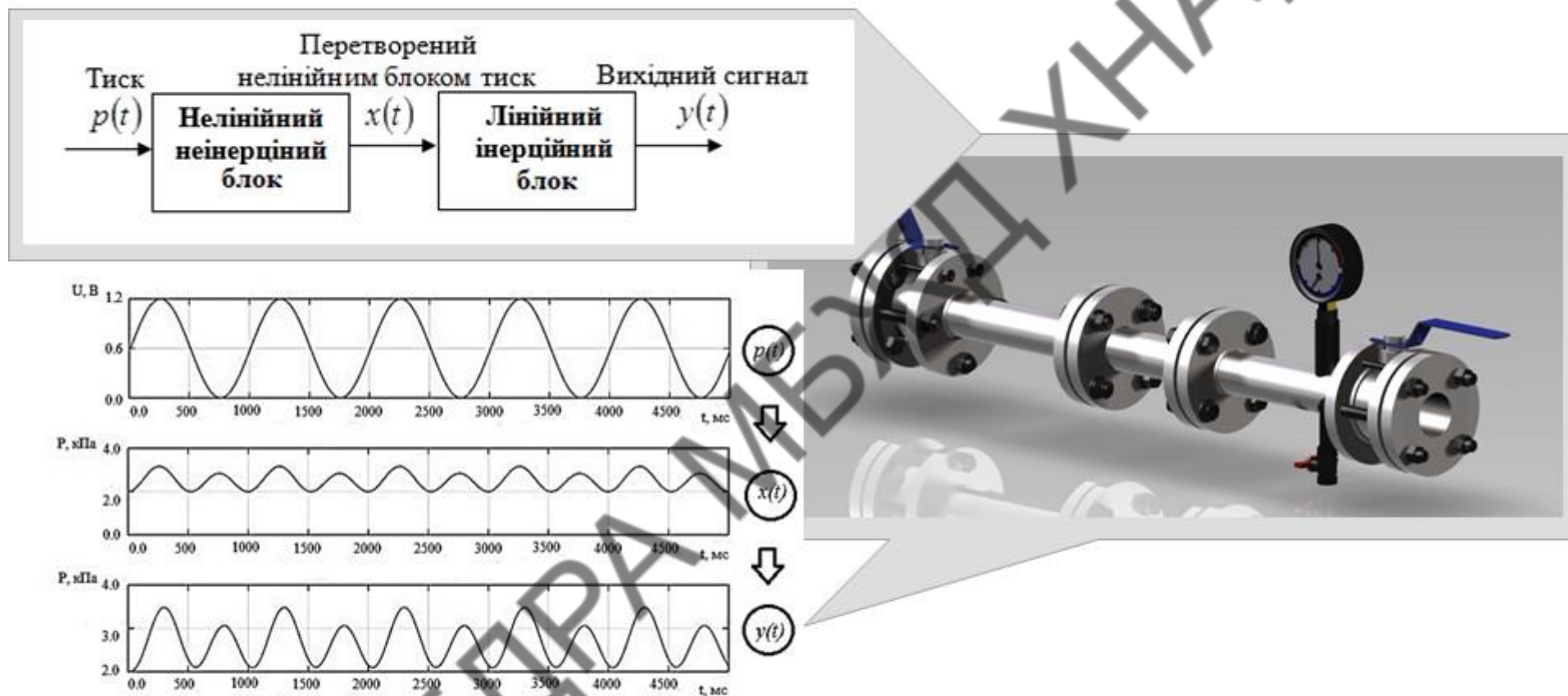


Рисунок 8 – Ілюстративне представлення виміральної лінії та її вплив на вимірювання тиску

МЕТОДИ АНАЛІЗУ НЕЛІНІЙНИХ НЕІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ



МОДЕЛЬ ГАММЕРШТЕЙНА



$p(t)$ – невідомий сигнал на вході нелінійного неінерційного блоку (або вхідний сигнал усієї системи); $x(t)$ – сигнал на виході нелінійного неінерційного блоку; $y(t)$ – сигнал на виході системи (на виході лінійного інерційного блоку)

Рисунок 9 – Модель Гаммерштейна ВКТ.
Приклад проходження відомого сигналу через модель ВКТ Гаммерштейна

ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА ВИМІРЮВАНЬ. РІВНЯННЯ ЗГОРТКИ

З метою ілюстрації роботи запропонованого способу обмежись невеликою кількістю коефіцієнтів

