

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасні напрямки розвитку інформаційних технологій
на виробництві

2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Стабілізація газового конденсату

2.2 Ректифікація стабільного газового конденсату

2.3 Канал вимірювання температури

2.4 Канал вимірювання тиску

2.5 Канал вимірювання рівня

2.6 Вибір технічних засобів

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Термоперетворювачі

3.2 Автоматичний урівноважений електронний міст типу КСМ2

3.3 Кабельні лінії

3.4 Диференціальний манометр

3.5 Пристрій вимірювання витрати

3.6 Пристрій вимірювання тиску

3.7 Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювальної системи за
концепцією “невизначеності”

3.8 Інформаційний опис вимірювання і зв'язок інформаційного підходу
з теорією невизначеності

3.9 Оцінка невизначеності окремих складових на прикладі давача
температури

3.10 Оцінка невизначеності окремих складових на прикладі давачів
тиску і рівня.

3.11 Розрахунок сумарної похибки вимірювальних каналів за
допомогою ентропійного коефіцієнта

3.12 Статичні дослідження і отримання експериментальних результатів

3.13 Знаходження статистичних оцінок вимірюваних даних з використанням MATLAB

4 Охорона праці

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

4.2 Розрахунок захисного заземлення

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ВСТУП

Сьогодні проблема точності вимірювань стоїть особливо гостро в будь-якій галузі, але все більш важливим стає не тільки наявність у нас інформації про певні параметри, а й можливість обробки та використання цієї інформації. Сьогодні просто виміряти значення тієї чи іншої фізичної величини, навіть з високою точністю, вже недостатньо. Нам потрібно передавати дані на значні відстані, робити певні висновки на основі вимірювань, контролювати об'єкти.

Тому в промисловості комплексно використовується комплекс інформаційно-вимірювальних засобів для того, щоб не тільки отримувати інформацію про значення інформативних параметрів, а й накопичувати, опрацьовувати та подавати її у формі, зручній для сприйняття людиною, також може надати можливості . Автоматичне прийняття рішення на основі отриманих даних.

Важлива роль ІВК у сучасній промисловості зумовлена тим, що все більше уваги в процесі навчання приділяється питанням науково-дослідного та метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальних комплексів.

На основі ІВС (інформаційно-вимірювальний канал) для вимірювання ключових технічних параметрів. У даній роботі розглядаються прилади для вимірювання таких параметрів, як температура, тиск і рівень, а також описується апаратна складова створеної ІВК.

В даний час стає популярним поняття «невизначеність вимірювання», яке доповнює поняття «похибка». Потім порівняйте результат, отриманий шляхом обчислення загальної похибки каналу з використанням коефіцієнта ентропії.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Напрямки розвитку інформаційних технологій на виробництві

Інформаційна техніка має колосальне і безупинно зростаюче значення в житті людства. Вона вирішує величезне коло задач, зв'язаних головним чином зі збором, переробкою, передачею, збереженням, пошуком і видачею різноманітної інформації чи людині машині.

Галузі які має в себе інформаційна техніка відносно основних функцій :

- 1 обчислювальна техніка;
- 2 техніка передачі інформації (зв'язку);
- 3 техніка збереження і пошуку інформації;
- 4 вимірювальна інформаційна техніка.

В свій час вони поєднуються загальними теоретичними основами, що інтенсивно формуються й удосконалюються в даний час.

Зупинимося трохи докладніше на вимірювальній техніці. Вона призначена для одержання досвідченим шляхом кількісно визначеної інформації про різноманітні об'єкти матеріального світу.

Процеси рахунка, виміру, контролю, упізнання образів, діагностики це є основні процеси.

В вимірювальній інформаційній техніці найбільш важливу роль грає процес виміру, що є основним шляхом одержання кількісної інформації. Засобу виміру відомі з часів глибокої стародавності (Китай, Вавилон, Індія, Єгипет, Греція, Рим).

Людство прийшло до необхідності виробити особливі прийоми кількісного вираження істотних для нього властивостей об'єктів за допомогою іменованих чисел, що відповідають визначеним часткам обраних мір.

Так виник у розвитку людської культури процес виміру, виникли засоби і методи вимірів, що надалі стали одним з найважливіших знарядь

пізнання навколишнього людини світу. Розвиток науки і промисловості стимулювало розвиток вимірювальної техніки; нові досягнення вимірювальної техніки впливали на розвиток багатьох галузей науки і техніки.

Власне кажучи жодне експериментальне наукове дослідження, жоден процес виробництва не може обійтися без вимірювальною інформацією. В даний час ні в кого не викликає сумніву, що без належного розвитку методів і засобів виміру неможливий прогрес науки і техніки. Розвиток сучасного наукового експерименту, що включає дослідження космічного простору й елементарних часток матерії, глибин океанів і поверхні Землі й ін., удосконалювання промислового виробництва і засобів комплексного керування виробництвом, розвиток практично всіх галузей народного господарства й оборонної техніки в значній мірі від належного рівня і випереджального розвитку засобів виміру.

Збільшення кількості видів вимірюваних величин веде до необхідності удосконалювання засобів вимірів.

До недавній минулий арсенал засобів вимірювальної техніки обмежувався неавтоматичними й автоматичними вимірювальними приладами, призначеними для виміру однієї чи величини невеликої групи однорідних величин, що звичайно не змінюються за цикл виміру.

В останні роки, у першу чергу в зв'язку з різкою інтенсифікацією й автоматизацією процесів виробництва, істотно змінилися вимоги до засобів виміру. Нові вимоги зв'язані головним чином з переходом до одержання і використання результатів не окремих вимірів, а потоків вимірювальної інформації.

Найчастіше необхідно одержувати інформацію про сотні і тисячі однорідних чи різнорідних вимірюваних величин, частина з яких може бути недоступною для прямих вимірів.

Як правило, одержання всього обсягу вимірювальної інформації і її обробка (іноді по досить складних алгоритмах) повинні виконуватися за обмежений час. Якщо ці функції покласти на людину, збройної лише

найпростішими вимірювальними й обчислювальними пристроями, то в силу фізіологічних обмежень він, навіть при дуже значному тренуванні, не зможе їх виконувати.

Рішення цієї проблеми привело до появи нового класу засобів вимірювальних систем (ІМ), призначених для автоматичного збору й обробки вимірювальної інформації.

Аналогічно можна простежити розвиток інших засобів вимірювальної інформаційної техніки, яке привело до необхідності створення крім ІС також систем автоматичного контролю (САК), технічної діагностики (ТД), упізнання образів (УО).

Перераховані вище системи одержали назва вимірювальних інформаційних систем (ВІС).

Багатоканальні системи поєднуються в один з найпоширеніших класів вимірювальних систем, застосовуваних у всіх галузях народного господарства.

За цим принципом побудована більшість існуючих вимірювальних комплексів енергетичних (у тому числі атомних електростанцій), металургійних і багатьох інших промислових підприємств. Основні причини настільки широкого поширення багатоканальних ІС полягають, по-перше, у можливості використання стандартних, щодо простих вимірювальних приладів; по-друге, у найбільш високою схемою надійності таких систем; по-третє, у можливості одержання найбільшої швидкодії при одночасному одержанні результатів виміру; нарешті по-четверте, у можливості індивідуального підбора засобів виміру до вимірюваних величин.

Найбільший недолік таких систем часто зв'язаний з підвищеною загальною складністю і вартістю (у порівнянні з іншими системами).

Функція індикації аналогових і дискретних параметрів на засобах представлення інформації УВС полягає у висновку на екрани РМОТ поточних значень аналогових параметрів у цифровій формі і станів дискретних параметрів у символній формі.

Одним з основних способів представлення інформації про роботу і стан технологічного блоку є відображення інформації на відеограмах ЦГТ (ЦГД) РМОТ.

Відеограми бувають наступних типів:

- 1 фрагменти мнемосхеми;
- 2 відеограми показань (таблиці значень параметрів і показників);
- 3 відеограми повідомлень, сигналізації і довідковій інформації;
- 4 гістограми для групи взаємозалежних параметрів;

Функція виявлення й індикації відхилень аналогових параметрів від норми (окремих параметрів і груп параметрів) на засобах представлення інформації УВС полягає в порівнянні значень параметрів з технологічними уставками і виробленню ознак відхилення.

Максимальна кількість границь контролю (уставок) – шість:

Верхня можлива границя – ВМГ.

Верхня аварійна границя – ВАГ.

Верхня регламентна границя – ВРГ.

Нижня регламентна границя – НРГ.

Нижня аварійна границя – НАГ.

Нижня можлива границя – НМГ.

Нормальні значення параметрів представляються на екрані зеленим кольором, відхилення за регламентні границі – жовтим кольором, за аварійні – червоним кольором, за можливі – білим кольором. Факти відхилень індивідуальних параметрів фіксуються в ЗУ УВС як події і можуть бути роздруковані.

Функція реєстрації подій полягає в постійній фіксації і нагромадженні в ЗУ УВС подій, що відбуваються на блоці, а також у печатці накопиченої інформації в алфавітно-цифровій формі за інтервал часу, що задається, на бланках протоколів реєстрації (протоколювання інформації).

Можлива також вибіркова печатка подій по списках шифрів і по окремих шифрах. Подія – це зміна стану дискретного чи параметра перехід аналоговим параметром границь контролю (уставок технологічної

сигналізації). В УВС фіксуються події, час існування яких не менш 0,2 с., а також події по 192 швидковимірюючихся сигналах зі здатністю, що дозволяє 0,1 с.

Фіксація поточних подій у ЗУ УВС виробляється з періодом 1-1,5 з, а за відхиленнями аналогових сигналів – 2 с. Усім подіям, що відбулися між двома опитуваннями, привласнюється однаковий час. Сигнали, які швидко змінюються передаються в ЗУ УВС також з періодом 1-1,5 с., але фіксується кожен сигнал зі своїм часом.

Реєстрація подій включає наступні види реєстрації:

- 1 реєстрація поточних подій (РТП) ;
- 2 реєстрація сигналів, які швидко змінюються (РБС);
- 3 фіксація інформації для РТП і РБС ведеться автоматично і постійно.

Протоколювання інформації виробляється за запитом і полягає в роздрукуванні в бланках протоколів реєстрації нових станів дискретних сигналів при переході границь контролю. Фіксація і протоколювання інформації з РТП і РБС за реакторним відділенням і машзалу виробляється роздільно у відповідних ВК УВС.

