

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та БЖД

Дипломна робота

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ
ДЛЯ ЛІНІЙНИХ ІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ

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

Студент гр. ММ-61-22



І. О. Храмцов

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 СТУДЕНТУ

Храмцову Ігорю Олексійовичу

1. Тема роботи: «Дослідження методу оцінки невизначеності вимірювань для лінійних інерційних систем».

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). Лінійна інерційна вимірювальна інформаційна система. 2). Спрощена модель лінійної інерційної багатоканальної системи. 3). Оборнена задача вимірювання для визначення характеристик датчика тиску. 4). Базова модель представлення невизначеності вимірювань відповідно до GUM.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Невизначеність вимірювань на законодавчому рівні; 3. Спрощена модель лінійних інерційних вимірювальних систем; 4. Методика оцінки невизначеності вимірювань для лінійних інерційних систем; 5. Охорона праці при роботі з контрольно-вимірювальними приладами тиску; 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

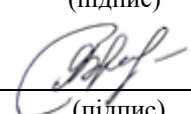
№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічних джерел щодо оцінювання невизначеності вимірювань	19.09.2023	
2	Огляд літератури щодо державного регулювання невизначеності вимірювань на підприємстві	29.09.2023	
3	Дослідження спрощеної моделі багатоканальної лінійної інерційної вимірювальної системи	10.10.2023	
4	Оцінка невизначеності вимірювань відповідно до базового алгоритму нормативних документів	20.10.2023	
5	Формування висновків по роботі. Оформлення дипломної роботи	30.10.2023	
6	Підготовка презентації та доповіді	10.11.2023	

Студент гр. ММ-61-22


(підпис)

І. О. Храмцов

Керівник роботи


(підпис)

Я. С. Медведовська

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 73 с., 18 рис., 10 табл., 1 додаток, 19 джерел.

БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА, БЛОЧНО-ОРІЄНТОВАНІ МОДЕЛІ, ДАТЧИК ТИСКУ, ІНЕРЦІЙНІСТЬ, ЛІНІЙНІСТЬ, МОДЕЛЬ ГАММЕРШТЕЙНА, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, ПОСТІЙНА ЧАСУ

Об'єктом дослідження є модель інтелектуальної інформаційної системи, що описує багатоканальна лінійна інерційна система вимірювання тиску.

Мета роботи – дослідити важливість відображення невизначеності вимірювань у результатах вимірювань.

Метод дослідження – за допомогою математичного моделювання у програмному пакеті MATLAB провести дослідження відповідно до базового алгоритму розрахунку невизначеності вимірювань.

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 спрощена модель вимірювального каналу тиску, що представляє собою багатоканальну лінійну (вимірювальна лінія) інерційну (датчики) систему.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Невизначеність вимірювань на законодавчому рівні.....	7
1.1 Державне регулювання щодо невизначеності вимірювань	7
1.2 Джерела невизначеності вимірювань. Класифікація	10
1.3 Базовий алгоритм розрахунку невизначеності вимірювань	15
2 Спрощена модель лінійних інерційних вимірювальних систем	21
2.1 Аналіз літератури щодо моделей багатоканальної вимірювальної системи.....	21
2.2 Теоретичне підґрунтя апроксимації рівняння згортки	23
2.3 Результати математичного моделювання.....	26
3 Методика оцінки невизначеності вимірювань для лінійних інерційних систем	32
4 Охорона праці при роботі з контрольно-вимірювальними приладами тиску.....	40
4.1 Вимоги до процедури вимірювання тиску	45
4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	50
Висновки.....	54
Перелік посилань.....	55
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	57

ВСТУП

Значно посилюються вимоги законодавства України та міжнародних організацій зі стандартизації та сертифікації, наприклад ISO, до представлення результатів вимірювання. Це є наслідком прагнення отримувати достовірні дані про об'єкт вимірювання, щоб скоротити ризики та уникнути катастроф техногенного характеру.

Саме тому з'являється поняття невизначеності вимірювання. Невизначеність вимірювання означає, що вимірювана величина належить певному інтервалу значень, і саме з заданим рівнем невизначеності не виходить за його межі. Невизначеність вимірювання слугує фактором для прийняття рішення на професійному рівні, а також як оцінка властивостей у багатьох галузях промисловості.

Також за допомогою невизначеності вимірювань можна дати проміжну оцінку об'єкту дослідження. У роботі цим об'єктом є спрощена модель лінійної інерційної багатоканальної системи. Вона складається з вимірювальної лінії та трьох датчиків тиску. Аргументація вибору у якості досліджуваної величини тиск полягає у дослідженнях літератури і у ствердженнях, що саме тиск є одним з головних параметрів для виміру на багатьох підприємствах будь-якої галузі.

Так як сучасні вимоги до точності вимагають використання інтелектуальних вимірювальних систем, які б замінювали або працювали паралельно з діючими реальними об'єктами, тому інерційність має вплив на невизначеність результату вимірювання.

Проміжні результати дослідження віртуальної інтелектуальної багатоканальної лінійної інерційної системи описані за принципом банку даних на основі базового алгоритму визначення невизначеності вимірювання у відповідності Настанови [1].

1 НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ НА ЗАКОНОДАВЧОМУ РІВНІ

1.1 Державне регулювання щодо невизначеності вимірювань

Завдяки державному регулюванню, а саме завдяки сукупності інструментів держава встановлює вимоги до підприємств і громадян. Процес регулювання включає у собі закони України та інші нормативні документи, допоміжні інструменти, що створюються державними органами управління, а також правила, що встановлюються державними і недержавними агентствами в рамках делегованих повноважень.

У Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2] від 2014 р. уперше з'являється поняття «невизначеність вимірювання». Також у законі зазначається, що результати вимірювань мають свою цінність та можуть бути використані у сфері законодавчої метрології тільки за умови, що у таких результатах визначені та вказані характеристики похибок або невизначеність вимірювань.

Цим Законом [2] держава взяла на себе функцію регулювання щодо вимірювань, одиниць вимірювання та засобів вимірювальної техніки. Таким чином, держава підвищує рівень відповідальності підприємств.

Щоб забезпечити умови відповідності підприємства законам України та міжнародним стандартам, необхідно усвідомити різницю між поняттями «похибка» та «невизначеність» вимірювань. Оцінка результату вимірювання приводиться у певному інтервалі, що, з певною ймовірністю, містить невідоме «істинне» значення вимірюваної величини і похибку її вимірювання.

Невизначеність вимірювання (measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty) означає, що вимірювана величина належить певному інтервалу значень, і саме з заданим рівнем невизначеності не виходить за його межі. Надалі буде вживатись аббревіатура НВ.

НВ слугує фактором для прийняття рішення на професійному рівні, а також як оцінка властивостей у багатьох галузях промисловості. Оскільки

вимоги до точності вимірювань у промисловому виробництві стають усе більш суворими, роль НВ при оцінці якості продукції та підприємства взагалі зростає усе більше. НВ допомагає приймати рішення на усіх видах діяльності. НВ є основним фактором при прийнятті правильних рішень, при оцінці відповідності, при управлінні виникаючими ризиками. НВ посідає центральну роль в оцінюванні якості відповідно до стандартів якості.

Закон України [2] є відгуком на прагнення національних підприємств та національної продукції відповідати міжнародному ринку та міжнародним стандартам.

Починаючи з середини 70-х років минулого сторіччя була дискусія стосовно питання пошуку істинного значення фізичної величини. Відповідно до того часу джерел літератури, істинне значення завжди було невідомим, а результат вимірювання – це не оцінка похибки вимірювань, а невизначеність результатів вимірювання.

Відповідно до літературних джерел, то термін НВ у міжнародній літературі був уведений вперше в 1993 р. у міжнародному стандарті ISO/IEC (GUM-93) [1]. Результатом виходу цього документу стало використання «сумарної стандартної невизначеність» та «розширеної невизначеності» замість похибки вимірювань або її характеристик. Починаючи з 1997 р. були випущені наступні нормативні документи:

- «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM»;
- «The International Vocabulary of Metrology, VIM».

До випуску цих двох документів були залучені наступні Міжнародні організації:

- «The International Bureau of Weights and Measures, BIPM»;
- «The International Electrotechnical Commission, IEC»;
- «The International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine, IFCC»;
- «The International Organization for Standardization, ISO»;
- «The International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC»;

- «Organisation Internationale de Métrologie Légale, OIML»;
- «The International Laboratory Accreditation Cooperation, LAC».

Офіційним документом, що конкретизував тези стосовно переходу на концепцію «невизначеності» став важливий документ JCGM 104:2009 «Evaluation of measurement data». Саме цей документ окреслив основні переваги введення поняття НВ та наочно продемонстрував основні принципи розрахунку НВ (рис. 1.2).

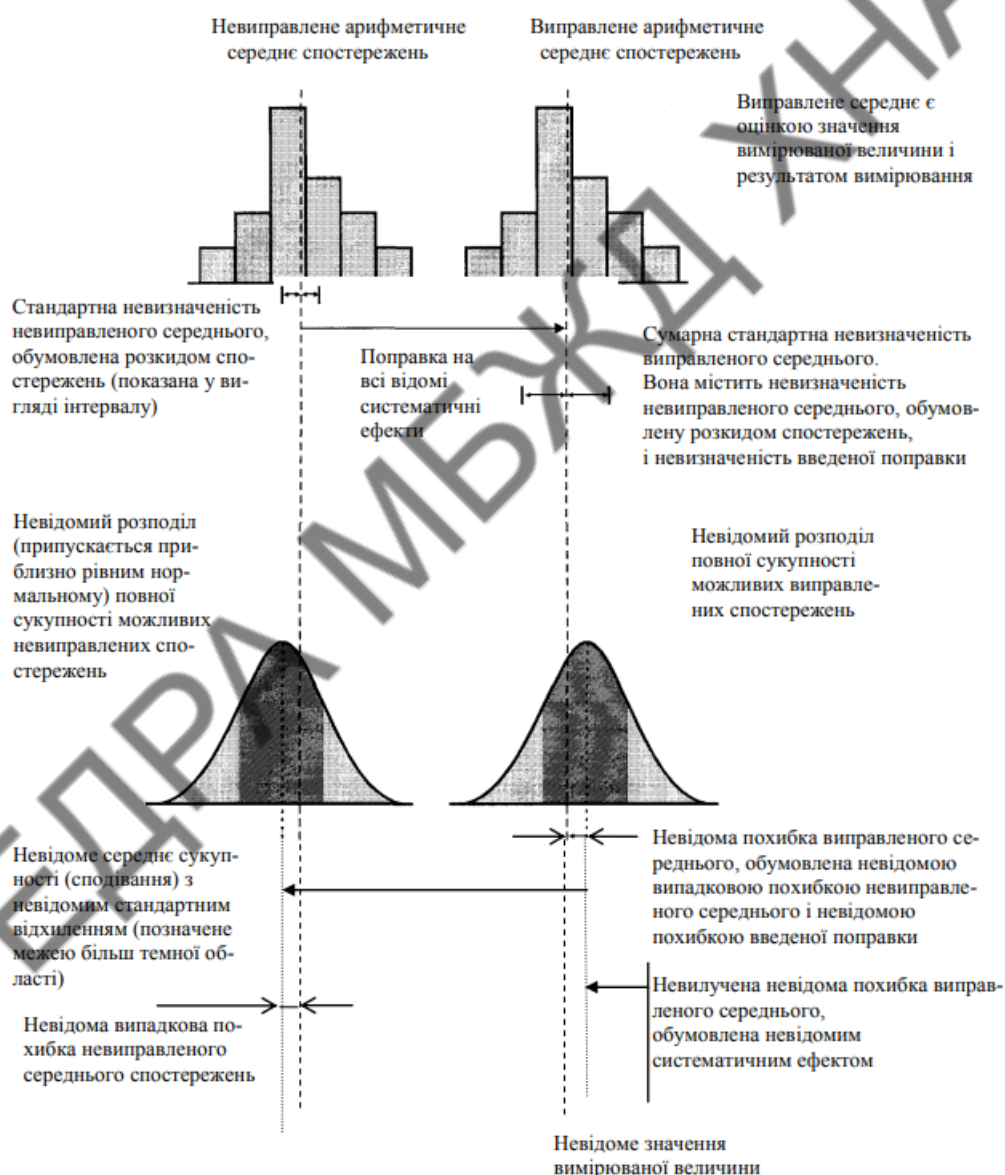


Рисунок 1.1 - Графічна ілюстрація значення невизначеності вимірювання

Після майже тридцятирічного тріумфу у області НВ GUM, у 2013 році було прийняте колективне рішення про перегляд цього нормативного документа. Основними причинами цього перегляду були:

- суттєва зміна в термінології;
- прагнення до спрощення розрахунків розширеної НВ призвело до глухого кута науковців: формула Уелча-Саттертвейта втратила свою суть;
- Додаток 1 GUM (GUM-SI) на основі методу Монте-Карло, давав чисельну різницю у розрахунках стандартної невизначеності за GUM-93 та GUM-SI.