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t). \quad (1)$$

Розкладаємо вже відому функцію в ряд Карунена-Лоева

$$x(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t) \quad (2)$$

Невідому реалізацію вхідної дії $p(t)$ також розкладаємо в ряд Карунена-Лоева

$$p(t) = \sum_{k=0}^{n-1} \beta_k \psi_k(t) \quad (3)$$

В формулу (1) підставимо співвідношення (2) і (3)

$$\sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t) = a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) + a_2 \cdot \left(\sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) \right)^2. \quad (4)$$

$$f(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}) = \gamma_0 T + \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i C_i - (a_0 + a_1 \beta_0) - a_1 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i C_i - a_2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i^2 C_i.$$

Мінімізацію проводимо за допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку екстремуму (генетичного алгоритму). У результаті визначимо всі коефіцієнти, а, значить, і вхідний сигнал.

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ

Моделлю, що адекватна до поставленої задачі, ми будемо вважати таку, що має наступні властивості:

1. Модель дає правильний якісний опис властивостей об'єкта, наприклад, можливість при дослідженні моделі зробити правильні висновки про асимптотичну поведінку основних характеристик ВКТ, про наявність та характер нелінійності, про зміну характеристик ВКТ з плином часу.
2. Правильний кількісний опис цих властивостей з деякою допустимою точністю.



Таблиця 1 – Характеристика датчика тиску серії MPX5050DP

№ з/п	Характеристика	Значення
1.	Діапазон тиску	від 0 кПа до 50 кПа
2.	Вихідна напруга	від 0,2 В до 4,7 В
3.	Точність	2,5 %
4.	Напруга живлення	5 В (від 4,75 В до 5,25 В)
5.	Діапазон робочих температур	від -40 С° до +125 С°
6.	Час реакції	1 мс
7.	Температурна компенсація	+

Рисунок 10 – Датчик тиску
MPX5050DP CASE 857C-05

ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА ВИМІРЮВАНЬ

Оскільки обернена задача використовує результати вимірювання вихідного сигналу, то вона залишається вимірною і для неї справедливі вимоги багатьох ДСТУ та ISO. На відміну від традиційних вимірювань, обернена задача потребує модельних еталонів вхідного тиску, тобто еталонних математичних моделей вхідних сигналів. Похибки відновлення оцінюється при порівнянні відновленого сигналу з еталонним сигналом.