Нагромадження інформації з РТП виробляється в двох циркулярних масивах дискової пам'яті з обсягом не менш 10900 подій у кожному. У нормальному експлуатаційному режимі виробляється заповнення лише одного масиву з постійним стиранням найбільше “старих ” подій. Протокол РТС являє собою перелік подій, у якому в хронологічній послідовності фіксуються:

- відхилення параметрів за уставки;
- нові стани при зміні положення запірних органів, механізмів і ланцюгів автоматичних регуляторів;
- нові стани при спрацьовуванні захистів і блокувань;
- дії оператора по зміні станів ключів дистанційного керування (напрямок впливу не фіксується);
- сигнали аварій, сформовані в УВС;

Повідомлення за діагностикою комплексу технічних засобів УВС і ФГУ.

Протокол РБС являє собою послідовність спрацьовування сигналів, які швидко змінюються. Розвиток АСУ зажадало по новому глянути на проблеми відображення й обробки інформації в умовах усі задач керування, що ускладнюються, і інтенсивності їхнього рішення. Насамперед міняється характер діяльності операторів.

Якщо раніш участь людини в роботі АСУ розглядалося лише з позиції реалізації, так називаною операційною діяльністю, при якій використовувалися унікальні психофізіологічні властивості людини за візуальним сприйняттям інформації, то сьогодні ставиться питання про ефективне використання засобів взаємодії з різними технічними системами і їхньою інтелектуалізацією.

Комплексний характер рішення задач керування, комплексний, системний характер проектування засобів взаємодії зажадали введення концепції інтерфейсу взаємодії людини з технічними засобами АСУ тобто інформаційного каналу. Інтерфейс взаємодії з технічними засобами являє собою сполучення апаратно-програмного комплексу і протоколів взаємодії.

Апаратно-програмний комплекс інтерфейсу взаємодії виконує перетворення даних, що циркулюють в АСУ, в інформаційній моделі, відображувані на засоби відображення інформації, регенерацію і перетворення цих моделей, забезпечує діалогова взаємодія людини з технічними засобами, перетворює впливу , що надходять від людини-оператора, у дані, використовувані системою керування, фізично реалізує протоколи взаємодії.

Призначення протоколів полягає в тому , щоб забезпечити механізм достовірної і надійної доставки повідомлень між людиною – оператором і системою відображення інформації, а отже, між людиною і системою керування.

Для установки розроблена автоматизована система контролю та керування - АСУТП, в структурі якої передбачено.

Нижній рівень - це датчики (дискретних, аналогових та імпульсних сигналів) та виконавчі механізми аналогового та дискретного дій:

а вимірювання первинних показників технологічного процесу (температура тиск, витрата, якість).

б виконавчі механізми, що регулюють і захищають технологічний процес, обладнання і людей по команді верхнього рівня (оператора) і забезпечують відключення систем і блоків у перед аварійному і аварійний період.

в прилади аварійної сигналізації.

Середній рівень - мікропроцесорні керуючі контролери і підсистема зв'язку з об'єктом, а також допоміжне обладнання (блоки живлення, мережеве обладнання тощо):

а прийняття свідчень від первинних вимірників і виконавчих механізмів, їх перетворення і передача на пульт управління.

б забезпечення електро та пневможивленням вимірювальних і виконавчих механізмів, а також системи управління.

в сигналізація про несправності, перед аварійних та аварійних параметрах роботи технологічних параметрів і обладнання.

Верхній рівень включає автоматизовані робочі місця оператора (Армо), розташовані в центральному пункті (ЦП).

а управління технологічним процесом.

б прийняття та аналіз інформації по поточному ведення процесу з видачею команд на виконавчі механізми.

в сигналізація та блокування аварійних ситуацій

г виключення помилкових дій операторів комплексу.

д накопичення інформації для аналізу якості роботи обслуговуючого персоналу і т.д.

Збір і попередня обробка сигналів від датчиків параметрів, а також видача керуючих сигналів на виконавчі механізми (ІМ) здійснюються з приміщення апаратної, у якій розміщене обладнання другого рівня АСУТП. Зв'язок мікропроцесорних контролерів з ЦПУ здійснюється по

оптоволоконних кабелів, а зв'язок датчиків і виконавчих механізмів, розташованих у технологічних блоках або поза ними, з підсистемами зв'язку з об'єктом забезпечується багатожильним кабелем, який надходить до розподільних коробок, розміщених поблизу місць встановлення датчиків або виконавчих органів .

АСУТП забезпечує:

- Ведення процесу.
- Безпека процесу.
- Забезпечення якості готової продукції.
- Облік матеріальних потоків.

2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Стабілізація газового конденсату

Нестабільний газовий конденсат з сировинної ємкості забирається насосом Н-101 і послідовно прокачується через теплообмінники Т-104 - Т-101, де нагрівається за рахунок тепла кубових продуктів колон ректифікацій (К-101,К-102,К-104).

Після теплообмінників нестабільний газовий конденсат з температурою 100-120 градусів Цельсія поступає в стабілізаційні колони К-101, К-102.

З верху другої стабілізаційної колони К-102 фракція НК-100°C конденсується і охолоджується в повітряних конденсаторах-холодильниках ХВ-101, після чого поступає в рефлюксную ємність Е-101.

У рефлюксную ємність Е-101 також поступають пари бензину колони К-104 блоку ректифікації, заздалегідь охолодившись в повітряному холодильнику ХВ-103.

Бензин з рефлюксной ємкості Е-101 насосом Н-107 подається в колони К-102, К-104 на зрошування, а надлишок через клапан регулювальник рівня виводиться з установки.

Газ з рефлюксной ємкості Е-101 поступає на прийом рідинного ежектора Еж-1 і далі дожимається бензином що подається від насоса Н-108, і далі бензинова фракція виводиться в товарний парк.

Частина газу може використовуватися як паливо в технологічних печах П-101/1,2 установки.

Робоча рідина (бензин) для Н-108 подається насосом в буферну ємність Е-102 з парку. Передбачена можливість використання як робоча рідина. Для підтримки температури низу в колонах К-101, К-102 блоку стабілізації в підігрівачі кубової частини колон подається гарячий потік, що забирається з куба колони К-103 насосом Н-106 і П-101/2, що підігрівається в технологічній печі.

Стабільний конденсат з низу колони стабілізації К-101 поступає в першу колону ректифікації К-103, заздалегідь нагріваючись до необхідної температури в технологічній печі П-101/1.

2.2 Ректифікація стабільного газового конденсату

У першій колоні ректифікації К-103 на структурованій насадці проходить відділення важкого дизельного палива (фр. 200-кк), від легкокипящих компонентів.

Насосом Н-104 фр. 200-КК через клапан регулювальник рівня відкачується з установки як товарне дизельне паливо, заздалегідь охолоджуючись до температури не вище 60°C в повітряному холодильнику ХВ -104.

Пари нафтопродукту з верху першої колони ректифікації К-103 поступають в другу колону ректифікації К-104.

Для підтримки температури верху К-103 і здобуття якості готового продукту на верх структурованої насадки колони через маточник-розподільник насосом Н-105 подається дизельне паливо.

У другій колоні ректифікації К-104 на структурованій насадці проходить відділення легкого дизельного палива (фр.180-240) від бензину.

З куба колони К-104 фр.180-240 забирається насосом Н-105, прокачується через теплообмінник Т-104, повітряний холодильник ХВ - 105 і через клапан регулювальник рівня відкачується з установки як компонент товарного дизельного палива.

Частина потоку легкого дизельного палива від насоса Н-105 подається на зрошення в колону К-103.

Пари бензинової фракції з верху другої колони ректифікації К-104 поступають в рефлюксну ємність Е-101, заздалегідь охолоджуючись в повітряному холодильнику ХВ-103.

Для підтримки температури низу колон ректифікацій К-101, К-102, К-104 в підігрівачі кубової частини насосом Н-106 подається гарячий потік важкого дизельного палива, П-101/2, що підігрівається в технологічній печі.

Залежно від якості сировини і готових продуктів на установці може встановлюватися необхідна кількість рівнів ректифікації.

2.3 Канал вимірювання температури

Конструктивно містить три вимірних канали, під'єднанні до персонального комп'ютера (ПК) через порт звукової карти. Вимірні канали призначені для збору інформації про технологічні параметри, що найбільш часто використовуються у якості інформативних у промисловості: температура, тиск, рівень. Терморезистивний перетворювач опору це є перевинний давач виміру температури.

Вимірювання температури термометрами опору базується на зміні температури при якому змінюється електричний опір провідників і напівпровідників [1].

Таким чином, омичний опір провідника чи напівпровідника представляє собою деяку функцію його температури $R=f(t)$.

Вид цієї функції залежить з якого матеріалу виготовлений провідник.

Для виготовлення чутливих елементів серійних термометрів опору застосовують чисті метали, які б задовольняли наступні основні вимоги:

1. Вибирається метал з великим питомим електричним опором, оскільки, чим більший питомий опір, тим менше потрібно металу для одержання необхідного початкового опору термометра.

2. Метал стійкий до окислення і не вступає в хімічну взаємодію з вимірюваним середовищем, має високу відтворюваність значень електричного опору в інтервалі робочих температур.

3. Температурний коефіцієнт електричного опору металу $\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{d\tau}$ повинен бути досить великим і незмінним. Цей коефіцієнт визначається співвідношенням $\alpha_{0..100} = (R_{100} - R_0) / 100R_0$, де R_0 і R_{100} – опір зразка даного

матеріалу при температурі відповідно 0 і 100 °С. Для більшості чистих металів $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$.

4. Опір повинен змінюватися зі зміною температури по прямій чи плавній кривій без різких відхилень і явищ гістерезису. Зазначеним вимогам найбільш повно відповідають платина, мідь, нікель і залізо.

Платина. Питомий електричний опір платини $\rho = 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, а температурний коефіцієнт електричного опору в діапазоні температур від 0 до 100 °С $\alpha=3,9 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$.

Зміна опору платини виражається рівняннями:

у діапазоні температур від 0 до +650 °С:

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2)$$

у діапазоні температур від -200 до 0 °С:

$$R_t = R_0[1 + at + bt^2 + c(t - 100)t^3]$$

де R_t і R_0 - опір платини при температурі відповідно t і 0 °С; a , b , c - постійні коефіцієнти, значення яких визначають при градуванні термометра по точках кипіння кисню, води і сірки ($a=3,96847 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$; $b=-5,847 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$; $c=-4,22 \cdot 10^{-12} 1/^\circ\text{C}$).

Для платини, яка застосовується при виготовленні технічних термометрів, $R_{100}/R_0=1,391$.