1.2 Джерела невизначеності вимірювань. Класифікація

Відповідно до прагнень українських підприємців до виходу на міжнародний ринок та політики українського законодавства сприяти цьому процесу у рамках збагачення економіки держави, спонукало до необхідності переходу до єдиних стандартів в галузі планування, проведення і обробки результатів вимірювань. Так звана, активна робота у цьому напрямку почалась з чинності ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 [2]. Саме цей документ спонукав акредитовані органи випробувальних і калібрувальних лабораторій України виконувати вимоги пункту 5.4.6 цього стандарту про оцінку НВ. Відповідно до документів [2, 3] маємо наступні джерела та класифікації НВ (рис. 1.2).

На практиці існує багато можливих джерел НВ, зокрема такі:

- а) неповне визначення вимірюваної величини;
- б) неточна реалізація визначення вимірюваної величини;
- в) вибірка, що не відображається, – отримане значення може не відображати вимірювану величину;
- г) неточні відомості про вплив навколишнього середовища на вимірювання або недосконале вимірювання умов навколишнього середовища;
- д) суб'єктивна систематична похибка оператора при знятті показань з аналогових приладів;

- е) кінцева роздільна здатність приладу або поріг чутливості;
- ж) неточні значення, приписані еталонам, що використовуються при вимірюванні, стандартним зразкам речовин і матеріалів;
- и) неточні значення констант і інших параметрів, які були отримані із зовнішніх джерел та використовуються в алгоритмі опрацювання даних;
- к) апроксимації та припущення, що використовуються у методі вимірювання і вимірювальній процедурі;
- л) зміни в повторних спостереженнях вимірюваної величини при явно однакових умовах.

Ці джерела виникнення НВ мають відомий ефект але не є обов'язково незалежними. Усі невідомі систематичні ефекти не можуть бути занесені в оцінку результату НВ, але вони вносять свій вклад у похибку результату вимірювання.

Різниця між поняттями «невизначеності» та «похибки» вимірювань полягає у наступному: «похибка» вимірювань базується і розраховується на основі невідомого істинного значення вимірювальної величини, а «невизначеність» - на відомих параметрах одержаних результатів вимірювання, відомих умов проведення вимірювання, відомих характеристик технічних засобів якими проведено вимірювання, тощо.

Невизначеності вимірювання можна класифікувати за такими ознаками (рис. 1.2): за способом оцінювання та за формою подання.

Відповідно до технічної літератури, визначення «стандартної невизначеності» вказується як невизначеність результату вимірювання, виражена як стандартне відхилення.

Метод оцінки (невизначеності) за типом А проводиться шляхом статистичного аналізу рядів спостережень.

Метод оцінки (невизначеності) за типом В проводиться іншим способом, ніж статистичний аналіз рядів спостережень.

Сумарну стандартну невизначеність результату вимірювання визначають, коли результат одержують із значення ряду других величин, рівних додатному

квадратному кореню сумі членів, причому члени є дисперсіями або по варіаціями цих двох величин зважених у відповідності з тим, як результат вимірювань змінюються в залежності від зміни цих величин.



Рисунок 1.2 – Класифікація невизначеності вимірювань

Відповідно до технічної літератури, визначення «розширена невизначеність» визначається як інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого знаходиться більша частина розподілу значень, які з достатньою підставою могли бути приписані вимірюваній величині.

Середнє значення x_i – це оцінка та стандартне відхилення середнього значення розраховуються статистичними методами (1.1).

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \\
 S(\bar{x}) &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

Якщо кількість показів достатньо велика (більше або дорівнює 10) тоді стандартне відхилення середнього значення вважається стандартною невизначеністю $u(x_i)$, яка відповідає значенням x_i величини X_i .

Кореляція. Значення x_i та x_j для двох величин X_i та X_j можуть бути корельованими. Це означає, що існує третя невідома величина, яка впливає на значення інших двох заданих величин $\nu_i = n - 1 \ll \infty$.

Емпірична коваріантність $S(\bar{x}_i, \bar{x}_j)$ характеризує ступінь кореляції двох середніх значень. Виходячи з емпіричних коваріантностей і двох відповідних дисперсій можна обчислити коефіцієнт кореляції (1.2). Число вимірювань повинно бути достатньо великим $n > 50$.

$$S(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)(x_{j,k} - \bar{x}_j)}{n(n-1)},$$

$$r(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \frac{S(\bar{x}_i, \bar{x}_j)}{S(x_i)S(x_j)} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)(x_{j,k} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{j,k} - \bar{x}_j)^2}}. \quad (1.2)$$

Складова невизначеності $u(\bar{x}_i, \bar{x}_j)$ визначається як добуток їх стандартних невизначеностей і коефіцієнту кореляції (1.3).

$$u(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = u(x_i)u(x_j)r(\bar{x}_i, \bar{x}_j) \quad (1.3)$$

При складанні звіту з метрологічних робіт щодо результату вимірювань фізичної величини необхідно подати кількісне значення якості результату так, щоб можна було вірно оцінити його надійність (рис. 1.3).

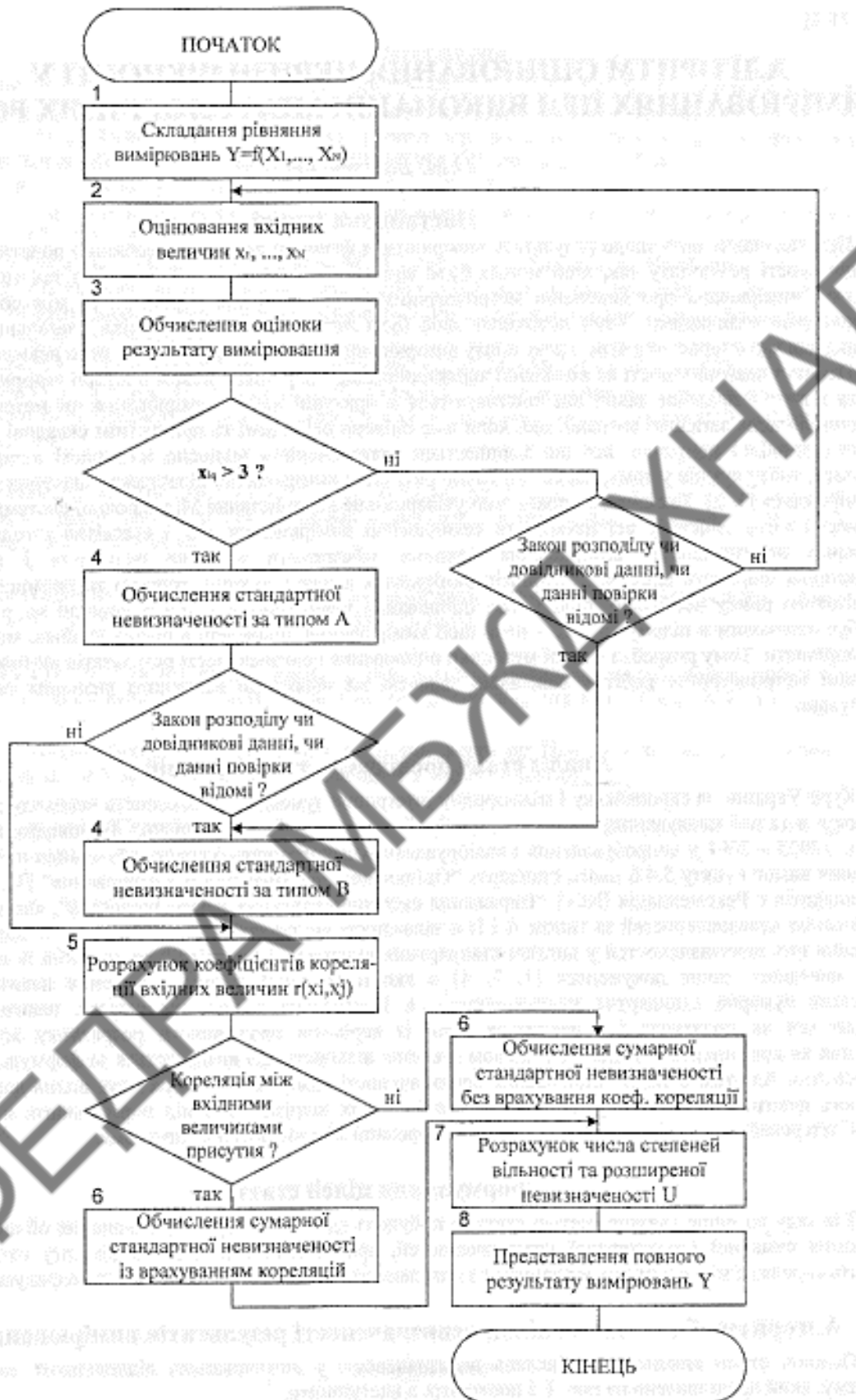


Рисунок 1.3 – Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт

1.3 Базовий алгоритм розрахунку невизначеності вимірювань

Цей алгоритм описаний у [4] та містить у собі наступні операції:

1. Модельне рівняння (1.4) виражає залежність між вихідною (вимірюваною) величиною Y та вхідними величинами X_1, X_2, \dots, X_m .

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m). \quad (1.4)$$

2. Значення вхідних величин знаходять за їх однократними або багатократними вимірюванням або з інших інформаційних джерел.

При багатократному вимірюванні – розраховують середнє арифметичне (1.5).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.5)$$

3. Оцінка вхідної величини у виражають через рівняння вхідної величини x_1, \dots, x_m (1.5) та записують у вигляді (1.6).

$$y = f(x_1, \dots, x_m). \quad (1.6)$$

4. Розрахунок стандартних невизначеностей вхідних величин. Стандартна невизначеність вимірювання типу A_i -ої вхідної величини x_i знаходиться за формулою (1.7).

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (1.7)$$

де n_i – кількість спостережень, котрі проводяться у процесі вимірювання x_i .

Стандартна невизначеність типу B_i -ої вхідної величини знаходяться у залежності від апріорної інформації про мінливість вхідної величини. Якщо i -та вхідна величина є невиключною систематичною похибкою з межами $\pm \theta$, тоді її невизначеність розраховується за формулою (1.8).

$$u_B(x_i) = \frac{\theta_i}{\alpha_i}, \quad (1.8)$$

де α_i - коефіцієнт, що відповідає прийнятому закону розподілення всередині меж невиключеної систематичної похибки: $\alpha = \sqrt{3}$ для рівномірного (або невідомого) закону розподілення; $\alpha = 2$ для нормального закону розподілення (для ймовірності $p = 0,95$); $\alpha = \sqrt{6}$ для трикутного закону розподілення; $\alpha = \sqrt{2}$ для закону арксинуса.

5. Розрахунок внеску невизначеності вхідної величини у невизначеність вимірюваної величини. Внесок невизначеності кожної вхідної величини у невизначеність вимірюваної величини $u_i(y)$ розраховують як добуток невизначеності вхідної величини $u(x_i)$ на коефіцієнт чуттєвості c_i (1.9).

$$u_i(y) = c_i u(x_i). \quad (1.9)$$

Коефіцієнти чуттєвості c_i показує залежність змін вихідної величини y від змін оцінок вхідних величин x_i . Їх знаходять як приватні похідні величини по кожній з вихідних величин (1.10).

$$c_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} = \left. \frac{\partial Y}{\partial X_i} \right|_{x_1, x_2, \dots, x_m}. \quad (1.10)$$

Таблиця таких похідних та правила диференціювання є у довідкових матеріалах.

6. Визначення стандартної невизначеності вихідної величини.

Визначається за формулами, котрі називають законом поширення невизначеності. За відсутності кореляції між вхідними величинами стандартна невизначеність вихідної величини визначається за формулою (1.11).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} = \sqrt{c_1^2 u^2(x_1) + c_2^2 u^2(x_2) + \dots + c_m^2 u^2(x_m)}. \quad (1.11)$$

7. Коефіцієнт охопту. Це просто число на яке множать стандартну НВ, щоб отримати розширену НВ. При рівні довіри 0,95 дорівнює двом. За наявності внесків невизначеності типу A , Керівництво з виразу невизначеності вимірювань (GUM) рекомендує брати у якості коефіцієнта охоплення коефіцієнт Стюдента для рівня довіри 0,95 або визначати за формулою (1.12).

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^m \frac{u_i^4(y)}{v_i}}. \quad (1.12)$$

Для прямих багатократних вимірювань (або для непрямих багатократних вимірювань з однією вхідною величиною, що вимірюється за типом A) з числом спостережень n ця формула може бути представлена у вигляді (1.13).

$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(y)}{u_A} \right]^4. \quad (1.13)$$

За відсутності внесків невизначеності типу A формула (1.13) дає безкінечність, тому коефіцієнт охоплення формально повинен дорівнювати коефіцієнту Стюдента. Однак таке значення коефіцієнту охоплення відповідає

випадку, коли значенню вимірюваної величини Y можна приписати нормальний закон розподілення (рис. 1.4), що є результатом впливу на нього більшої кількості факторів (джерел невизначеності).