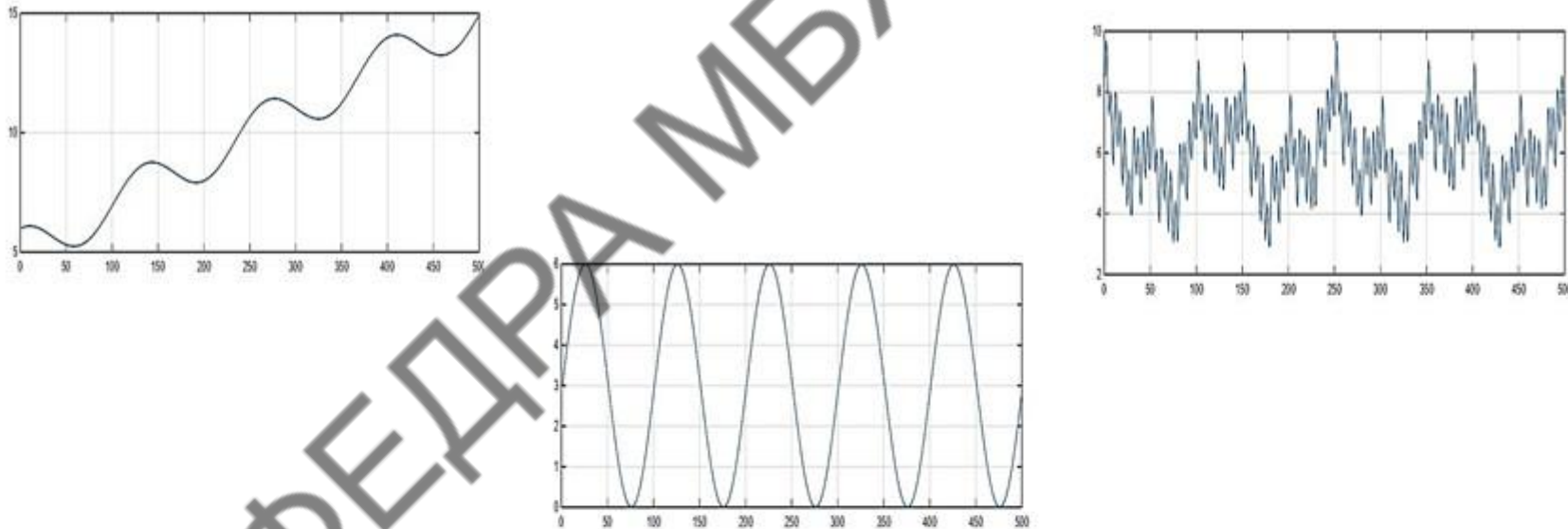


Рисунок 11 – Тестові сигнали які використовувалися для дослідження моделі

ШИРИНА СПЕКТРУ ВХІДНОГО СИГНАЛУ

Перевищення ширини спектру вхідного сигналу після нелінійного перетворення над шириною смуги пропускання вимірювального каналу тиску приводить до збільшення похибок відновлення вхідного сигналу.(перевищення ширини смуги пропускання на 1% приводить до збільшення похибки відновлення на 3...4%).

Таблиця 2 – Результати відновлення простих гармонічних сигналів з шумом

Ширина спектру вхідного сигналу Df_c , Гц	Задане значення постійної часу, τ_0 , с	Максимальна різниця ϵ_{\max} , кПа	Коефіцієнт кореляції між $y_T(t)$ та $y_M(t)$, r
800	3	5,6594	0,8173
800	0,3	23,9433	0,9491
800	0,1	74,4733	0,9396
1600	0,3	31,5026	0,9747
1600	3	5,7491	0,5858

РІВЕНЬ ШУМУ НА ВХОДІ

Похибки відновлення вхідного сигналу істотно залежать від рівня шуму як на вході, так і виході вимірювального каналу. Відносна похибка відновлення сигналу не перевищує 10% при відношенні сигнал/шум 20 дБ і більше на вході каналу для простих сигналів і 10 дБ на виході каналу. Шум аналого-цифрових перетворювачів має менший вплив на процес відновлення сигналів.

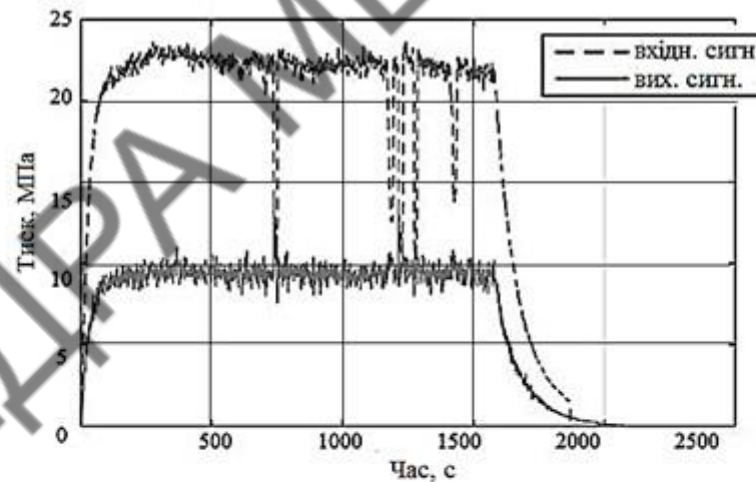


Рисунок 12 – Приклади експериментальних реалізацій вхідного (а) та вихідного (б) випадкових сигналів

ТРИВАЛІСТЬ СИГНАЛУ

Потрібно враховувати тривалість сигналу (час спостереження), зі збільшенням якої точність відновлення зменшується. У типових випадках час спостереження не повинен перевищувати декількох хвилин. Якщо завдання практики потребують більшого часу, то відновлення треба здійснювати на окремих часових інтервалах, що не перевищують вказані значення.

Для кожного стану вимірювальної лінії проводилось 10 випробовувань, отримані вимірювальні дані потім усереднювались. Всі вимірювання проводились синхронно в єдиному масштабі часу. Періодичність вимірювань в кожній з 10 серій становила 30 хв., а тривалість часової вибірки кожної серії – 1 хвилина.