Хоча характеристики платинових термометрів опору нелінійні, однак відхилення від лінійної характеристики не перевищує 5 % в інтервалі температур від 0 до 500 °С і 19 % в інтервалі температур від -200 до 0 °С.

Мідь. До переваг міді варто віднести низьку вартість, легкість одержання її в чистому виді, порівняно високий температурний коефіцієнт електричного опору $\alpha=4,26 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ і лінійну залежність опору від температури.

До недоліків міді відносяться малий питомий опір ($\rho = 0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$)

і легку окислюваність при температурі вище 100 °С. Для міді, яка застосовується при виготовленні термометрів опору, відношення $R_{100}/R_0 = 1,426$.

Нікель і залізо. Ці метали мають порівняно високий температурний коефіцієнт електричного опору: $\alpha_{Ni} = (6,21 \dots 6,34) \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ $\alpha_{Fe} = (6,25 \dots 6,57) \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ и відносно великим питомим опором $\rho_{Ni} = (0,118 \dots 0,138) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; $\rho_{Fe} = (0,055 \dots 0,061) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

До недоліків, що обмежують застосування нікелю і заліза для виготовлення термометрів опору слід віднести наступні: нікель і залізо складно отримати в чистому виді, що ускладнює виготовлення взаємозамінних термометрів опору; залежності опору заліза і, особливо, нікелю від температури виражаються кривими, що не можуть бути записані у вигляді простих емпіричних формул; нікель і, особливо, залізо, легко окислюються навіть при порівняно низьких температурах.

Установка може працювати з будь-яким терморезистивним перетворювачем, проте з огляду на баланс вартості і якості було обрано первинний перетворювач типу ТСМ (мідний термометр опору).

Для перетворення зміни опору первинного перетворювача у стандартний струмовий сигнал 4-20 мА використовується блок перетворення сигналів термоперетворювачів БПО-32, розроблений підприємством "Мікрол". Перетворювач призначений для перетворення сигналів термодавачів у вихідний уніфікований сигнал постійного струму.

Межа вимірювання температура складає $-200 \text{ }^\circ\text{C} \dots +200 \text{ }^\circ\text{C}$ для мідних термоперетворювачів і $-200 \text{ }^\circ\text{C} \dots +850 \text{ }^\circ\text{C}$ для платинових термометрів опору (в залежності від використовуваного типу давачів).

Область застосування:

1. вимірювання температури
2. підсилення і нормалізація сигналів термоперетворювачів опору
3. багатоканальні вимірювальні системи
4. системи автоматичного регулювання і керування технологічними процесами в промисловості

5. перетворення сигналів від потенціометричних давачів, включаючи реохорди автоматичних потенціометрів, мостів і виконавчих механізмів.

Технічні характеристики:

- кількість каналів: 2 ідентичні канали
- гальванічна ізоляція: між каналами, від живлення
- схема підключення датчика: трьох провідна
- регулювання початкового опору (значення, що відповідає нульовому сигналу) і діапазону зміни опору (значення зміни вихідного сигналу)
- струм живлення давача $2 \pm 0,5$ мА
- вхідний сигнал межа: від 0 до 150 Ом
- зміна вхідного сигналу і межах: від 2,5 до 200 Ом
- сигнал вихідний 0-5 мА ($R_H < 2$ кОм), 0-20мА, 4-20 мА ($R_H < 0,5$ кОм)
- в основна приведена похибка перетворення $\pm 0,25\%$
- температура оточуючого середовища: від $+5$ °С до $+50$ °С
- живлення: не стабілізовані $24\text{В} \pm 15\%$
- струм споживання: не більш 90 мА
- маса: не більше 0,24 кг.

Температура є показником термодинамічного стану системи і використовується як вихідна координата при регулюванні теплових процесів. Динамічні характеристики об'єктів в системах регулювання температури залежать від фізико-хімічних параметрів процесу і конструкції апарату.

Тому спільні рекомендації по вибору АСР температури сформулювати неможливо, і потрібний аналіз кожного конкретного процесу.

До спільних властивостей АСР температури можна віднести значну інерційність теплових процесів і промислових датчиків температури.

Тому одне з основних завдань при проектуванні АСР температури - зменшення інерційності датчиків.

Розглянемо, наприклад, динамічні характеристики термометра в захисному чохла (рисунок 2.1).

Структурну схему термометра можна представити як послідовне з'єднання чотирьох теплових ємкостей (мал. 2.1, б): захисного чохла 1, повітряного прошарку 2, стінки термометра 3 і власне робочій рідині 4.

Якщо нехтувати тепловим опором кожного шару, то всі елементи можна апроксимувати аперіодичними ланками 1-го порядку, рівняння яких мають вигляд:

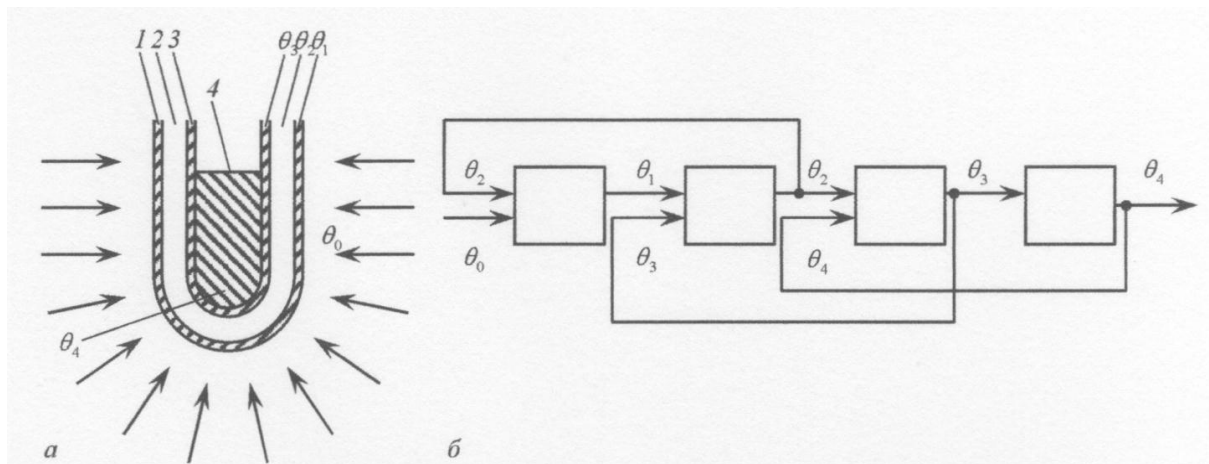


Рис. 2.1. Принципова (а) і структурна (б) схеми термометра: 1 - захисний чохол; 2 - повітряний прошарок; 3 - стінка термометра; 4 - робоча рідина.

$$M_j c_{pj} \frac{dQ_j}{dt} = a_{j1} F_{j1} (Q_{j-1} - Q_j) - a_{j2} F_{j2} (Q_j - Q_{j+1})$$

$$j = 1, 4$$

$$Q_5 = 0$$

$$T_j \frac{dQ_j}{dt} + Q_j = k_{j1} Q_{j-1} + k_{j2} Q_{j+1}$$

$$T_j = \frac{M_j c_{pj}}{a_{j1} F_{j1} - a_{j2} F_{j2}}$$

$$K_{j1} = \frac{a_{j1} F_{j1}}{a_{j1} F_{j1} - a_{j2} F_{j2}}$$

$$K_{j2} = \frac{a_{j2} F_{j2}}{a_{j1} F_{j1} - a_{j2} F_{j2}}$$

M_j - маса чохла, повітряного прошарку, стінки і рідини; C_{pi} - питомі теплоємності; a_{j1}, a_{j2} - коефіцієнти тепловіддачі; F_{j1}, F_{j2} - поверхні тепловіддачі.

Як видно з рівнянь (2.1), основними напрямками зменшення інерційності датчиків температури є:

- підвищення коефіцієнтів тепловіддачі від середовища до чохла в результаті правильного вибору місця установки датчика; при цьому швидкість руху середовища має бути максимальною; за інших рівних умов установка термометрів в рідкій фазі (в порівнянні з газоподібною), в парі що конденсується (в порівнянні з конденсатом), і т. п.;

зменшення теплового опору і теплової ємності захисного чохла в результаті вибору його матеріалу і товщини;

зменшення постійного часу повітряного прошарку за рахунок вживання наповнювачів (рідина, металева стружка); у термоелектричних перетворювачів (термопар) робочий спай припаюється до захисного чохла;

вибір типу первинного перетворювача; наприклад, при виборі термометра опору, термопари або манометричного термометра необхідно враховувати, що найменшою інерційністю володіє термопара в мало інерційнім виконанні, найбільший - манометричний термометр.

2.4 Канал вимірювання тиску

До складу каналу вимірювання тиску входять мембранний дифманометр типу ДМ 3583М як первинний прилад і перетворювач взаємної індуктивності БПВІ – 1.

Дифманометр типу ДМ 3583М відноситься до класу мембранних деформаційних приладів. Загалом можна навести наступні схеми конструкції мембранних приладів (рис. 2.2).

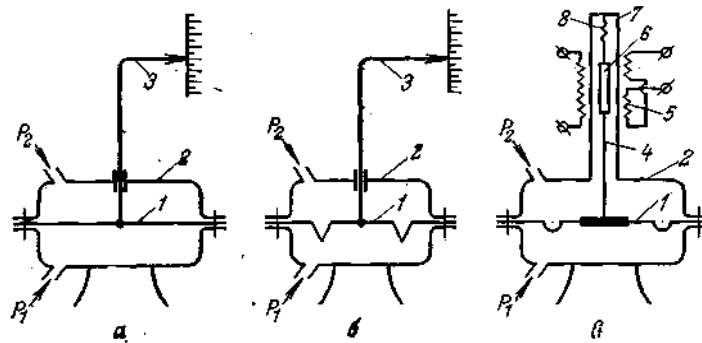


Рисунок 2.2-Схеми конструкції мембранних приладів: а — із плоскою мембраною; б — з гофрованою мембраною; в — з «в'ялою» мембраною;

1 - мембрана; 2 - корпус; 3 - відліковий пристрій; 4 - шток; 5- обмотка перетворювача; 6 - плунжер; 7 - трубка з немагнітного матеріалу; 8 - пружина.

Металеві мембрани плоскі, гофровані чи більш складного профілю, виготовляються з фосфористої чи берилієвої бронзи, хромонікелевої сталі; товщина мембран — від 0,05 до 1,5 мм.

Мембрани з неметалевих матеріалів (гума, прогумована тканина, пластмаси та ін.) мають товщину від 0,2—0,4 до 5—7 мм.