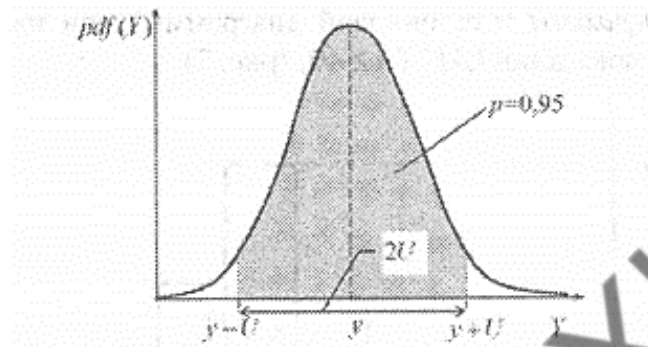


Рисунок 1.4 – Щільність розподілення ймовірності для нормального закону

Нормальний закон розподілення для ймовірності 100% має безмежні границі. Для обмеження інтервалу можливих значень Y за умови розширеної невизначеності використовують ймовірність (рівень довіри) $p=0,95$.

Якщо серед внесків невизначеності є домінуючий, розподілений за рівномірним законом, закон розподілення вихідної величини у такому випадку не можна рахувати нормальним. У такому випадку коефіцієнт охоплення можна взяти з табл. 1.1.

Відповідно до табл. 1.1, u_{B2} та u_{B1} - це відповідно значення найбільшого та другого за величиною внески невизначеності типу B .

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнтів охоплення для заданого співвідношення двох домінуючих рівномірно розподілених внесків невизначеності типу B

u_{B2}/u_{B1}	0–0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9–1,0
k	1,65	1,70	1,75	1,80	1,83	1,86	1,88	1,89	1,9

8. Розширена невизначеність U це добуток невизначеності вихідної величини та коефіцієнту охоплення (1.5).

$$U = k \cdot u_c. \quad (1.14)$$

9. Запис повного результату вимірювання. Повний результат вимірювання несе у собі оцінку вихідної величини та приписане їй значення розширеної невизначеності з вказанням рівня довіри (1.15).

$$Y = y \pm U, \quad p = 0,95. \quad (1.15)$$

Значення розширеної невизначеності указується з числом значенням цифр, не більше двох.

10. Складання бюджету невизначеності. Отримання у процесі реалізації базового алгоритму проміжного результату зручно представити у вигляді бюджету невизначеності (табл. 1.2), котрий включає у собі список усіх вхідних величин, їх оцінок разом з приписаними їм стандартні невизначеності вимірювань, коефіцієнтами чутливості та кількістю ступенів свободи.

Таблиця 1.2 – Бюджет невизначеності

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Кількість ступенів свободи	Коефіцієнт чутливості	Внесок невизначеності
X_1	x_1	$u(x_1)$	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	ν_2	c_2	$u_2(y)$
...
X_m	x_m	$u(x_m)$	ν_m	c_m	$u_m(y)$
Y	y	$u(y)$	ν_{eff}	k	U

Саме цей базовий алгоритм оцінки невизначеності вимірювань покладено в основу дослідження у дипломній роботі.

Висновки до розділу

Хоча поняття «невизначеності вимірювання» на законодавчому рівні з'явилося відносно нещодавно, а саме у 2014 році, але наразі подання результатів вимірювання відповідно до Закону України не може бути без включення інформації про невизначеність. Також не можна плутати поняття «невизначеності» та «похибки». Вони не замінюють один одного, а наразі існують разом.

При складанні звіту з метрологічних робіт щодо результату вимірювань фізичної величини необхідно подати кількісне значення якості результату так, щоб можна було вірно оцінити його надійність. Наразі це важлива умова для ведення підприємництва будь-якої галузі на національному та міжнародному ринку. Цього вимагають Закон України та міжнародні стандарти.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

2 СПРОЩЕНА МОДЕЛЬ ЛІНІЙНИХ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Достовірна інформація – запорука безпеки та стабільності функціонування всього підприємства. У роботі будемо розглядати саме датчики тиску (ДТ), як складову вимірювальної інформаційної системи.

Тиск – важливий параметр технологічного процесу будь-якої галузі. Для достовірності вимірювальної інформації збільшують кількість ДТ. Їх кількість може становити від двох до шести на невеликих підприємствах і понад 50 – на атомних електростанціях або подібних по масштабності підприємствах. Визначення істинного значення вимірювання за умови невеликої різниці між показами тиску в різних датчиках – є простою задачею, але у разі істотних відмінностей – процес стає невизначеним.

Також треба враховувати, що на вхід датчиків потрапляють нестационарні вхідні дії. Тому є актуальним створення дієвої моделі багатоканальної вимірювальної системи.

2.1 Аналіз літератури щодо моделей багатоканальної вимірювальної системи.

Модель вимірювального каналу можна описати рядами Вольтерра [5-6]. Цей метод може використовуватись для аналізу лінійних та нелінійних інерційних систем, однак є надзвичайно складною для практичного застосування в реальному часі.

Більш простою у використанні є модель вимірювального каналу є віртуальним послідовним з'єднанням лінійного інерційного та нелінійного неінерційного блоків (модель Вінера) або нелінійного неінерційного та лінійного інерційного блоків (модель Гаммерштейна), яка розглядається в багатьох роботах, наприклад в [7].

Модель Гаммерштейна представляє собою віртуальне послідовне з'єднання нелінійної неінерційної (без пам'яті) та лінійної інерційної (з пам'яттю) блоків (рис. 2.2).

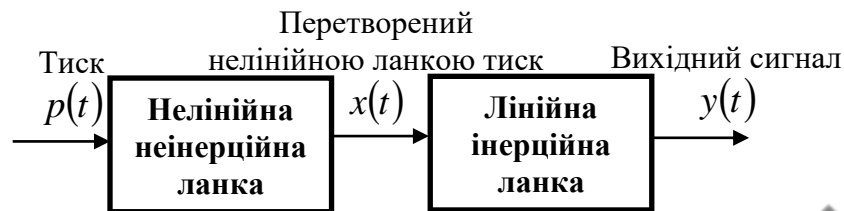


Рисунок 2.1 – Вимірювальний канал тиску, представлений блочно-орієнтованою моделлю Гаммерштейна

Дослідження таких систем та придатність їх для опису вимірювальних інформаційних систем представлені у [13]. Відповідно до [14] у програмному пакеті MATLAB досліджувались дві моделі: Вінера і Гаммерштейна. Їх різниця лише у порядку ланок нелінійності та інерційності. Було встановлено, що найбільший вплив на відновлення сигналу на вхід каналу та на ідентифікації всього каналу має постійна часу. При великих значеннях постійної часу каналу необхідність застосування моделей Вінера або Гаммерштейна необхідно додатково обґрунтовувати.

Методи аналізу таких систем щодо вимірювальних каналів розглянуто в [5]. У багатоканальній вимірювальній системі датчики в діапазоні робочого тиску зазвичай здійснюють функцію перетворення яка є майже лінійною. Таким чином зв'язок між вихідним та вхідним сигналами датчика визначається інтегральним рівнянням згортки.

Вхідні сигнали датчиків є реалізаціями випадкових процесів тиску. Вони бувають простішими і складнішими. Простіші – стаціонарні процеси. Окремий вид – білі гауссівські шуми [7]. Вони використовуються для визначення постійних часу датчиків на складних технічних об'єктах.

На реальних об'єктах більш складні вхідні дії: нестационарні випадкові процеси. Вимірювальні аспекти таких моделей розглянуто в [9].

Відповідно до аналізу літератури, існує безліч методів та моделей ідентифікації систем та відновлення сигналу на вхід. Але всі ці методи реалізовані лише для лінійних та мало інерційних систем.

2.2 Теоретичне підґрунтя апроксимації рівняння згортки

Процес отримання вхідної реалізації випадкового процесу датчиком, що представляє собою лінійну інерційну систему можна зобразити схемою, що представлена на рис. 2.2.

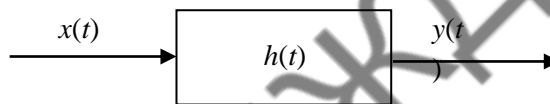


Рисунок 2.2 – Схема представлення зв'язку між вхідною та вихідною реалізацією випадкового процесу лінійної інерційної системи

Відповідно до рис. 2.2, на вхід датчика поступає вхідна реалізація випадкового процесу $x(t)$. На виході датчика отримуємо вимірювальний вихідний сигнал $y(t)$. Датчик характеризується імпульсною характеристикою $h(t)$, що часто є незмінною у таких системах.

Вхідна дія, що надходить на вхід датчика $x(t)$ внаслідок інерційності датчика буде відрізнятися від вихідного сигналу $y(t)$. Виразимо теоретичний вихідний сигнал за допомогою рівняння згортки (2.1).

$$y_T(t) = \int h(t - \tau) \cdot x(t) dt, \quad (2.1)$$

де $y_T(t)$ - відомий вихідний сигнал, теоретичний;

$h(t)$ - імпульсна характеристика датчика;

$x(t)$ - реалізація вхідної дії датчика;

τ - постійна часу датчика.

Теоретично, можливо замінити інтеграл згортки на часову функцію (2.2).

$$y_M(t) \approx x(t) \cdot a(t), \quad (2.2)$$

де $a(t)$ - невідома часова функція.

Рівняння (2.2) описує модельний вхідний сигнал $y_M(t)$ і воно є простішим ніж рівняння (2.1). Вважаємо, що $y_M(t) = y_T(t)$. Задача полягає у визначенні невідомої тимчасової функції $a(t)$.

Для цього вважаємо, що сигнали $x(t)$ та $y(t)$ є відомими з певною точністю за умови, що $x(t)$ визначений методом розв'язання оберненої задачі вимірювань [13] або з експериментальних досліджень [14].

Таким чином маємо три вихідних сигнали:

- вихідний сигнал $y(t)$, що отриманий експериментально (виміряний);
- вихідний теоретичний сигнал $y_T(t)$, визначений за допомогою рівняння згортки (2.1);
- вихідний теоретичний сигнал $y_M(t)$, визначений за допомогою наближеного співвідношення (2.2).

Вихідний теоретичний сигнал $y_T(t)$ важко отримати з допустимою точністю, адже для цього необхідно мати повну інформацію про імпульсну характеристику датчика. Таким чином методика зводиться до порівняння сигналів виміряного вихідного сигналу $y(t)$ та вихідного теоретичного сигналу $y_M(t)$, визначеного за допомогою наближеного співвідношення (2.2). Порівняння вихідних сигналів зводиться до мінімізації відстані між вихідними сигналами у функціональному просторі з квадратичною метрикою (2.3).

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - y_M(t)]^2 dt, \quad (2.3)$$

де J - число, яке вказує відстань у функціональному просторі.

Відповідно до теореми Карунена-Лоева [15] часова функція $a(t)$ є невідомою, тому розкладаємо її в ряд (2.4) у вигляді добутків невідомих коефіцієнтів α_i та відомих ортогональних функцій $\psi_i(t)$.

$$a(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \cdot \psi_i(t). \quad (2.4)$$

У виразі (2.4) випадкові коефіцієнти α_i цього ряду невідомі, а функції $\psi_i(t)$ є ортонормованими базисними та вибираються дослідником. Отже, щоб визначити часову функцію, треба оцінити коефіцієнти α_i ряду (2.4).

У математичній постановці задача оцінки невідомих коефіцієнтів α_i зводиться до проблеми мінімізації функціоналу (2.5).

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \left[y(t) - \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \cdot \psi_i(t) \right]^2 dt. \quad (2.5)$$

Функціонал (2.5) отриманий з урахуванням виразів (2.4) та функціоналу (2.3.).

Функціонал описує відстань в функціональному просторі з квадратичною метрикою між вимірним сигналом $y(t)$ та цим же сигналом, який розрахований теоретично $y_M(t)$, визначеного за допомогою наближеного співвідношення (2.2) з використанням розкладання часової функції в ряд з невідомими випадковими коефіцієнтами.

Реалізація імпульсної характеристики моделюється на комп'ютері.

Отже, вираз (2.5) це різниця між відомим вихідним сигналом і його апроксимацією. При відомому вхідному сигналі датчика функціонал включає n невідомих коефіцієнтів α_i ряду (2.4).

Часова функція знаходиться через визначення всіх невідомих коефіцієнтів і параметрів. У літературі [16] стверджується, що краще такі задачі вирішувати за допомогою генетичного алгоритму [16]. Але такі моделі складно використовувати у реальному масштабі часу.

Для реалізації методу та налаштування генетичного алгоритму будемо використовувати програмний пакет MATLAB.

2.3 Результати математичного моделювання

Проведення математичного моделювання з метою перевірки адекватності запропонованої методики вимагає знання про $y(t)$. Для отримання узагальнюючих висновків простіше в функціоналі (2.6) замість сигналу $y(t)$ використовувати теоретичний сигнал $y_T(t)$. Останній можна промоделювати для різних $x(t)$ та видів імпульсної характеристики системи.