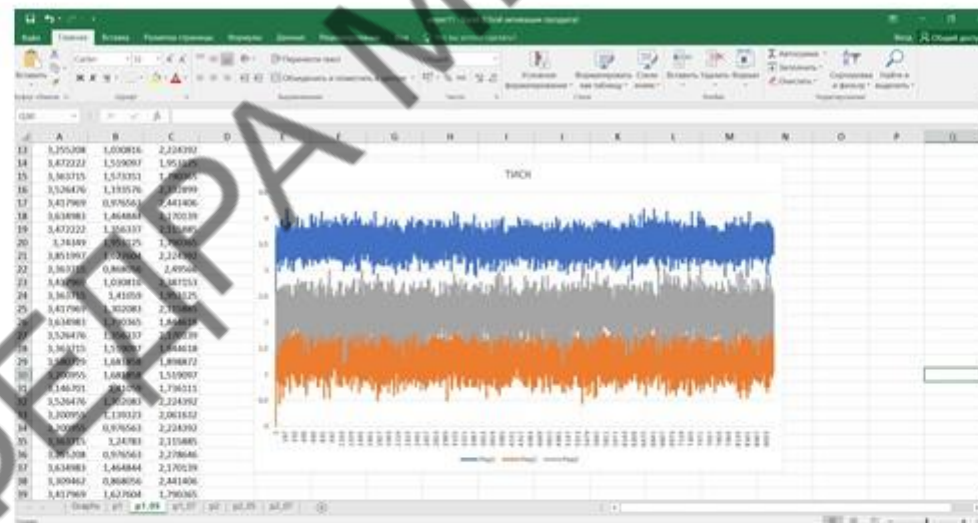


Рисунок 13 – Принцип використання реальних даних про реальний вимірювальний об'єкт у середовищі MATLAB

РОБОТА ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Якість відновлення вхідного сигналу є залежною від параметрів генетичного алгоритму, що використовується при мінімізації цільової функції. Збільшення розміру популяції і кількості генерацій приводить до зменшення похибок відновлення вхідного сигналу, але до збільшення часу моделювання.

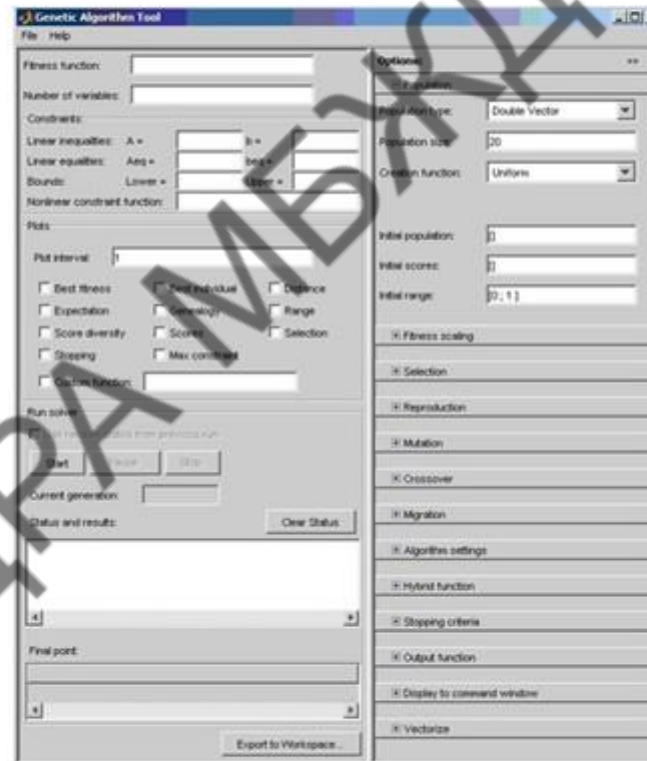


Рисунок 14 – Пакет Genetic Algorithm Tool у середовищі
MATLAB

ВИСНОВКИ

14.

- Вимірювальна лінія каналу тиску в процесі експлуатації змінює свої характеристики і може набувати нелінійних та додаткових інерційних властивостей. Вхідна дія в такому каналі спотворюється, її енергетичний спектр на виході розширюється, що може привести до неправильного прийняття рішення оператором. Це викликає необхідність визначення вхідного сигналу каналу на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань.
- Вивчено принцип роботи удосконаленої моделі нелінійного інерційного каналу на основі моделі Гаммерштейна, яка віртуально розділяє функції нелінійності та інерційності і дозволяє розв'язати обернену задачу вимірювань.
- Обґрунтовано адекватність та межі застосування досліджуваної моделі інтелектуальної інформаційної вимірювальної системи.