У звичайних приладах плоскі мембрани не застосовуються, тому що при робочих тисках вони дають невеликі прогини, а залежність прогину від вимірюваної величини має нелінійний характер. Однак вони застосовуються в манометрах спеціальних конструкцій, наприклад для вимірювання змінних тисків [2].

Гофровані мембрани використовуються в тих випадках, коли застосування трубчастих пружин небажано (агресивні середовища).

Гофри, що видавлюються на мембрані, можуть мати синусоїдальну, кругову, трапецієподібну і трикутну форму. Вони сприяють зниженню твердості мембрани.

Стабільність характеристик мембран визначається постійністю величин ефективної площі і твердості. Задовольнити обом умовам в одному елементі звичайно буває важко, тому на практиці часто застосовують чутливі елементи, що мають деяку ефективну площу і нульову жорсткість. До них відносяться м'які чи, як їх ще називають, «в'ялі» мембрани, що

виготовляються з тканини (капрон, шовк), просоченої бензол і масло стійкою гумою.

Схема давача з «в'ялою» мембраною показана на рис. 2.2, в. Між фланцями корпуса 2 щільно затиснута «в'яла» мембрана із прогумованої тканини 1 із твердим металевим центром, до якої прикріплений шток 4 із плунжером 6 з м'якого заліза.

Під дією вимірюваної різниці тисків $P_1 - P_2$ ($P_1 > P_2$) мембрана переміститься вгору в положення, при якому створене на мембрані зусилля зрівноважиться пружною силою стиснутої пружини 8. Плунжер переміщається усередині трубки 7 з немагнітного матеріалу (наприклад, сталі 1X18H10T), на яку з зовнішньої її сторони надіта котушка 5 з обмотками перетворювача диференційно-трансформаторного типу; вихідний електричний сигнал буде пропорційний вимірюваній величині. Якщо необхідно понизити твердість металевих гофрованих мембранних елементів і збільшити їхній прогин, застосовуються мембранні коробки, утворені двома спаяними гофрованими мембранами.

Під дією вимірюваного тиску верхня мембрана коробки буде деформуватися нагору і через систему передач переміщати відліковий пристрій.

Слід зазначити, що залежність між вимірюваним тиском і переміщенням мембранної коробки не є лінійною і тому, для одержання рівномірної шкали, у систему передач вводяться елементи, що лінеаризують цю залежність [3].

Схема дифманометра з електричною дистанційною передачею, у якій як чутливий елемент використовуються мембранна коробка, показана на рис.2.2.

Корпус дифманометра складається з двох фланців 1 і 2, з'єднаних болтами, між якими щільно затиснута глуха перегородка 4.

Ця перегородка розділяє внутрішній об'єм корпуса на дві камери: «плюсову» (+), до якої через вентиль 13 і імпульсну трубку підводиться великий тиск, і «мінусову» (-), до якої через вентиль 11 і імпульсну трубку

підводиться менший тиск. У середині камер знаходяться мембранні коробки 3 і 5, що з'єднані одна з одною через ніпель 6 у перегородці 4 і заповнені дистильованою водою. Під дією різниці тисків у «плюсової» і «мінусової» камерах мембранна коробка 3 стискується, рідина з неї перетікає в мембранну коробку 5, викликаючи переміщення її центру, до якого жорстко прикріплений шток 7 із плунжером 9 на кінці. Плунжер 9 ізольований від зовнішнього середовища трубкою з немагнітного матеріалу 15 із кришкою 10, що вкручена у фланець 2 корпусу приладу. З зовнішньої сторони трубки 10 розміщена котушка з обмотками 8 диференційно-трансформаторного перетворювача, а сама котушка закрита ковпаком 14, на якому знаходиться рознімне штепсельне з'єднання для підключення котушки за допомогою проводів до вторинного приладу, що працює в комплекті з дифманометром.

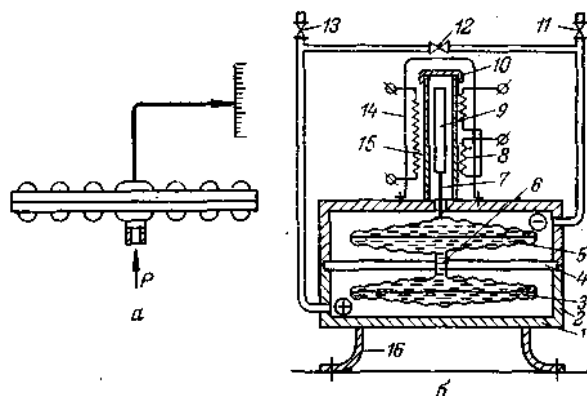


Рисунок 2.3- Загальний вид мембранної коробки (а) і схема мембранного дифманометра з електричною дистанційною передачею (б):

1, 2 - корпуси; 3, 5- мембранні коробки; 4 - перегородка; 6 - ніпель; 7 - шток; 8 - обмотка перетворювача; 9 - плунжер; 10 - кришка; 11, 12, 13 - вентилі; 14 - ковпак; 15 - трубка; 16 - ніжки.

Мембранний дифманометр типу ДМ - без шкальний прилад з індукційним датчиком, призначеним для передачі показів на вторинний електричний прилад.

Вихідним сигналом у даному випадку є взаємоіндуктивність, тому для під'єднання до сучасних електронних приладів використовується вторинний перетворювач індуктивності у стандартний струмовий сигнал: блок

перетворення взаємної індуктивності БПВИ-1.

Блок призначений для постійного пропорційного перетворення сигналу давача взаємної індуктивності на основі диференційного трансформаторного перетворювача у вихідний уніфікований струмовий сигнал.

Область застосування:

- Системи вимірювання тиску, різниці тиску, розрідження, тяги
- Системи контролю й автоматичного керування технологічними процесами
- Застосовується для роботи з наступними приладами: манометрами (вимірювання тиску), дифманометрами (вимірювання різниці тисків), вакуумметрами (вимірювання розрідження), мановакууметрами (вимірювання надлишкового тиску і тиску розрідженого газу), напоромірами (вимірювання малих надлишкових тисків до 40 КПа), тягомірами (вимірювання малих розріджень), тягонапоромірами (вимірювання малих тисків і розріджень).
- Можливість постачання блоків БПВИ-1 з вузлом лінеаризації сигналу

Технічні характеристики наступні:

- Кількість каналів: 1
- Гальванічна ізоляція
- Схема підключення датчика: чотирехпровідна. Вхідні сигнали: 0..10 мГн; -10 .. +10 мГн
- Сигнал виходу: 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА
- Похибка перетворення: $\pm 0,25\%$
- Напруга живлення: від мережі змінного струму $\sim(220\pm 22)\text{В}$, $(50\pm 1)\text{Гц}$

Постійність тиску свідчить про дотримання матеріального балансу по газовій фазі. Зазвичай тиск (або розрідження) в технологічній установці стабілізують в якому-небудь одному апараті, а по всій системі воно встановлюється з відповідно до гідравлічного опору лінії і апаратів.

Наприклад, в багатокорпусній випарній установці (див. рис. 3.8, а) стабілізують розрідження в останньому випарному апараті. У решті апаратів за відсутності збурення встановлюється розрідження, яке визначається з умов матеріального і теплового балансів з врахуванням гідравлічного опору технологічній лінії.

У тих випадках, коли тиск істотно впливає на кінетику процесу (наприклад, в процесі ректифікації), передбачається система стабілізації тиску в окремих апаратах (мал. 2.4, б). Крім того, при регулюванні процесу бінарної ректифікації часто як непрямий показник складу суміші використовують її температуру кипіння, яка однозначно пов'язана із складом лише при постійному тиску. Тому в продуктових колонах ректифікації зазвичай передбачають спеціальні системи стабілізації тиску.

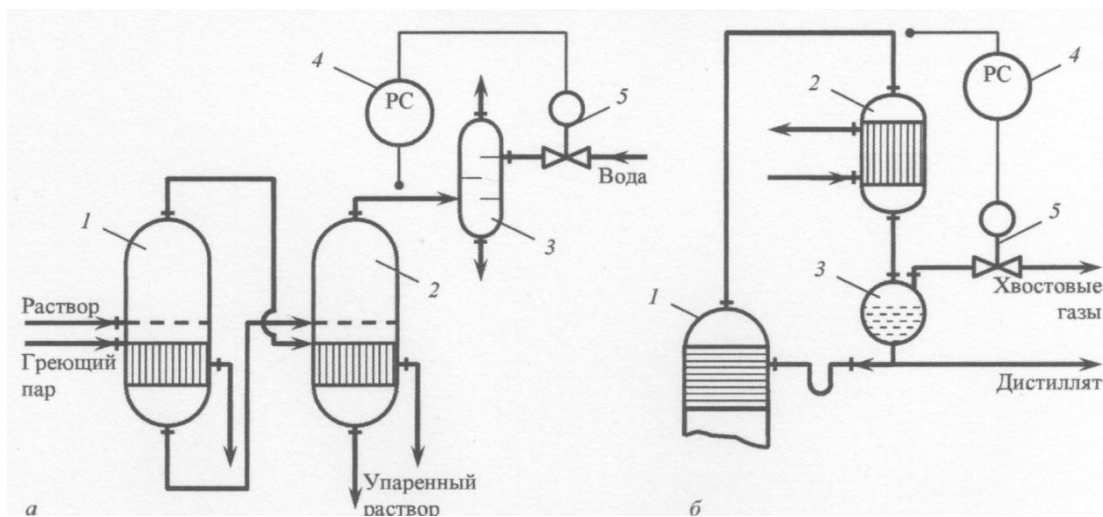


Рисунок 2-4 Регулювання розрідження в багатокорпусній випарній установці

а - регулювання розрідження в багатокорпусній випарній установці 1,2 - випарні апарати; 3 –барометричний конденсатор; 4 - регулювальник розрідження; 5 – регулюючий клапан; б- АСР тиск в ректифікаційній колоні.

1-колонна , 2 – дефлегматор ,3- флегмона ємкість 4- регулятор тиску 5 – регулюючий клапан.

Регулювання розрідження в багатокорпусній випарній установці. У даній системі регулюючою дією є витрата води, що охолоджується в барометричний конденсатор, який впливає на швидкість конденсації вторинної пари. Регулювання перепаду тиску. У таких апаратах регулюється

перепад тиску характеризуючий гідродинамічний режим, який впливає на протікання процесу (рис . 2.5).