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \left[y(t) - \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \cdot \psi_i(t) \right]^2 dt. \quad (2.6)$$

Дослідження проводились для двох різних заданих імпульсних характеристик (2.7) та (2.8).

$$h_1 = k \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (2.7)$$

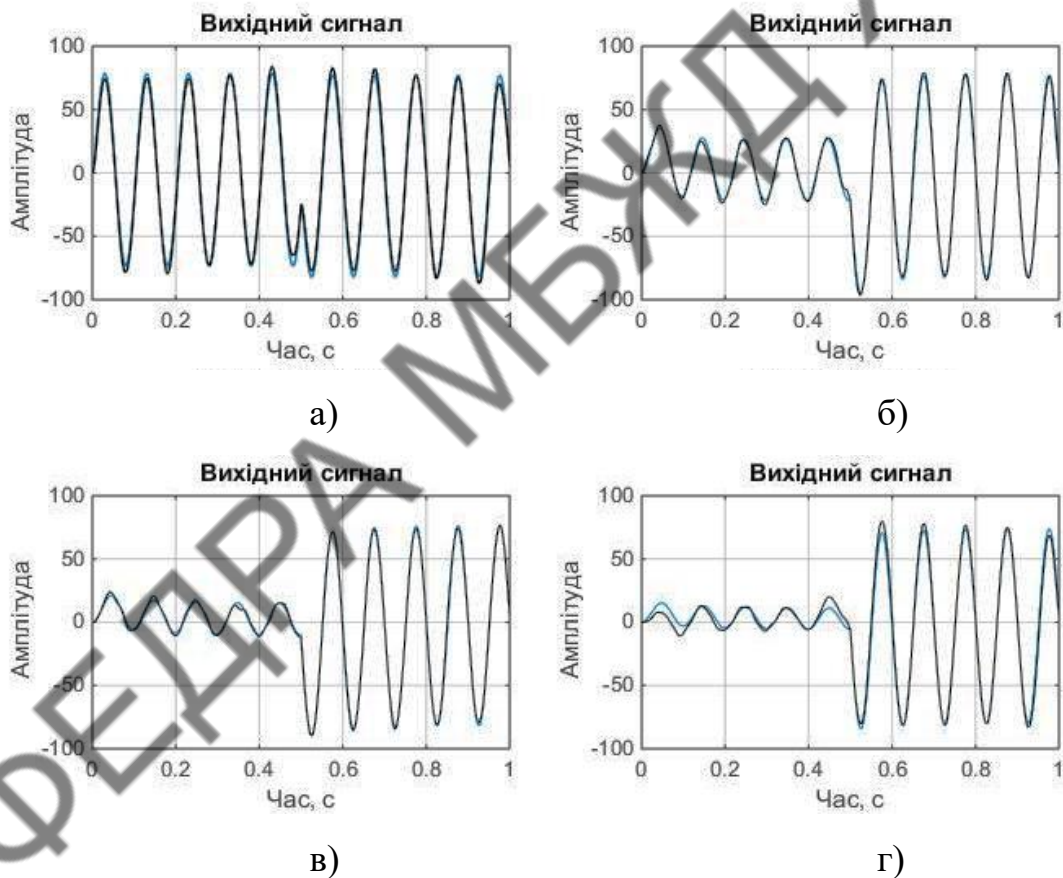
$$h_2 = \left(\frac{1}{\tau} \right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2.8)$$

де k - довільний коефіцієнт (1, 2,...);

τ_0 - постійна часу лінійної інерційної системи.

Розрахунки проводились за умови відсутності похибок вимірювання вхідного та вихідного сигналів датчика.

Для оцінки адекватності запропонованої методики у якості найпростішого опорного або тестового сигналу був використаний гармонічний сигнал. У результаті отримуємо, що вихідні сигнали $y_T(t)$ та $y_M(t)$, розраховані за формулами (2.1) та (2.2), є близькими для різних постійних часу. Результати представлені на рис. 2.3 та на рис. 2.4.



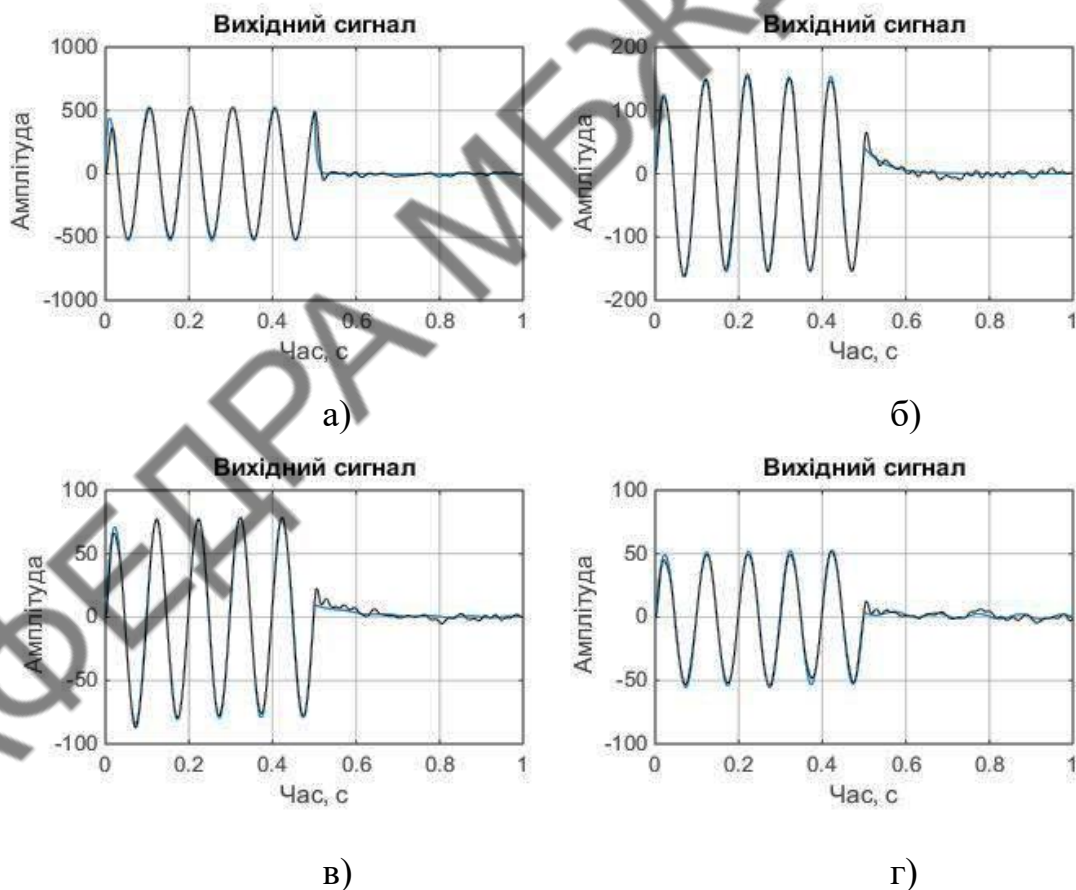
а) $\tau_0 = 0,01$ с; б) $\tau_0 = 0,1$ с; в) $\tau_0 = 0,2$ с; г) $\tau_0 = 0,3$ с

Рисунок 2.3 – Приклад порівняння вихідних сигналів (гармонічний сигнал) $y_T(t)$ та $y_M(t)$ при заданій h_1 для різних значень постійної часу системи τ_0

З порівняння зазначених сигналів розрахована відносна різниця між сигналами для різних лінійних інерційних систем та коефіцієнт кореляції між ними, що відображено у табл. 2.1 та табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Результати залежності найбільшої відносної різниці між сигналами (гармонічний сигнал) $y_T(t)$ та $y_M(t)$ при заданій h_1 для різних значень постійної часу системи τ_0

Задане значення постійної часу, τ_0 , с	Максимальна різниця ϵ_{\max} , кПа	Коефіцієнт кореляції між $y_T(t)$ та $y_M(t)$, r
0,01	0,087	0,998
0,1	0,092	0,997
0,2	0,096	0,995
0,3	0,094	0,994



а) $\tau_0 = 0,01$ с; б) $\tau_0 = 0,1$ с; в) $\tau_0 = 0,2$ с; г) $\tau_0 = 0,3$ с

Рисунок 2.4 – Приклад порівняння вихідних сигналів (гармонічний сигнал) $y_T(t)$ та $y_M(t)$ при заданій h_2 для різних значень постійної часу системи τ_0

Таблиця 2.2 – Результати залежності найбільшої відносної різниці між сигналами (гармонічний сигнал) $y_T(t)$ та $y_M(t)$ при заданій h_2 для різних значень постійної часу системи τ_0

Задане значення постійної часу, τ_0 , с	Максимальна різниця ε_{\max} , кПа	Коефіцієнт кореляції між $y_T(t)$ та $y_M(t)$, r
0,01	0,286	0,989
0,1	0,309	0,997
0,2	0,157	0,997
0,3	0,103	0,996

Не треба забувати про смугу пропускання. Адже задовільні результати ми отримуємо при смузі пропускання датчика набагато більшій, ніж ширина спектру сигналу.

Для експерименту збільшимо ширину спектру сигналу Df_C та звизимо смугу пропускання датчика Df_D .

Результати наступних досліджень наведені саме для такого прикладу, коли $Df_C > Df_D$. Числові значення представлені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати залежності найбільшої похибки між сигналами $y_T(t)$ та $y_M(t)$ від постійної часу при заданій h_1 для суми гармонічних сигналів з білим шумом з урахуванням ширини спектру вхідного сигналу

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

Для візуального порівняння наведемо декілька прикладів, що зображені на рис. 2.5 та на рис. 2.6.

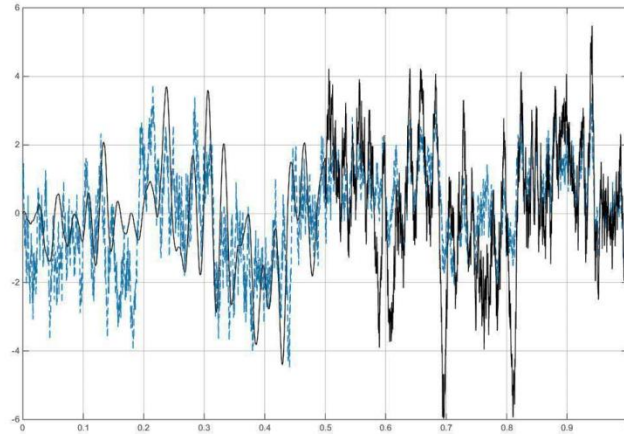


Рисунок 2.5 – Приклад порівняння вихідних сигналів (сума синусів з шумом) розрахованих за формулами відповідно (2.1) та (2.2) при заданих значеннях: h_1 , $\tau_0=3$ с, та $Df_C=1600$ Гц

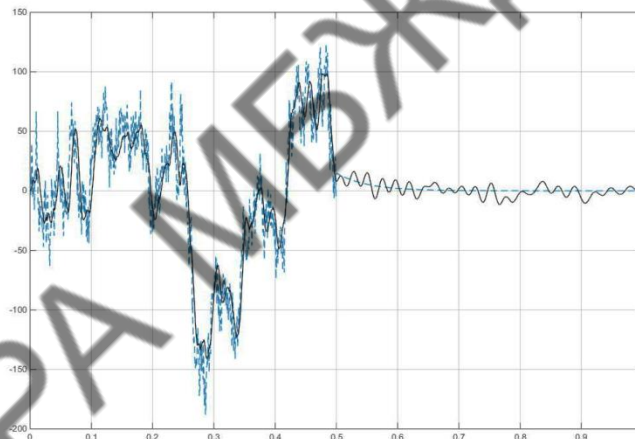


Рисунок 2.6 – Приклад порівняння вихідних сигналів (сума косинусів з шумом) розрахованих за формулами відповідно (3.1) та (3.2) при заданих значеннях h_1 , $\tau_0=0,1$ с, та $Df_C=800$ Гц

Відповідно до отриманих числових значень у таблиці та наочного матеріалу, що отриманий за допомогою побудованих у MATLAB графіків можна зробити висновок, що розузгодження ширини смуги пропускання датчика та ширини спектру сигналу значним чином впливає на коефіцієнт кореляції між вихідними сигналами, що розраховані відповідно формул (2.1) та

(2.2). Але, математичні розрахунки показали, що метод працює і дає більш ніж задовільні результати при умові навіть тоді, коли ширина спектру сигналу перевищує ширину смуги пропускання у три рази (відповідно, при меншому відношенні розузгодження результати ще кращі).

Висновки до розділу

Проведені дослідження у розділі дослідження дали основу зробити наступні висновки:

- похибки апроксимації теоретичних вихідних сигналів, розрахованих за допомогою спрощеної моделі та інтегралу згортки не перевищують одного відсотка;
- коефіцієнти кореляції між зазначеними сигналами, як правило, перевищує 0,95;
- істотної залежності приведених раніше показників від постійної часу системи не спостерігається;
- закономірностей в поведінці похибок апроксимації та коефіцієнта кореляції в залежності від постійної часу не виявлено, що обумовлено роботою генетичного алгоритму, результати якого носять випадковий характер.

Досліджувана спрощена модель лінійного інерційного каналу дозволяє отримати вхідний сигнал, що практично співпадає з вихідним сигналом.

3 МЕТОДИКА ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ЛІНІЙНИХ ІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ

Відповідно до другого розділу, зрозуміло що найбільший вплив на вихідний сигнал мають постійна часу датчика, ширина пропускання датчика та вид сигналу.