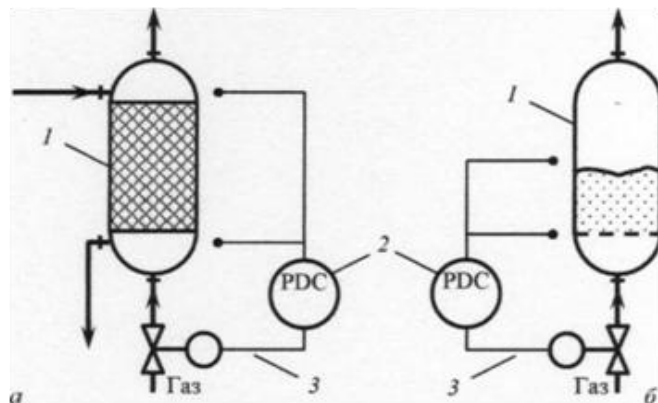


Рисунок 2.5- Схема регулювання перепаду тиску

а – в колонному апараті з насадкою; б- в апараті з киплячим шаром(1- апарат, 2-регулятор перепаду тиску, 3- регулюючий клапан).

2.5 Канал вимірювання рівня

Вимірювання рівня рідини в ємності у даному випадку здійснюється із використанням гідростатичного рівнеміра. До складу вимірного каналу також входять дифманометр і блок перетворення взаємоіндуктивності.

В гідростатичних рівнемірах вимірювання рівня рідини зі сталою густиною зводиться до визначення гідростатичного тиску, що його створює стовп цієї рідини, тобто $p = \rho g H$.

Існують гідростатичні рівнеміри із неперервним продуванням газу чи повітря (п'єзометричні рівнеміри) і прилади з безпосереднім вимірюванням тиску стовпа рідини.

У даному випадку нас цікавлять саме рівнеміри другого типу, вони являють собою дифманометр довільного типу, що вимірює тиск стовпа рідини у посудині. Дифманометрами можна вимірювати рівень як у відкритих, так і в закритих посудинах, тобто у ємностях, що знаходяться під тиском або розрідженням.

На рисунку зображено схеми трубних з'єднань при розміщенні дифманометра нижче дна резервуару. При використанні дифманометрів для

вимірювання рівня необхідним є встановлення додаткової ємкості, наповненої тією ж рідиною. Ця ємкість прихвачена для створення сталого тиску на одне з колін дифманометра, причому у випадку якщо резервуар знаходиться під тиском, то зрівноважу вальна посудина ставиться на висоті рівня максимуму і з'єднується із основним резервуаром.

Конструкція гідростатичних рівнемірів із безпосереднім вимірюванням тиску стовпа рідини.

а – у відкритому резервуарі;

б – в резервуарі, що знаходиться під тиском;

Кожному значенню рівня рідини у резервуарі відповідає певне значення різниці тисків, що дозволяє за показами дифманометра судити про рівень.

В окремих випадках наявність зрівноважу вальної ємкості не є обов'язковою, наприклад якщо точно відомо густину рідини у відкритому резервуарі.

При вимірюванні рівня рідини із застосуванням дифманометра ДМ отримують електричний вихідний сигнал, який є зручним для передачі на відстань чи подальшого оцифрування та обробки.

Дифманометр є диференційно-трансформаторним приладом і його взаємодія з вторинним приладом відбувається за рахунок зрівноваження осердя диференційного трансформатора останнього переміщення осердя у первинному пристрої – рис 2.6.

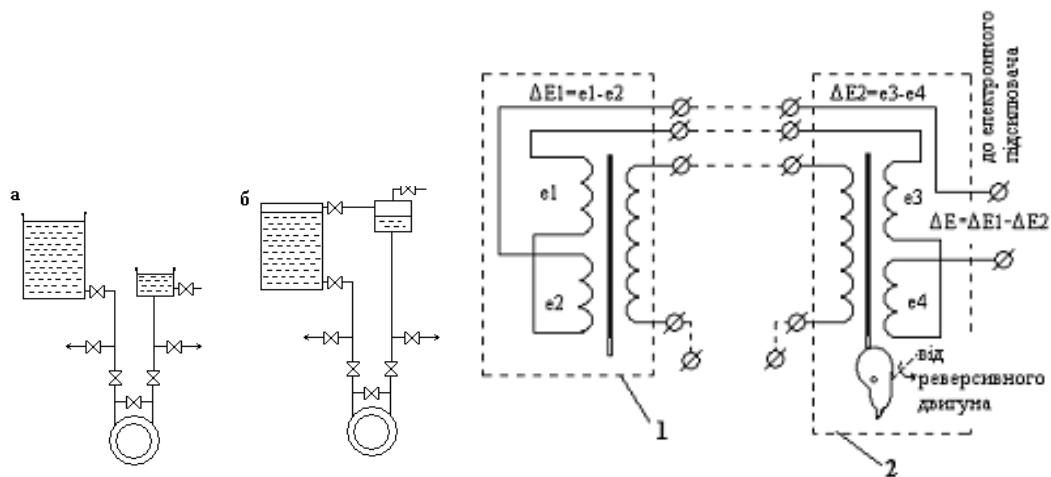


Рисунок 2.6- Схема будови диференційно-трансформаторного перетворювача

1 – первинний прилад; 2 – вторинний прилад

Схема диференційно-трансформаторного перетворювача складається із двох однакових котушок, одна з яких знаходиться всередині первинного приладу, а інша – у вторинному.

Первинні обмотки котушок включені послідовно і живляться від напруги змінного струму з обмотки силового трансформатора електронного підсилювача.

Вторинні обмотки включені зустрічно з виходом на електронний підсилювач. Всередині котушок знаходяться залізні осердя (магнітопроводи).

Якщо осердя обох котушок знаходяться у середньому положенні (а так звичайно є при відсутності дії на первинний прилад), то величини ЕРС e_1 та e_2 , що наводяться в них, рівні між собою.

Таким чином

$$\Delta E_1 = e_1 - e_2 = 0 \text{ і } \Delta E_2 = e_3 - e_4 = 0 \quad (2.1)$$

і різниця ЕРС на вході підсилювача $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$.

При зміні положення сердечників величина ЕРС, що наводиться у котушках, зміниться. Величина струму, що протікає у вторинному колі первинного і вторинного приладів визначається наступними виразами:

первинний прилад:

$$I_{\text{п}} = (M_1 U - M_2 U) / (2Z + Z_{\text{н}}) = (e_1 - e_2) / (2Z + Z_{\text{н}}) \quad (2.2)$$

вторинний прилад:

$$I_{\text{в}} = (M_3 U - M_4 U) / (2Z + Z_{\text{н}}) = (e_3 - e_4) / (2Z + Z_{\text{н}}) \quad (2.3)$$

У цих виразах

M_1, M_2, M_3, M_4 – коефіцієнти взаємоіндукції

U – напруга живлення первинної обмотки

Z – повний опір вторинної обмотки кожної котушки

$Z_{\text{н}}$ – опір навантаження

Результуючий струм:

$$\Delta I = I_{II} - I_B = (U \Delta M) / (2Z + Z_H) \quad (2.4)$$

де ΔM – результуючий приріст коефіцієнта взаємоіндукції, викликаний зміною в положенні осердь.

На вхід підсилювача подається $\Delta E = \Delta I Z_H = (U \Delta M Z_H) / (2Z + Z_H)$,

У вимірювальній схемі із виходом на електронний підсилювач можна вважати, що $Z_H = \infty$ і тоді $\Delta E \approx U \Delta M$

Отримане значення ΔE підсилюється в електронному підсилювачі до величини, необхідної для керування реверсивним двигуном. Останній з допомогою профільованого диска переміщує осердя в котушці вторинного приладу в положення яке відповідає положенню осердя в котушці первинного приладу, тобто забезпечує зрівнювання ЕРС і, відповідно, новий стан рівноваги.

При цьому результуюча ЕРС буде рівна нулю і реверсивний двигун зупиниться. Одночасно двигун з'єднаний із стрілкою та пером вторинного приладу, що дозволяє візуально спостерігати зміну вхідного сигналу.

При переміщенні сердечника первинного приладу на відстані до 5 мм. Залежність індукованої ЕРС від переміщення практично лінійна.

Вторинні прилади диференційно-трансформаторної системи збудовано на базі автоматичних потенціометрів.

Суттєвий недолік такої схеми полягає в тому, що реверсивний двигун є досить великогабаритним і енергоємним елементом, крім того така схема не забезпечує можливості передачі даних на обчислювальну техніку. Якщо існує необхідність такої передачі, до виходу дифманометра підключають вторинний перетворювач, що генерує стандартний вихідний сигнал за струмом чи напругою. Зокрема таким перетворювачем є БПВИ-1, що виготовляється підприємством “Мікрол”.

Вимірюваний параметр (різниця тисків, рівень і т. д.) подається на перетворювач з дифтрансформаторним датчиком, що сполучений з блоком БПВИ-1 двома двопроводними лініями зв'язку.

По одній лінії зв'язку з блоку подається живлення на первинну обмотку дифтрансформатора, по другій на блок подається вихідний сигнал з

вторинної обмотки дифтрансформатора, пропорційний вимірюваному параметру.

Технічні характеристики перетворювача БПВИ-1 було наведено раніше.

Через інтерфейс ний перетворювач, що забезпечує розв'язку між вимірними каналами і портами вводу-виводу ПЕОМ відбувається взаємодія кожного з вимірних каналів і MIDI-порту.

Інтерфейсний перетворювач забезпечує також наявність мінімального сигналу на виходах не використовуваних каналів ІВК. Це пов'язано зі специфікою роботи порту.

Рівень є непрямим показником гідродинамічної рівноваги. Дотримання матеріального балансу і рівня тоді коли приплив рідини дорівнює стоку, і швидкість зміни рівня дорівнює нулю.

У загальному випадку зміна рівня описується рівнянням

$$S \frac{dL}{dt} = G_{вх} - G_{вих} \pm G_{об}$$

де S - площа горизонтального (вільного) перетину апарату;

$G_{вх}, G_{вих}$ - витрати рідини на вході в апарат і виході з нього; $G_{об}$ - кількість рідини, що утворюється (або що витрачається) в апараті в одиницю часу.

Залежно від необхідної точності підтримки рівня застосовують один з наступних двох способів регулювання:

1. Позиційне регулювання, при якому рівень в апараті підтримується в заданих, досить широких межах: $L_0 \leq L \leq L_n$. Такі системи регулювання встановлюють на збірниках рідини або проміжних ємкостях (рис. 2.7). При досягненні граничного значення рівня відбувається автоматичне переключення.