Відповідно до підрозділу 1.3 і базовому алгоритму розрахунку невизначеності вимірювань маємо наступні результати у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує рівний до ступеню поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення Постійної часу	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,01	0,01	6,1021e-11	1	0,0114
0,1	0,098	6,475e-10	1	0,1472
0,2	0,21	3,0081e-09	1	0,2256
0,3	0,32	5,6652e-10	1	0,2476
		Дисперсія вимірюваного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	1,1142e-18

Як зазначено у [2], реальні вимірювальні канали тиску на техногенно небезпечних об'єктах найчастіше представляють собою нелінійні інерційні вимірювальні інформаційні системи.

Відповідно до другого розділу, найпридатнішою для використання є блочно-орієнтована модель Гаммерштейна, у якій послідовно з'єднані нелінійний неінерційний блок та лінійний інерційний блок [2].

Припустимо, що на вхід нелінійного неінерційного блоку поступає невідома вхідна дія, наприклад, тиск $p(t)$. Цю невідому вхідну дію у математичному вигляді при відомій функції перетворення нелінійної ланки

вимірювального каналу тиску можна описати поліномом (3.1). Таким чином отримуємо вхідний сигнал на вході лінійного інерційного блоку $x(t)$.

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t) + \dots + a_{n-1} p^{n-1}(t), \quad (3.1)$$

де a_i - відомі коефіцієнти нелінійної функції перетворення вимірювального каналу тиску.

Відомо, що вихідний сигнал лінійного інерційного блоку $y(t)$ зв'язаний з вхідним сигналом інерційного блоку $x(t)$ інтегралом згортки (3.2).

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau, \quad (3.2)$$

де $h(t)$ - імпульсна характеристика лінійного інерційного блоку.

Модельний підхід у [2] використовується для обчислення невизначеності вимірювань вхідного сигналу $p(t)$. Рівняння (3.1) та (3.2) – рівняння вимірювань або модельні рівняння.

Для практичного використання, найбільшу цікавість для спостерігача має реалізація вхідного сигналу $p(t)$, а не $y(t)$, що вимірюється. Адже саме $p(t)$ несе інформацію про технологічний процес або вимірюваний об'єкт. Таким чином, необхідно розв'язувати обернену задачу вимірювань. Задача вирішується у два етапи.

На першому етапі розв'язуємо обернену задачу вимірювань для лінійного інерційного блоку моделі Гаммерштейна згідно відомого методу, що описаний у [3]. У результаті отримуємо вхідний неспостережуваний сигнал лінійного інерційного блоку $x(t)$. Він же є і вихідним сигналом нелінійного неінерційного блоку.

На другому етапі, використовуючи описаний у [4] метод обчислення поліноміальних a_i , ($i = \overline{1, n}$), що описують нелінійну функцію перетворення першого блока моделі Гаммерштейна (3.3). Вхідна дія $p(t)$ наразі залежить від коефіцієнтів a_i , a_j та імпульсної характеристики $h(t)$.

$$p(t) = f(a_i, a_j, h(t)), \quad (3.3)$$

де a_j , $j = \overline{1, m}$ - коефіцієнти ряду Карунена-Лоева по базису з ортогональних функцій, у який розкладено вихідний сигнал нелінійного неінерційного блоку $x(t)$.

За достатньої кількості вхідних реалізацій, можливо отримати оцінку кожного коефіцієнту, що виражена через математичне очікування та дисперсію, що вважаються стандартною невизначеністю коефіцієнтів - $u(a_i)$, $u(a_j)$ та імпульсної характеристики $h(t)$.

Перші дві невизначеності належать до типу A , а невизначеність імпульсної характеристики – до типу B . Таким чином стає можливим оцінити невизначеність вимірювань вхідної дії згідно стандартного метода, що складається з восьми кроків [5].

У деяких випадках, якщо постійна часу другого блоку моделі надто мала (тобто блок майже без пам'яті), то система стохастичних диференціальних рівнянь оцінки тиску $\hat{p}(t)$ та його дисперсії $\sigma_p^2(t)$ розраховуються на основі рівняння Стратоновича [6]. Використовуючи це рівняння, можна обчислити оцінку максимуму апостеріорної ймовірності тиску. Вона також приймає до уваги апіорну щільність ймовірності. Відношення дисперсії $\sigma_p^2(t)$ до апіорної дисперсії $\sigma_{apr}^2(t)$ може вважатися за коефіцієнт чутливості. Чим менший

коефіцієнт чутливості, тим менше значення невизначеності вимірювань $y(t)$ та $p(t)$.

Розглянемо випадок, коли необхідно визначити невизначеність вимірювань вхідного сигналу першого блоку моделі Гаммерштейна (нелінійного неінерційного). Треба зазначити, що вплив зовнішніх чинників, таких як погода, людський фактор, зовнішні та внутрішні вібрації та інших може бути представлений як білий шум, що додається до вхідного сигналу. Також будемо вважати, що нелінійність першого блоку представлена поліномом n -го ступеня (3.4).

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0. \quad (3.4)$$

Відповідно до (3.4) невизначеність вимірювань представляє собою суму невизначеності відновлених коефіцієнтів. Оскільки ця невизначеність може бути оцінена чисельними методами (за допомогою математичної статистики), то вона, згідно з [1], класифікується як невизначеність типу A .

Для цього випадку можна створити таблицю, що має назву «бюджет невизначеності», відповідно до [1]. Така таблиця дозволяє наочно показати вплив невизначеності кожного коефіцієнту вимірювальної системи на загальну невизначеність вимірювань.

Оскільки напряму неможливо оцінити коефіцієнти нелінійного поліному, то єдиний можливий спосіб вирішити цю задачу – це чисельна оцінка. Оскільки вхідний сигнал є випадковим процесом, тому є можливим зібрати декілька його реалізацій та використати статистичні методи, щоб оцінити невідомі коефіцієнти. У роботі використаний метод максимальної правдоподібності, щоб отримати значення коефіцієнтів.

Для вирішення задачі знаходження значень коефіцієнтів для заданої реалізації сигналу пропонується використовувати метод найменших квадратів.

Метод найменших квадратів (або найменші лінійні квадрати) – це метод оцінки невідомих параметрів у моделі. Ідея методу полягає у мінімізації функції, що описує різницю між цільовою функцією та функцією, що є наближенням цільової функції, параметри якої необхідно оцінити. Загальна формула методу найменших квадратів представлена виразом (3.5).

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i (y_i - f_i(x))^2 \rightarrow \min_x, \quad (3.5)$$

де y_i - функція, що наближається;

$f_i(x)$ - функція, параметри якої необхідно оцінити;

e_i - різниця між функцією, що наближається та її оцінкою у точці x .

При застосуванні методу найменших квадратів отримуємо вираз (3.6).

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i (y_i - f_i(x))^2 \rightarrow \min_x, \quad (3.6)$$

де a_i - невідомі коефіцієнти;

$y(x_i)$ - значення сигналу у момент часу x_i .

Використовуючи рівняння (3.6) є можливість чисельним методом оцінити значення для кожного a_i .

Чисельні експерименти були проведені з використанням змодельованої реалізації вхідного сигналу у середовищі MATLAB, який представляє собою суму косинусів з додаванням білого гаусівського шуму (рис. 3.1). Відношення сигнал-шум становить 10^{-5} (тобто сигнал має досить велику частку шуму).

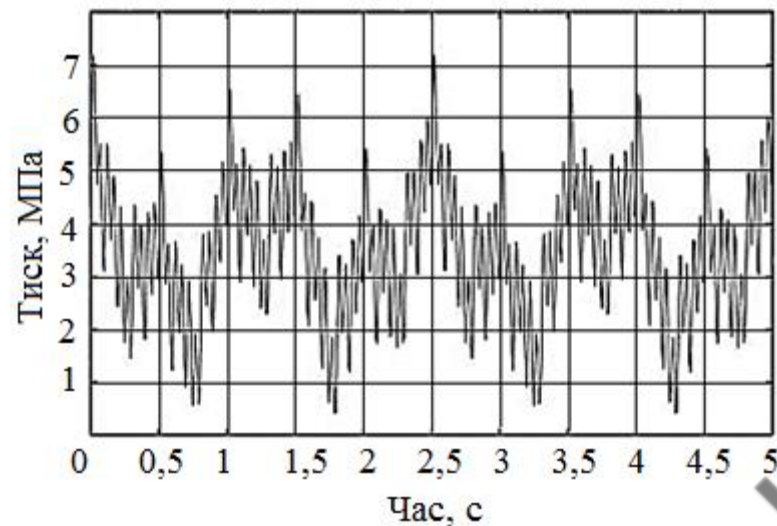


Рисунок 3.1 – Приклад реалізації вхідного сигналу у вигляді суми гармонічних та з додаванням гаусівського білого шуму

Дослідження та аналіз було проведено для наступних випадків, а саме, коли:

1. Ступінь поліному, що наближує **рівний** до ступеню поліному, що описує нелінійність (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує рівний до ступеню поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,3	0,3	6,1021e-11	1	0,3514
5	5	6,475e-10	1	10,472
0,02	0,0201	3,0081e-09	1	3,1077e-05
0	4,9211e-07	5,6652e-10	1	1,5934e-12
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	1,1142e-18

2. Ступінь поліному, що наближує, **більший на 5** за ступінь поліному, що описує нелінійність (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує, більший на 5 за ступінь поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,3	0,0013	5,6782e-05	1	3,8513
5	0,0121	5,4602e-04	1	0,3329
0,02	-0,07	0,0183	1	14,7584
0	-0,158	0,1156	1	1,0575
-	0,7624	0,4815	1	7,8675
-	0,4746	0,9572	1	0,0302
-	2,4761	0,5929	1	2,8448
-	1,8559	0,7117	1	0,1365
-	3,2617	0,4845	1	0,5019
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	0,0717

3. Ступінь поліному, що наближує, **більший на одиницю** за ступінь поліному, що описує нелінійність (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує, більший на одиницю за ступінь поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
-	-2,88e-06	4,9303e-12	1	4,3898e-10
0,3	0,3	1,8170e-10	1	0,3899
5	5,0001	3,7883e-09	1	10,2094
0,02	0,0201	2,4549e-09	1	3,2411e-05
0	-9,7556e-05	7,44789e-09	1	5,0063e-11
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	5,3930e-18

4. Ступінь поліному, що наближує, **менший на одиницю** за ступінь поліному, що описує нелінійність (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує, менший на одиницю за ступінь поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,3	5,0953	0,0121	1	8,3752
5	1,5873	0,0143	1	0,2302
0,02	-0,0352	0,0299	1	0,0015
0	-		-	5,0063e-11
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	5,4474e-05

Висновки до розділу

Відповідно до дослідів, спрощена модель багатоканальної інформаційної системи, яка є лінійною і інерційною, дуже гарно себе проявила у відновленні сигналу на вхід системи. Дослідження проводились з різними видами сигналів: простими та більш складними з шумами. Навіть відповідно до стаціонарного сигналу вона проявила себе більш-менш позитивно.

Результати були записані до банку даних, що показують проміжні результати невизначеності вимірювань відповідно до базового алгоритму запису невизначеності.

Тому в ході досліджень було прийняте рішення дослідити систему, якщо б вона була нелінійною та інерційною. Отримані результати можна використовувати лише для наукових цілей. Метод потребує доробок.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИБАДАМИ ТИСКУ

Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» регламентує правові, економічні, соціальні та організаційні основи діяльності, котрі пов'язані з об'єктами підвищеної небезпеки. У Законі відображається діяльність політики держави, котра спрямована на захист життя та охорону здоров'я людей та довкілля. Політика держави спрямована на попередження та захист від шкідливого впливу аварій на таких об'єктах, на обмеження (локалізації) розвитку і ліквідації наслідків.

Закон України називає «об'єктом підвищеної небезпеки» той об'єкт, на якому використовується, виготовляється, переробляється, зберігається або транспортується одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

Відповідно до типу аварій, причинами яких можуть стати об'єкти підвищеної небезпеки, такі об'єкти класифікуються за групами:

– група 1 (вибух). До цієї групи відносяться об'єкти підвищеної небезпеки, що містять на своїй території, зберігають, використовують у технологічному процесі наступні займісті речовини: легкозаймісті гази, займісті речовини, вибухові речовини, речовини-окисники, вибухонебезпечні та токсичні гази;

– група 2 (пожежа). До цієї групи відносяться об'єкти підвищеної небезпеки, що містять на своїй території, зберігають, використовують у технологічному процесі наступні займісті речовини: легкозаймісті гази, займісті речовини, вибухові речовини, речовини-окисники, а також речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів;

– група 3 (шкідливі для навколишнього середовища, прилеглих територій та людей, що проживають на них). До цієї групи відносяться об'єкти підвищеної небезпеки, що містять на своїй території, зберігають, використовують у технологічному процесі наступні речовини: токсичні та високотоксичні речовини, небезпечні та високотоксичні речовини для водних організмів, речовини, що можуть становити довготривалий небезпечний вплив на водне середовище, а також речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів.