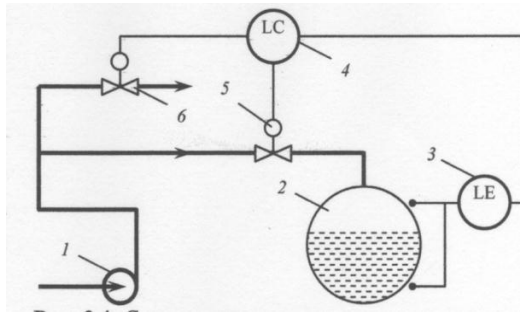


Рисунок 2-8- Система регулювання на збірниках рідини або проміжних ємкостях

2. Безперервне регулювання, при якому забезпечується стабілізація рівня на заданому значенні, тобто $L = L^{\circ}$.

Особливо високі вимоги пред'являються до точності регулювання рівня в теплообмінних апаратах, в яких рівень рідини істотно впливає на теплові процеси. Наприклад, в парових теплообмінниках рівень конденсату визначає фактичну поверхню теплообміну.

У таких АСР для регулювання рівня без статичної похибки застосовують Пі-регулятори. П-регулятори використовують лише в тих випадках, коли не потрібна висока якість регулювання і обурення в системі не мають постійної складової, яка може привести до накопичення статичної похибки.

При відсутності фазових перетворень в апараті рівень в нім регулюють одним з трьох способів:

1. зміною витрати рідини на вході в апарат (регулювання «на притоці», рис. 2.8, а);

2. зміною витрати рідини на виході з апарату (регулювання «на стоці», рис. 2.8, б);

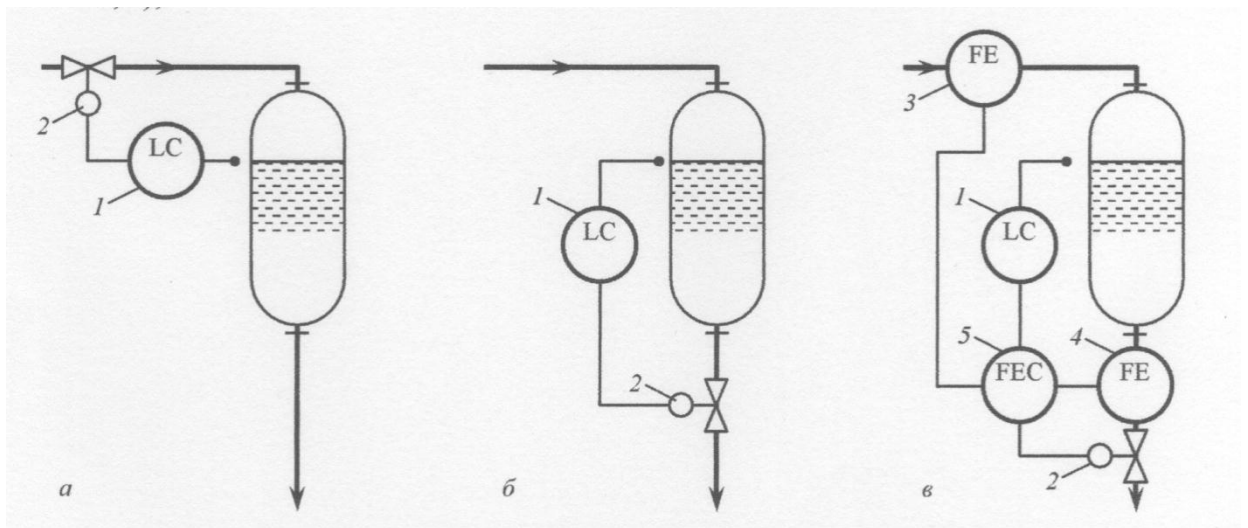


Рисунок 2.9- Схеми безперервного регулювання рівня:

а - регулювання «на притоці»; б - регулювання «на стоці», в - каскадна АСР (1 - регулятор рівня, 2 - регулюючий клапан, 3, 4 - вимірники витрати, 5 – регулятор співвідношення).

3. регулюванням співвідношення витрат рідини на вході в апарат і виході з нього з корекцією по рівню (каскадна АСР, рис. 2,9 в); відключення коректуючого контура, може привести до накопичення помилки при регулюванні рівня, оскільки унаслідок неминучих похибок в налаштуванні регулятора співвідношення витрати рідини на вході і виході апарату не будуть рівні між собою , і унаслідок інтегруючих властивостей об'єкту, рівень в апараті безперервно наростатиме (або зменшуватись).

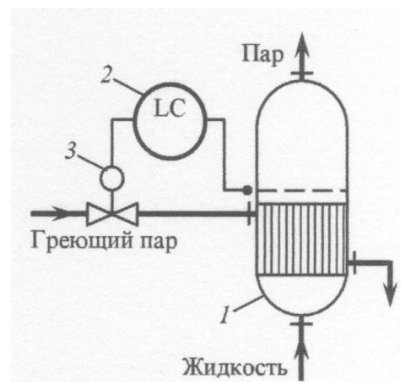


Рисунок. 2.10- Схема регулювання рівня у випарнику:

1 - випарник; 2 - регулювальник рівня, 3 - регулюючий клапан.

У разі, коли гідродинамічні процеси в апараті супроводять ся фазовими перетвореннями, можна регулювати рівень зміною подачі теплоносія (або хладагента).

У таких апаратах рівень взаємозв'язаний з іншими параметрами (наприклад, тиском), тому вибір способу регулювання рівня у кожному конкретному випадку повинен виконуватися з врахуванням останніх контурів регулювання.

Особливе місце в системах регулювання рівня займають АСР рівня в апаратах з киплячим шаром зернистого матеріалу (мал. 2.11).

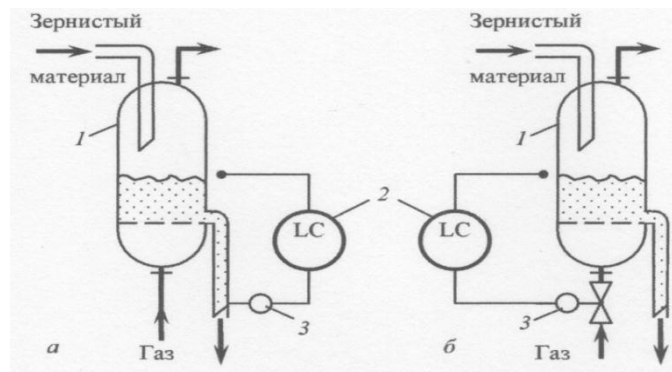


Рисунок . 2.11 Регулювання рівня киплячого шару: а - відведенням зернистого матеріалу, про - зміною витрати вузьких межах співвідношення витрати газу (1 - апарат з киплячим шаром, 2 - регулювальник рівня, 3 - регулюючий орган).

Стійка підтримка киплячого шару можлива в досить вузьких межах відношення витрати газу і маси шару.

При значних коливаннях витрати газу (або витрати зернистого матеріалу) настає режим віднесення шару або його осідання.

Тому до точності регулювання рівня киплячого шару пред'являють особливо високі вимоги.

Як регулюючі дії використовують витрату зернистого матеріалу на вході або виході апарату (рис. 2.11, а) або витрату газу на зрідження шару (рис. 2.11, б).

2.6 Вибір технічних засобів

Температура:

Для дистанційного контролю температури використані термометри опору типу Метран-256 ТСП (100П) -02 із захисною гільзою, в залежності від тиску в апараті або трубопроводі.

Для місцевого контролю використовуються біметалічні термометри заводу «Теплоприлад»

Тиск:

Для дистанційного контролю тиску використовуються перетворювачі зі стандартним виходом 4-20 мА типу 2088G фірми ROSEMOUNT.

Ці датчики характеризуються високими метрологічними характеристиками і надійністю.

Для дистанційного вимірювання різниці тиску застосовані датчики типу 1151 DP тієї ж фірми, а для в'язких продуктів у комплекті з виносними розділовими мембранами типу 1199 9DCK DEFWJGCAL6.

Контроль тиску за місцем забезпечується з рідкокристалічних індикаторів, якими комплектуються вказані прилади.

Як сигналізаторів тиску застосовані електроконтактні вибухобезпечні манометри типу ДМ2005СгЕх.

Витрата:

Вимірювання витрати, як правило, здійснюється витратомірами змінного перепаду. Як вимірників перепаду використані датчики типу 1151 DP в комплекті із стандартними звужуючими пристроями (діафрагмами).

Для контролю малих витрат використовуються ротаметри з дистанційною передачею типу МТ3809 / Е фірми «Fisher-Rosemount», а для в'язких продуктів-датчики типу YF-101 фірми «Yokogawa Electric».

У системах комерційного обліку застосовуються датчики типу 3095М і сенсори типу DS65S з перетворювачем RFT-9739, для контролю масових витрат.

Рівень:

Для вимірювання рівня, як правило, використаний дифманометричеській метод на основі датчиків зі стандартним виходом 4-20 мА типу 1151DP для малов'язкі рідин і з виносними розділовими мембранами 1199DCK DEFWJGСАL6 для в'язких середовищ.

Як сигналізаторів рівня використовуються датчики типу АSL-400 фірми Valcom

Середній рівень.

Обладнання, розміщене в апаратній установці.

Враховуючи підвищені вимоги до надійності систем контролю та управління вибухопожежонебезпечних виробництв, прийняті контролери OCTAGON SYSTEMS з резервуванням процесорів, мережевих і комунікаційних інтерфейсів.

Контролери фірми Octagon Systems є потужними обчислювальними пристроями, здатними виконувати завдання будь-якої складності.

До складу контролера входить:

- каркас 5276RM на 6 слотів;
- процесор CPU 686 Fastwell;
- блок живлення 7112/24 Octagon Systems;
- плата зв'язку 5558 8 портів RS/232/422/485 Octagon Systems ..

Технічні характеристики контролерів:

- температурний діапазон експлуатації $-40 + 85^{\circ} \text{C}$;
- вібростійкість 5g;
- ударостійкість 20g;
- час напрацювання на відмову більше 100000 годин;
- енергоспоживання не більше 10Вт.

Контролер мають сторожовий таймер, що виключає їх "зависання".

У кожному блоці БКУ розміщується два комплекти контролера з усіма допоміжними пристроями.

Один контролер є робочим, а другий перебуває в «гарячому» резерві, який автоматично і ненаголошених підключається до управління при збої в роботі основного контролера.

Зв'язок котроллери з ЦПУ виконується через концентратор Super Stack-II50 Hub 50 12port і оптичне волокно.