Відповідно до реєстру відомостей про об'єкти підвищеної небезпеки на офіційному сайті «Державної служби України з питань праці» на 2020 р. зареєстровано 23 таких об'єкта у Харківській області з класом підвищеної небезпеки 2, серед яких: автозаправні станції (наприклад, ТОВ «ЕЛ ПІ ДЖІ РІТЕЙЛ»), газові господарства та виробничий цех (наприклад, ТОВ «НЬЮТОН-ПРОМСЕРВІС»), паливно-мастильні матеріали (наприклад, ТОВ «Біолак»), аміачна холодильна установка (наприклад, Фермерського господарства «КЕГИЧІВСЬКЕ»). У реєстрі не враховується та наявна велика кількість робіт, машин, механізмів і обладнання, котрі відносяться до небезпечних.

Відповідальність за порушення нормативних документів спрямованих на державну політику з охорони праці, створення перешкод для діяльності державних контролюючих органів у сфері діяльності, котра пов'язана з об'єктами підвищеної небезпеки є у вигляді притягнення винних осіб до усіх видів відповідальності згідно із Законом «Про охорону праці» [16]:

– дисциплінарна відповідальність – догана з подальшим звільненням з місця роботи;

– адміністративна відповідальність – штраф, що не перевищує 5 % від місячної заробітної плати юридичної чи фізичної особи. У разі несплати – нараховується пеня у розмірі 2 % від суми штрафу за кожний прострочений день. Рішення про штраф може бути оскаржене у судовому порядку на протязі місяця;

- матеріальна відповідальність – регламентується Кодексом законів про працю в Україні;
- кримінальна відповідальність – регламентується Кримінальним кодексом України.

Також, доцільним буде розглянути роботу в умовах впливу шкідливих та небезпечних виробничих чинників, так як диплом присвячений таким об'єктам.

До такого типу робіт відносяться роботи, що пов'язані з обслуговуванням, управлінням, застосуванням технічних засобів праці або технологічних процесів, котрі характеризуються підвищеним ступенем ризику виникненням надзвичайних ситуацій: аварій, пожеж, ситуації, що загрожують життю та/або заподіяння шкоди здоров'ю, майну, довкіллю.

До початку проведення таких робіт крім звичайних заходів безпеки необхідно додатково здійснити низку обов'язкових організаційних та технічних заходів, котрі розробляються та погоджуються для кожної для певної виробничої операції для забезпечення особливого порядку допуску працівників і високу узгодженість їх дій.

До таких робіт відносяться роботи, що пов'язані з монтажем та демонтажем великогабаритних об'єктів, верхолазні скелелазінні та водолазні роботи, газонебезпечні роботи та роботи у вибухо- та пожежонебезпечних зонах та інші подібні види робіт.

Для безпечного проведення необхідно керуватися НПАОП 0.002.0105 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою» та «Перелік робіт, де є потреба у професійному доборі».

У випадку виникнення надзвичайних ситуацій, потрібно дотримуватися Плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій.

Метою такого Плану є планування дій персоналу підприємства стосовно локалізації та ліквідації аварій і полегшення їх наслідків.

До складу такого Плану відносяться:

- аналітична частина. Проводиться аналіз небезпек, можливих аварій та їх наслідків;

– оперативна частина. Порядок взаємодії та дій персоналу, спецпідрозділів та населення в умовах аварійних ситуацій. Зміст оперативної частини змінюється у відповідності до ситуації.

Так як найнебезпечнішими технічно складними об'єктами є електростанції, то доцільно розглянути норми та засоби захисту від іонізуючого випромінювання.

Граничні норми іонізуючого випромінювання регламентовані Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [12]. Саме у цих Нормах регламентовані граничні значення допустимих рівнів іонізуючого випромінювання, як для однієї людини, так і для всього підприємства або суспільства взагалі.

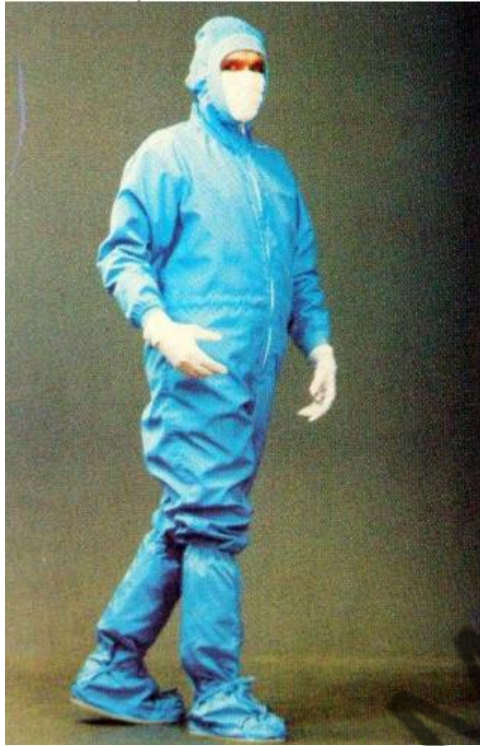
За масштабом аварії радіаційного характеру поділяються на:

- промислові. Це такі аварії радіаційного характеру, наслідки яких не поширюються за межі території технічно складного об'єкту, радіаційне опромінення може отримати лише персонал об'єкту;
- комунальні. Це такі аварії радіаційного характеру, наслідки яких поширюються за межі території технічно складного об'єкту. Радіаційне випромінювання поширюється на навколишнє середовище, прилеглі території та людей, що проживають на них.

До методів захисту від іонізуючого випромінювання відносять:

- застосування робітниками засобів індивідуального захисту (рис. 4.2).
- застосування джерел з мінімальним іонізуючим випромінюванням;
- скорочення трудового дня або робочого часу з джерелами іонізуючого випромінювання;
- екранування джерел іонізуючого випромінювання;
- екранування робочої зони, у якій знаходиться людина;
- упровадження санітарно-гігієнічних заходів. Санітарно-гігієнічні вимоги щодо забезпечення безпеки персоналу, населення і навколишнього середовища регламентуються відповідними нормативно-правовими актами;

- упродовження лікарсько-профілактичних заходів;
- упродовження заходів організаційного характеру для забезпечення захисту робітників, що контактують з відкритими та закритими джерелами іонізуючого випромінювання.



а)



б)

а) комплект одягу для захисту від радіоактивного забруднення відповідно до ДСТУ ISO 8194-2001; б) комплект спецодягу для застосування на об'єктах атомної енергетики відповідно до ТУ У 35661375.015-99 та ТУ У 35661375.014-99

Рисунок 4.2 – Комплекти захисного одягу на атомних електростанціях відповідно до нормативних документів

Суворе дотримання персоналом режиму зон – це основний принцип забезпечення радіаційної безпеки.

Усі технологічні процеси, які проводяться на атомній електростанції повинні бути максимально дистанційними та ізольовані від людської діяльності: управління технологічним процесом повинно здійснюватися

роботами, усі процеси повинні бути максимально автоматизованими та механізованими.

Управління процесами необхідно здійснювати із захищених пультів, обладнаних засобами зв'язку і спостереження.

4.1 Вимоги до процедури вимірювання тиску

Політика держави полягає у забезпеченні нормальних умов експлуатації та запобіганні аварійних ситуацій, що є наслідком вибухів посудини, апаратів та трубопроводів, що працюють під тиском. Ці питання регулюються НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Також усі ці процеси регламентовані певними Інструкціями відповідно до Закону України «Про охорону праці» [16].

У технологічних процесах виробництва та при експлуатації машин та установок використовуються системи, у яких під тиском знаходяться стислі гази або рідини, у тому числі вибухо-, пожежонебезпечні та токсичні. Тиск у таких системах може досягати 15 МПа і вище.

У відповідності до «Правил оснащення та безпеки експлуатації, що працюють під тиском» до судів, що працюють під тиском, відносяться:

- герметично закриті ємності, що застосовуються для впровадження хімічних та теплових процесів, а також для зберігання та перевезки стислих газів та рідин;
- суди, що працюють під тиском води з температурою вище 115 °С або іншою рідиною з температурою, що перевищує температуру кипіння при тиску 0,07 МПа без урахування гідростатичного тиску;
- суди, що працюють під тиском пару та газу вище 0,07 МПа;
- балони, що призначені для транспортування та зберігання стислих та розчинних газів під тиском вище 0,07 МПа;

– цистерни і бочки для транспортування та зберігання стислих та рідких газів, тиск парів яких при температурі до 50 °С перевищує тиск 0,07 МПа.

Посудина – герметично закрита ємність, призначена для ведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання та транспортування газоподібних, рідких та інших речовин. Кордоном судини є вхідні та вихідні штуцера.

Балон – посудина, що має одну або дві горловини для встановлення вентилів, фланців або штуцерів, призначена для транспортування, зберігання та використання стислих, зріджених або розчинених під тиском газів.

Причини аварій посудин:

- корозія стінок посудини;
- дефекти при виготовленні (газові пори, подрізи, шлакові включення тощо);
- порушення правил експлуатації посудин;
- несправність контрольно-вимірювальних приладів.

Причини аварій балонів:

- падіння балонів і удари їх про тверді предмети при транспортуванні та перенесенні;
- перегрів поверхні балона сонячними променями або відкритим вогнем;
- виривання вентиля з горловини балона при дефектах нарізки різьблення;
- забруднення горловини кисневих балонів оліями чи жирами;
- корозія стінок балона;
- осад пористої маси в ацетиленових балонах;
- переповнення балонів;
- заповнення не тим газом, для якого призначений балон;

– електростатичний розряд, що виникає при закінченні газів (тертя частинок газу).

Для управління роботою та забезпечення нормальних умов експлуатації судини в залежності від призначення повинні бути оснащені:

- запірною та запірно-регулювальною арматурою;
- приладами для вимірювання тиску;
- приладами для вимірювання температури;
- запобіжними пристроями;
- вказівниками рівня рідини.

Судини, забезпечені швидкознімними затворами, повинні мати запобіжні пристрої, які унеможливають включення судини під тиском при неповному закритті кришки та відкриванні її при наявності у посудині тиску. Такі судини повинні бути оснащені замками ключем-маркою.

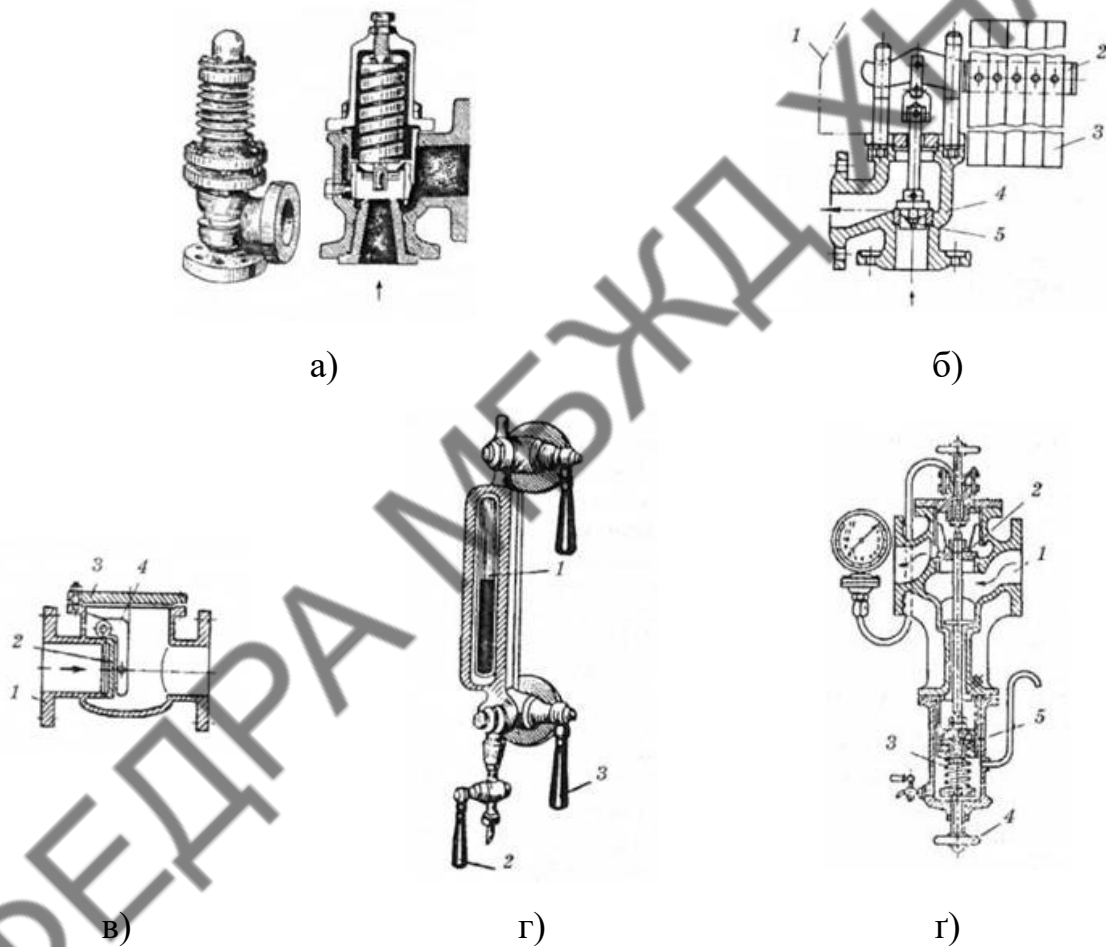
До обслуговування судин можуть бути допущені особи:

- не молодше 18 років;
- що пройшли медичний огляд;
- навчені за відповідною програмою;
- атестовані та мають посвідчення на право обслуговування з судів.

Навчання та атестація персоналу, який обслуговує судини, повинні проводитись у професійно-технічних училищах, у навчально-курсівих комбінатах (курсах), а також на курсах, спеціально створених підприємствами, які мають дозвіл (ліцензію) органів Держнаглядохоронпраці України, видане на підставі висновку експертно-технічного центру щодо можливості та умов виконувати зазначені роботи навчальними закладами. Індивідуальна підготовка персоналу не допускається. Особам, які склали іспити, видаються посвідчення із зазначенням найменування, параметрів робочого середовища судин, до обслуговування яких ці особи допущені. Посвідчення підписуються головою комісії.

Подібні ж вимоги висуваються не тільки до об'єктів зберігання рідин під тиском, але і до контрольно-вимірювальних приладів (рис. 4.3) та операторів за ними.

Основними приладами, якими здійснюється вимірювання тиску залишаються манометри (рис. 4.4), дифманометри, вакуумметри, датчики тиску, атмосферного тиску (наприклад, барометри), артеріального тиску (наприклад, тонометри).



а) пружинні запобіжні клапани; б) важільно-вантажний запобіжний клапан; в) поворотний зворотний клапан; г) показчик рівня води; г) редукційний клапан

Рисунок 4.3 - Контрольно-вимірювальні прилади та запобіжні пристрої



Рисунок 4.4 – Манометр

Відповідно до визначення у [9], манометр – це пристрій для вимірювання тиску рідини або газу у замкнутому просторі.

Відповідно до ДСТУ 7224:2011 [17] класифікація манометрів здійснюється за видом вимірюваного тиску та типом вихідного сигналу. Також класифікація здійснюється відповідно до одиниць вимірювання та за низкою основних характеристик.

Манометри, у відповідності до поставлених задач, повинні мати наступні характеристики:

- клас точності $> 2,5$ (робочий тиск до $2,5$ МПа);
- клас точності $1,5$ (робочий тиск $> 2,5$ МПа).

Манометр встановлюється так, щоб його покази було чітко видно обслуговуючому персоналу.

При експлуатації приладів, що вимірюють тиск, часто потрібний захист їх від агресивного та теплового впливу середовища.

Якщо середовище хімічно активне по відношенню до матеріалу приладу, його захист роблять за допомогою розділових судин або мембранних розділювачів.

Роздільна посудина заповнюється рідиною, інертною по відношенню до матеріалу приладу, сполучних трубок і самої судини. Крім того, розділювальна

рідина не повинна хімічно взаємодіяти з вимірюваним середовищем або змішуватися з нею. В якості розділових рідин застосовують водні розчини гліцерину, етиленгліколь, технічні олії та ін.

У мембранному роздільнику середовище, що вимірюється, відокремлюється від приладу мембраною з малою жорсткістю з нержавіючої сталі або фторопласту. Для передачі тиску від мембрани до пристрою порожнину між ними заповнюють рідиною.

Для запобігання приладу від дії високої температури середовища застосовують сифонні трубки.

Деформаційні прилади вимагають періодичної перевірки. В експлуатаційних умовах у них перевіряють нульову та робочу точки шкали. Для цього застосовують триходові крани. При перевірці нульової точки пристрій з'єднують з атмосферою. Стрілка приладу повинна повернутись до нульової позначки. Перевірку приладу в робочій точці шкали здійснюють по контрольному манометру, що зміцнюється на бічному фланці. При користуванні краном необхідно суворо дотримуватися плавності увімкнення та вимикання приладу.

За допомогою триходового крана можна проводити продування сполучної лінії.

4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Аварійна ситуація може виникнути у разі: ураження електричним струмом, падіння з висоти, термічних опіках та інше.

Якщо є потерпілі надавати їм першу медичну допомогу:

- забезпечити повну безпеку засудженому, собі та оточуючим;
- переносити людину в інше місце необхідно лише в небезпечних ситуаціях, коли вона лежить на проїжджій частині, у бруді, воді або поблизу вогню. У всіх інших ситуаціях ви можете лише погіршити його стан (наприклад, при травмах внутрішніх органів, черепно-мозкових та переломах).

Не підстилайте під голови жертви валик із підручних засобів! Краще просто покладіть рушник чи шарф;

– перевірити ознаки життя у постраждалого: промацайте пульс, приклавши свої пальці до його сонної артерії; перевірте дихання - нахиліться до його рота і носа і постарайтеся відчутти подих; оцініть свідомість потерпілого, злегка його струсивши і поставивши запитання;

– викликати фахівців (101 – рятувальники, 103 – швидка (з домашнього телефону) або 112 – з мобільного);

– надати термінову першу допомогу, яка знадобиться в залежності від ситуації;

– створити комфортну обстановку і фізичну, і психологічну постраждалого;

– при ураженні електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал (рис. 4.5);

– при переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом (рис. 4.6).

– при опіках вогнем, парою, гарячими предметами, ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються (рис. 4.7).



Рисунок 4.5 – Перша допомога при ураженні струмом

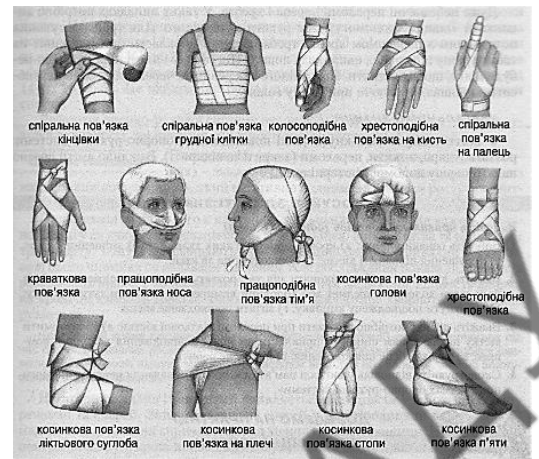


Рисунок 4.6 – Перша допомога у разі пошкоджень опорно-рухової системи

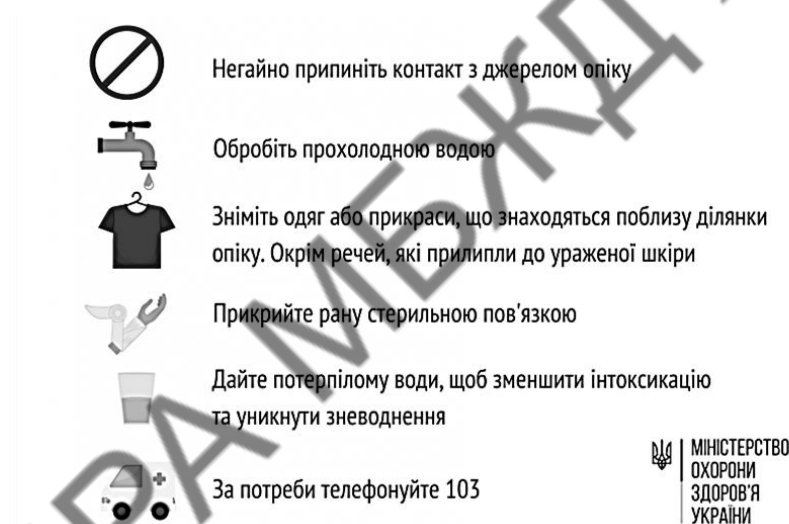


Рисунок 4.7 – Перша допомога при опіках (з офіційного сайту Міністерства охорони здоров'я України)

Відповідно до офіційного сайту Міністерства охорони здоров'я України існує дуже багато протипоказань до надання першої допомоги потерпілому, ось деякі з них:

- при аваріях та завалах НЕ намагайтеся будь-якими засобами дістати потерпілого;
- при непритомності НЕ намагайтеся запобігти западанню мови та витягти її назвні. Просто переверніть людину на бік;

- при ознобі НЕ намагайтеся зігріти людину, не загортайте її ковдрами і не обкладайте грілками;
- при судомному нападі НЕ намагайтеся розтискати зуби потерпілому, вставляючи між ними будь-які предмети.

Висновки до розділу

Політика держави спрямована на безпечне функціонування та експлуатацію об'єктів підвищеного ризику та проведення робіт підвищеної небезпеки. Для цього створено цілу низку законодавчих та нормативних документів.

Саме Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» вперше у правовій державній практиці установив та закріпив вимогу до суб'єкта господарської діяльності проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки відповідно їх класу та обов'язково робити декларування.

Будь-який об'єкт, де використовується, виготовляється та переробляється чи транспортується небезпечна речовина є об'єктом, котрий може становити загрозу робітникам або мешканцям прилеглих територій, навколишньому середовищу.

Дотримання усіх вимог, що встановлені державними документами гарантує успішне функціонування усього підприємства

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано описувати проміжні результати невизначеності вимірювань у вигляду банку даних відповідно до базового алгоритму, що описаний у міжнародному стандарті. Досліджень проводилось саме методу вимірювань у лінійному інерційному та нелінійному інерційному (з пам'яттю) вимірювальних каналах тиску.

Дослідження моделювання, програмування та оформлення звітів проводилось у програмному пакеті MATLAB.

Запропонований спосіб є ґрунтом для більш складних технік, що можуть, наприклад, оцінювати невизначеність невідомого типу нелінійності. Також, запропонований підхід може бути використано для уточнення невідомих коефіцієнтів невизначеності у системах майже реального масштабу часу. Після знаходження стандартної невизначеності обчислюється інтервальна оцінка невизначеності, що являє собою розширену невизначеність. В усіх випадках повинна бути показана адекватність моделі вимірювального каналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva : ISO, 1993. 101 p.
2. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII. Дата оновлення: 16.12.2020. №1089-IX.
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). [На заміну ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017, IDT); чин. від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
4. Giacomo P. The expression of Experimental Uncertainties (Recommendation INC-1), BIMP. *Metrologia*. 1981. № 11. P. 73.
5. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018. Невизначеність вимірювань. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995) (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
6. Khan A. A., Vyas N. S. Application of Volterra and Wiener Theories for Nonlinear Parameter Estimation in a Rotor-Bearing System. *Nonlinear Dynamics*, 2001. 24. Pp. 285-304.
7. Bai E. W. An optimal two stage identification algorithm for Hammerstein-Wiener nonlinear systems. *Automatica*. 1998. 34 (3). Pp. 333–338.
8. Identification of a nonlinear inertial measuring pressure channel / Poliarus O., Koval O., Medvedovska Ya., Poliakov Ye. *Ukrainian metrological journal*, 2019. №1. С. 63-70.
9. Hashemian H. M. Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants. Springer, 2006. 326 p.
10. Huang N., Shen S. Hilbert–Huang Transform and Its Applications. *Interdisciplinary Mathematical Sciences*. 2014.
11. Influence of Measurements Uncertainty on Uncertainty of Gilbert-Huang Transform Modes / Poliarus O., Ianushkevych S., Koval A., Lebedynskiy A.

Proceedings of 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019, Sozopol (Bulgaria), 2019 (6-8 September). Pp. 644-647.

12. Liutkevicius R. Fuzzy Hammerstein Model of Nonlinear Plant. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*. 2018. Vol. 13. № 2. Pp. 201-212.

13. Полярус О. В., Поляков Є. О. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення : монографія. Харків : Видавництво «Лідер», 2014. 120 с.

14. Полярус О. В., Бровко Я. С. Комплексний підхід до аналізу вимірювального каналу тиску. *Технологія приборостроєння*. Научно-исследовательский технологический институт приборостроєння, 2016. С. 54-57.

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 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.

17. ДСТУ 7224:2011. Метрологія. Манометри, мановакуумметри, вакуумметри, напороміри, тягонапороміри, тягоміри з пневматичними вихідними сигналами. Методика повірки (калібрування). [Чинний від 2011-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2011. 39 с.

18. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (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 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.

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 ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ЛІНІЙНИХ
ІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ**

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

Студент гр. ММ-61-22

І. О. Храмцов

Харків – 2023

МЕТА, ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ☑ **Мета роботи** – дослідити значення невизначеності вимірювань на законодавчому рівні та для певної системи.

- ☑ **Предмет дослідження** – багатоканальний лінійний інерційний вимірювальний канал тиску.

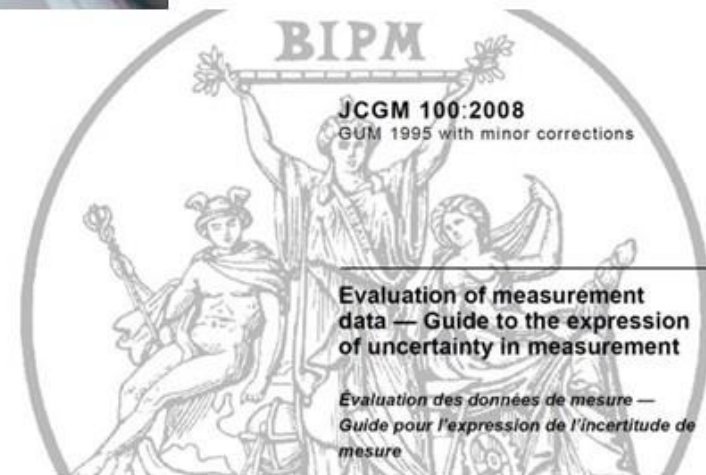
- ☑ **Об'єкт дослідження** – спрощена модель, що описує інтелектуальну багатоканальну вимірювальну інформаційну систему.