Зв'язок керуючих контролерів з об'єктом здійснюється за допомогою модулів УСО типу НІD 3000, які забезпечують:

прийом сигналів від таких датчиків:

- термомпар (16 бітне АЦП, точність 0. 1%, час перетворення не більше 600 мс);

- термометрів опору (15 бітне АЦП, точність 0. 25%, час перетворення 180-840 мс);

- аналогових датчиків з сигналом 4-20 мА (16 бітне АЦП, точність 0. 1%, час перетворення не більше 33 мс);

- дискретних датчиків типу «сухий контакт» (тривалість фіксуються сигналів від 45 мс);

- пристроїв, що обмінюються інформацією з HART-протоколу (час опитування не більше 0. 75 с на канал);

формування керуючих сигналів:

- 4-20 мА для електропневмопозіціонерів клапанів (12 бітний ЦАП, точність 0. 1%, час зміни сигналу не більше 80 мс);

- дискретних сигналів постійного струму = 24 В (в тому числі імпульсних від 2 мс до 130 мс, час переходу з одного стану в інший не більше 10 мс).

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Термоперетворювачі

Вимірювання температури за допомогою термоперетворювача засновано на властивості провідників міняти свій опір з зміною температури. Зміна опору термоелектричного чутливого елемента термоперетворювача фіксується повторним приладом.

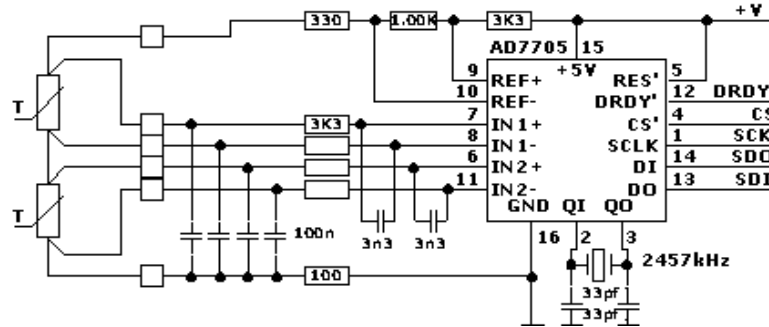


Рисунок 3.1- Одноканальна схема вимірювання температури

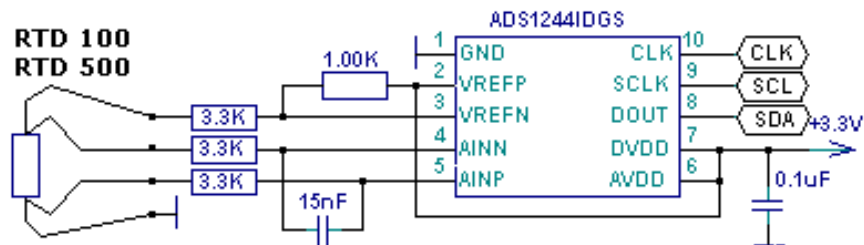


Рисунок 3.2 – Двохканальна схема вимірювання температури

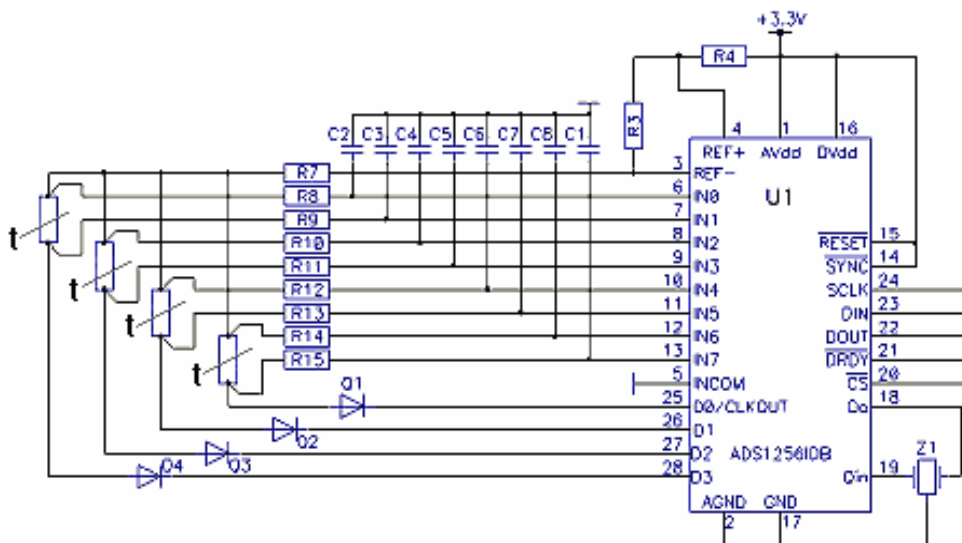


Рисунок 3.3 – Чотирьохканальна схема вимірювання температури

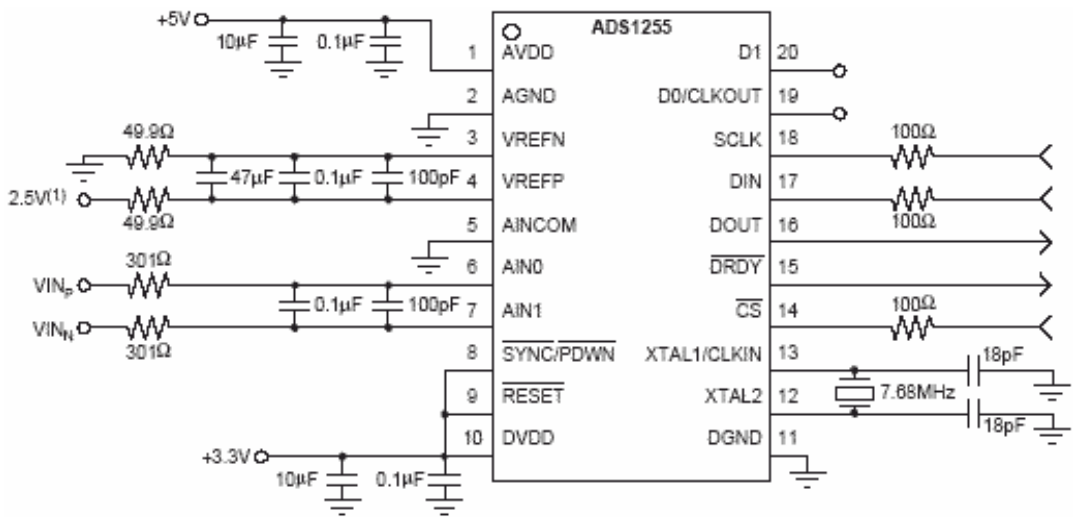


Рисунок 3.4 – Рекомендації до АЦП

Термоелектричний чутливий елемент термоперетворювача виготовлений з платиного дроту і є спіраллю, поміщеною в канали керамічного каркаса. Термометричний чутливий елемент припаяний до срібних або нікелевих висновків. Пакет термоперетворювача поміщається в захисну арматуру, стійку до міжкристалічної корозії. Збоку вивідних кінців термоперетворювачі ТСП-8053 мають водо захищену головку.

3.2 Автоматичний урівноважений електронний міст типу КСМ2

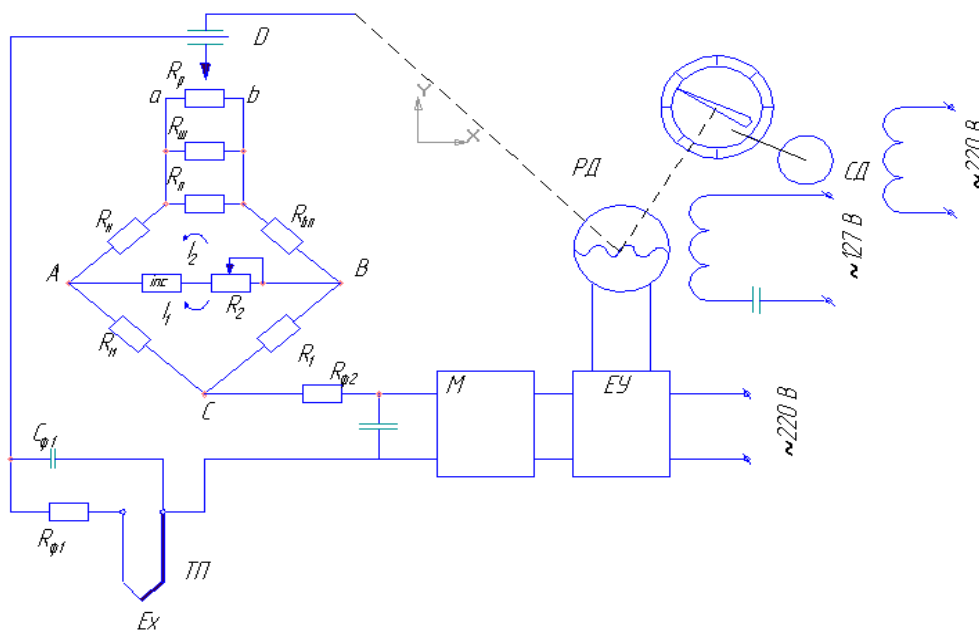


Рисунок 3.5 – Схема електронного моста

Автоматичні прилади електромеханічного слідкуючого зрівноваження КСМ2, КСМ2И, КСП2, КСП2И, КСУ2 призначені для вимірювання сили і напруги постійного струму а також їх реєстрації.

По виду вхідного сигналу КСМ2 відноситься до мостів, службовцем для вимірювання активного опору.

Мости КСМ2, призначені для вимірювання температури, розраховані на роботу з термоперетворювачами опору по ГОСТ 6651-78.

В основу принципу його дії встановлений нульовий метод вимірювання опору термоперетворювача.

При зміні температури змінюється опір термоперетворювача, що викликає порушення рівноваги моста вимірювального блоку, і в його діагоналі *AB* з'являється напруга розбалансу, яка поступає на вхід електронного підсилювача, де посилюється по напрузі і по потужності.

На виході електронного підсилювача підключений реверсивний електродвигун.

Останній переміщає движок по опору реохорда і тим самим врівноважує вимірювальну схему моста. Одночасно реверсивний двигун переміщає стрілку по шкалі приладу і перо для запису зміни температури на діаграмному папері.

Якщо автоматичний міст має автоматичний регулятор температури, то реверсивний електродвигун переміщає механізм регулятора, який виробляє управляючу дію на виконавчий механізм.

В автоматичних електронних мостах застосовується фазочутливий напівпровідниковий електронний підсилювач змінного струму типу У2М-01, відмінний тим, що він не має вібраційного перетворювача частоти струму, як це має місце в підсилювачах для потенціометрів, реверсивний двигун типу Д-219П1 і синхронний двигун типу ДСМ2П-220.