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ НА ЗАКОНОДАВЧОМУ РІВНІ



Невизначеність вимірювання

(measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty) означає, що виміряна величина належить певному інтервалу значень, і саме з заданим рівнем невизначеності не виходить за його межі.



ДЖЕРЕЛА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

На практиці існує багато можливих джерел НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, зокрема такі:

- а) неповне визначення вимірюваної величини;
- б) неточна реалізація визначення вимірюваної величини;
- в) вибірка, що не відображається, – отримане значення може не відобразити вимірювану величину;
- г) неточні відомості про вплив навколишнього середовища на вимірювання або недосконале вимірювання умов навколишнього середовища;
- д) суб'єктивна систематична похибка оператора при знятті показань з аналогових приладів;
- е) кінцева роздільна здатність приладу або поріг чутливості;
- ж) неточні значення, приписані еталонам, що використовуються при вимірюванні, стандартним зразкам речовин і матеріалів;
- и) неточні значення констант і інших параметрів, які були отримані із зовнішніх джерел та використовуються в алгоритмі опрацювання даних;
- к) апроксимації та припущення, що використовуються у методі вимірювання і вимірювальній процедурі;
- л) зміни в повторних спостереженнях вимірюваної величини при явно однакових умовах.

БАЗОВИЙ АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

1. Складання модельного рівняння:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m)$$

2. Оцінка вхідних величин.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3. Розрахунок оцінки результатів вимірювання.

$$y = f(x_1, \dots, x_m)$$

4. Розрахунок стандартних невизначеностей вхідних величин.

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}$$

5. Розрахунок внеску невизначеності вхідної величини у невизначеність вимірної величини.

$$u_i(y) = c_i u(x_i)$$

6. Визначення стандартної невизначеності вихідної величини.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} = \sqrt{c_1^2 u^2(x_1) + c_2^2 u^2(x_2) + \dots + c_m^2 u^2(x_m)}$$

7. Розрахунок коефіцієнту охопту.

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^m \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

БАЗОВИЙ АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

8. Розрахунок розширеної невизначеності.

$$U = k \cdot u_c.$$

9. Запис повного результату вимірювання.

$$Y = y \pm U, \quad p = 0,95.$$

Повний результат вимірювання несе у собі оцінку вихідної величини та приписане їй значення розширеної невизначеності з вказанням рівня довіри.

МОДЕЛЬ ГАММЕРШТЕЙНА

Отримання у процесі реалізації базового алгоритму проміжного результату зручно представити у вигляді бюджету, котрий включає у собі список усіх вхідних величин, їх оцінок разом з приписаними їм стандартні невизначеності вимірювань, коефіцієнтами чуттєвості та кількістю ступенів свободи.

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Кількість ступенів свободи	Коефіцієнт чутливості	Внесок невизначеності
X_1	x_1	$u(x_1)$	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	ν_2	c_2	$u_2(y)$
...
X_m	x_m	$u(x_m)$	ν_m	c_m	$u_m(y)$
Y	y	$u(y)$	ν_{eff}	k	U

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ

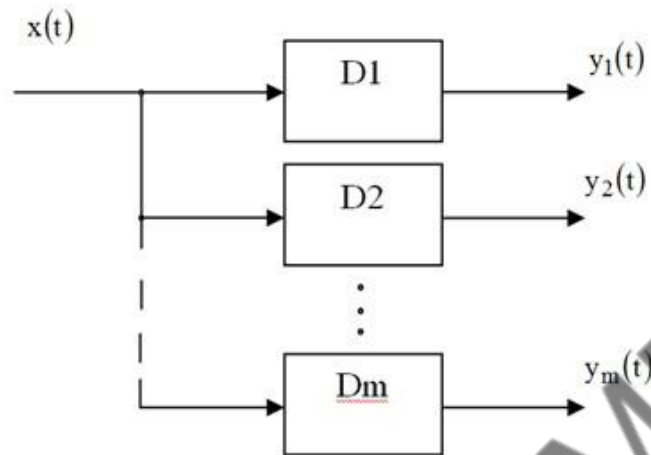


Рисунок 1 – Графічне представлення надлишкового вимірювання на технічно складному об'єкті

- ❖ Спочатку необхідно розглянути випадок, коли усі динамічні характеристики усіх датчиків відомі.
- ❖ Наступний крок – необхідно розглянути випадок, коли динамічні характеристики є відомими лише для одного датчика.
- ❖ У результаті – визначення типу імпульсних характеристик та значення постійних часу для кожного з датчиків.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ

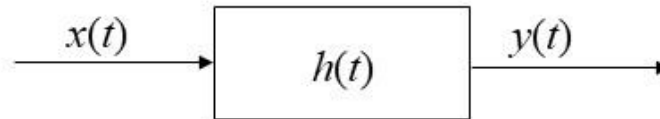


Рисунок 2 – Схема представлення зв'язку між вхідною та вихідною реалізацією випадкового процесу лінійної інерційної системи

$$y_T(t) = \int h(t - \tau) \cdot x(t) dt,$$

де $y_T(t)$ - відомий вихідний сигнал, теоретичний;
 $h(t)$ - імпульсна характеристика датчика;
 $x(t)$ - реалізація вхідної дії датчика;
 τ - постійна часу датчика.

Унаслідок зв'язку між вихідним і вхідним сигналами через інтеграл згортки є єдиним методом, що дозволяє точно визначати вихідний сигнал при відомому вхідному. Більш того, можливе розв'язання оберненої задачі вимірювань, тобто знаходження невідомого вхідного сигналу по виміряному вихідному, що є дуже важливим для практики.

СПРОЩЕННЯ РІВНЯННЯ ЗГОРТКИ

$$y_M(t) \approx x(t) \cdot a(t),$$

де $a(t)$ – невідома часова функція.

Теоретично, можливо замінити інтеграл згортки на часову функцію. Рівняння описує модельний вхідний сигнал $y_M(t)$ і воно є простішим. Вважаємо, що $y_M(t) = y_T(t)$. Задача полягає у визначенні невідомої тимчасової функції $a(t)$.

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

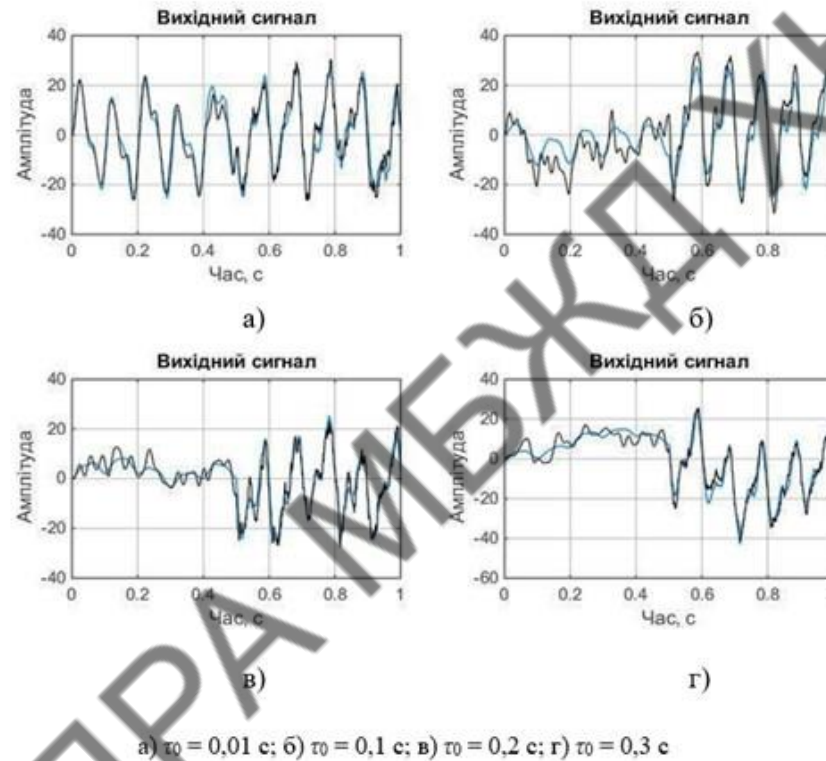


Рисунок 3 – Приклад порівняння вихідних сигналів (гармонічний сигнал) $y_T(t)$ та $y_M(t)$ при заданій h_1 для різних значень постійної часу системи τ_0

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

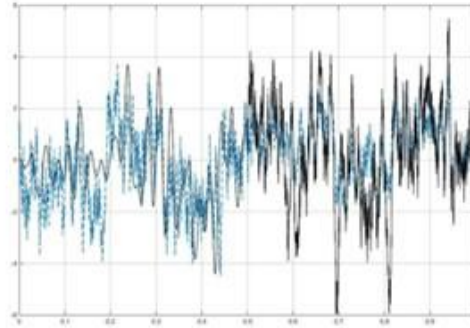


Рисунок 4 – Приклад порівняння вихідних сигналів (сума синусів з шумом) при заданих значеннях: h_1 , $\tau_0=3$ с, та $Df_C=1600$ Гц

Таблиця 1 – Результати обчислень для випадку, коли ступінь поліному, що наближує рівний до ступеню поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення Постійної часу	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,01	0,01	6,1021e-11	1	0,0114
0,1	0,098	6,475e-10	1	0,1472
0,2	0,21	3,0081e-09	1	0,2256
0,3	0,32	5,6652e-10	1	0,2476
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	1,1142e-18

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

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

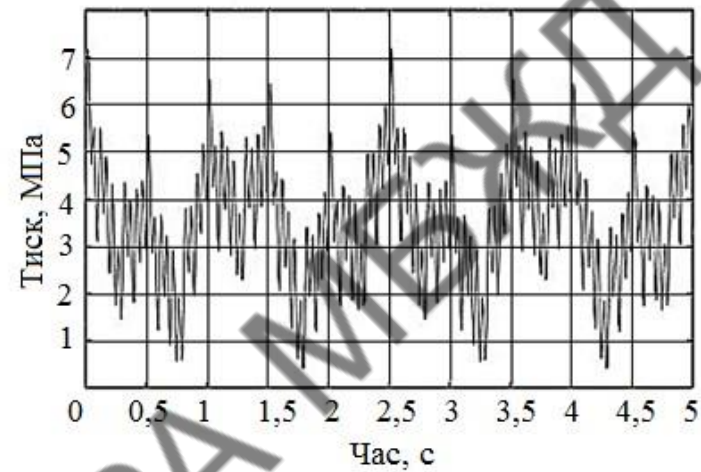


Рисунок 5 – Приклад реалізації вхідного сигналу у вигляді суми гармонічних та з додаванням гаусівського білого шуму

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

1. Ступінь поліному, що наближує **рівний** до ступеню поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,3	0,3	6,1021e-11	1	0,3514
5	5	6,475e-10	1	10,472
0,02	0,0201	3,0081e-09	1	3,1077e-05
0	4,9211e-07	5,6652e-10	1	1,5934e-12
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	1,1142e-18

2. Ступінь поліному, що наближує, **більший на одиницю** за ступінь поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
-	-2,88e-06	4,9303e-12	1	4,3898e-10
0,3	0,3	1,8170e-10	1	0,3899
5	5,0001	3,7883e-09	1	10,2094
0,02	0,0201	2,4549e-09	1	3,2411e-05
0	-9,7556e-05	7,44789e-09	1	5,0063e-11
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	5,3930e-18

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

3. Ступінь поліному, що наближує, **менший на одиницю** за ступінь поліному, що описує нелінійність

Вхідне значення коефіцієнту	Оцінка вхідного значення	Дисперсія	Кількість ступенів свободи	Внесок у загальну невизначеність
0,3	5,0953	0,0121	1	8,3752
5	1,5873	0,0143	1	0,2302
0,02	-0,0352	0,0299	1	0,0015
0	-		-	5,0063e-11
		Дисперсія виміряного значення	Ефективна кількість ступенів свободи	Розширена невизначеність
			inf	5,4474e-05

ВИСНОВКИ

14.

У роботі запропонована методика оцінки невизначеності вимірювань у лінійному інерційному та нелінійному інерційному (з пам'яттю) вимірювальних каналах тиску, що базується на вирішенні оберненої задачі вимірювань та визначенні реалізацій вхідних дій. У роботі дана оцінка кожному коефіцієнту цих вхідних дій у вигляді математичного очікування та дисперсії та розрахована стандартна невизначеність цих коефіцієнтів.

Запропонований спосіб є ґрунтом для більш складних технік, що можуть, наприклад, оцінювати невизначеність невідомого типу нелінійності. Також, запропонований підхід може бути використано для уточнення невідомих коефіцієнтів невизначеності у системах майже реального масштабу часу. Після знаходження стандартної невизначеності обчислюється інтервальна оцінка невизначеності, що являє собою розширену невизначеність. В усіх випадках повинна бути показана адекватність моделі вимірювального каналу.