Вимірювальна схема моста харчується змінним струмом напругою 1,5 В, частотою 50 Гц від силового трансформатора підсилювача, яке подається до крапок . Живлення силового ланцюга автоматичних

електронних мостів виробляється від сіті змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

3.3 Кабельні лінії

Для сполучної лінії до термоперетворювача ТСП-8053 використовують кабель КВВРЕ 4x1,5 (КНМС 4x0,7) або кабель іншої марки з числом жив не менш чотирьох і із зовнішнім діаметром не більше 12 мм.

Кабелі, вживані для електричних проводок, діляться на силові і контрольні.

Силові використовуються для прокладки ліній живлення і командних ліній з імпульсами малої потужності. Силові кабелі мають мале число жив (до чотирьох) великого перетину (до 240 мм²), контрольні мають число жив до 52 при перетині до 4 мм².

Силові і контрольні кабелі по типу електричної ізоляції жив і по виду захисної зовнішньої оболонки підрозділяються на категорії: з свинцевою захисною оболонкою і паперовою ізоляцією, просоченою спеціальним складом; з свинцевою захисною оболонкою і гумовою ізоляцією; з пластмасовою оболонкою і гумовою ізоляцією.

Також кабелі розрізняються по типу зовнішнього покриття поверх захисної оболонки на групи: без броні; броньовані двома сталевими стрічками без зовнішнього покриття (типу БГ); броньовані двома сталевими стрічками із зовнішнім покритвом з кабельної пряжі (тип В) і броньовані круглими сталевими оцинкованими дротами з зовнішнім покритвом з кабельної пряжі (тип К).

Силові кабелі випускаються на робочу напругу 500 або 1000 В. Контрольні тільки на напругу до 500 В.

Кабелі, броньовані стрічковою сталевною бронею із зовнішнім захисним покритвом застосовуються для прокладки в землі, траншеях і для зовнішніх проводок з поміркованою температурою. Ті ж кабелі, але без зовнішнього захисного покриття застосовуються в приміщеннях, де вони можуть

піддаватися механічним діям. Кабелі з паперовою ізоляцією жив застосовуються при температурі жив не вище +80 °С, а кабелі з гумовою ізоляцією при температурі жив до +65 °С. Як силових кабелів і контрольних кабелів рекомендується для проектованого ІВК використовувати такі марки: ВРБГ (броньовані без зовнішнього покриття з гумовою ізоляцією і поліхлорвініловою оболонкою) і КРВБГ, відповідно. Для дистанційного зв'язку дифманометра і КСД використовують кабелі з перетином 0,75-1,5 мм² з поліетиленовою ізоляцією в пластмасовій оболонці.

3.4 Диференціальний манометр

Дифманометри служать для визначення перепаду тиску між двома точками вимірювання в рідкому, газовому або паровому середовищі. Частіше всього вони застосовуються для вимірювання перепаду тиску в витратомірах із звужуючим пристроєм.

Безшкальні електричні дифманометри – витратоміри, працюючі в комплекті з вторинними приладами, служать для дистанційної передачі свідчень на щити управління агрегатами.

Манометр диференціальний мембрана взаємозамінний ДМ-3583М призначений для безперервного пропорційного перетворення параметрів, що вимірюються, в уніфікованій виході сигнал взаємної індуктивності.

Принцип дії дифманометра заснований на деформації чутливого елемента приладу при дії на нього перепаду тиску, внаслідок чого переміщається плунжер дифтрансформаторного перетворювача, жорстко пов'язаний з чутливим елементом.

Чутливим елементом дифманометра є блок мембрани, що складається з коробок мембран. Кожна з коробок мембран зварена з двох або чотирьох мембран. Внутрішні порожнини коробок мембран заповнені водним розчином етиленглюколя. Під впливом перепаду тиску в камерах нижня коробка мембрани стискається і рідина з нього стікає у верхню коробку, яка розширюється і переміщує плунжер дифтрансформаторного перетворювача і

приводить до зміни взаємної індуктивності між його первинним і повторним ланцюгами.

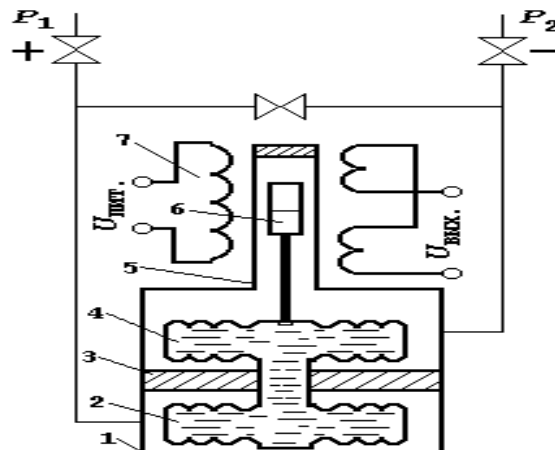


Рисунок 3.6- Схема дифманометра типу ДМ

1 – корпус; 2,4 – блоки мембран; 3 – перегородка; 5 – розділова трубка; 6 – плунжер; 7 – диференціально-трансформаторна катушка.

3.5 Пристрій вимірювання витрати

Метод вимірювання витрати витратомірами змінного перепаду тиску полягає в тому, що в трубопроводі, по якому протікає потік, що вимірюється, встановлюється звужуючий пристрій з отвором постійного перетину.

При протіканні речовини через цей отвір частина потенційної енергії потоку переходить в кінетичну, що супроводиться збільшенням швидкості потоку в місці звуження і зменшенням тиску за звужуючим пристроєм. Різниця тиску до і після звужуючого пристрою залежить від кількості проходячої по трубопроводу речовини.

По різниці тиску визначають витрату. Комплект витратоміра складається із звужуючого пристрою, диференціального манометра, повторного приладу диференціального манометра, що показує величину витрати, що вимірюється, сполучних трубок, замочних вентилів і інших допоміжних пристроїв.

Наприклад, якщо виміряють витрату пару, то в комплект витратоміра входять конденсаційні судини, при вимірюванні витрати агресивних середовищ в комплект витратоміра входять розділові судини.

Стандартні сопла рекомендує застосовувати при вимірюванні витрати газів і перегрітого пару при діаметрах трубопроводів до 200 мм при модулях в межах $m = 0,05 \div 0,6$. Сопло є звуженням, виконаним у вигляді насадки з плавно закруглюючи профілем збоку входу струменя, перехідним в коротку циліндрову частину.

Сопла виготовляють з тих же матеріалів, що і діафрагми, і встановлюють в кільцевих камерах. Звужуючі пристрої можуть встановлюватися на прямих горизонтальних, похилих і вертикальних ділянках трубопроводів.

Поблизу звужуючого пристрою не повинно бути місцевих гідравлічних опорів, таких як замочені вентиля, регулюючі клапани, закруглюють і розгалуження трубопроводу, раптові розширення і звуження трубопроводу і т.п. Необхідна якнайменша довжина прямих ділянок трубопроводу перед і після звужуючого пристрою залежить від модуля звужуючого пристрою.

3.6 Пристрій вимірювання тиску

Одноточковий автоматичний диференціальний трансформаторний прилад типу КСД2 працює в комплекті з первинним перетворювачем дифманометром типу ДМ. Дифманометр і повторний перетворювач мають однакові диф. трансформатори, котушки яких I і II з сердечниками містять первинну і вторинну обмотку. В середній частині катушки II розташована додаткова вторинна обмотка III, що служить коректором електричного нуля повторного приладу. Первинні обмотки AI і AII катушок I і II диф. трансформаторів сполучені між собою послідовно і харчуються змінним струмом напругою 24 В, частотою 50 Гц.

Вторинні обмотки цих катушок складаються з двох однакових секцій: VI і CI, VII і CII, VIII і CIII. При середньому положенні сердечників в катушках наводяться в секціях кожної повторної обмотки ЕДС рівні і взаємно компенсуються. В цьому випадку різниця потенціалів між вторинними обмотками катушок, що подається на вхід ЕУ, рівна нулю.

Зміна величини різниці тиску, що вимірюється, викликає зсув сердечника в катушці I. Наводиться ЕДС в секціях її повторної обмотки різна. На вхід підсилувача поступає різниця напруг між вторинними обмотками катушок. В ЕУ напругу розбалансу посилюється до значення, необхідного для роботи реверсивного асинхронного мікродвигуна РД.

Двигун, зв'язаний одночасно з жвавою кареткою відлікового пристрою, виробляє за допомогою кулачка Д0 переміщення сердечника в катушці II, що приводить до зрівнювання ЕРС, що наводяться в ній і катушці I.

Напруга розбалансу знову стає рівною нулю і реверсивний двигун зупиняється. Основна погрішність приладу $\pm 1\%$. Живлення приладу виробляється від сітки змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Допустима довжина сполучної лінії між дифманометром і повторним приладом 250 м. Для дистанційного зв'язку дифманометра з КСД використовують кабелі з перетином 0,75-1,5 мм² з поліетиленовою ізоляцією в пластмасовій оболонці по ГОСТ 6436-75.

3.7 Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювальної системи за концепцією “невизначеності”

Коли всі відомі і припущені складові похибки оцінено і проведено необхідні корекції, установлений результат усе ще залишається невизначеним, а тому не можна сказати однозначно, наскільки точно результат вимірювання відображає реальне значення вимірювальної величини.

Термін "невизначеність" означає сумнів щодо достовірності результату вимірювання, відсутність точної інформації про дійсне значення вимірюваної величини.

Джерела невизначеності при вимірюванні:

- неповне визначення (специфікація) вимірюваної величини;
- недосконала реалізація визначення вимірюваної величини;
- неадекватне знання про можливі ефекти від впливаючи величин чи недосконале їх вимірювання;
- суб'єктивна похибка оператора при зчитуванні показів аналогових приладів;
- скінчена роздільна здатність вимірювальних приладів чи поріг чутливості;
- неточне значення, приписане еталонам чи мірам фізичних величин;
- випадкові зміни зовнішніх впливаючи величин при повторних спостереженнях.

Невизначеність класифікують по методах оцінки і способу їх вираження. Усі невизначеності по методу оцінки поділяються на дві категорії: А і В. До категорії А відносяться складові, котрі оцінюються шляхом застосування статистичних методів, тобто ті, про які є апостеріорна інформація. До категорії В відносяться складові, котрі оцінюються іншими способами. Сумарна невизначеність - стандартна невизначеність результату вимірювання, що одержують зі значень інших величин, зв'язаних з вимірюваною величиною. Розширена невизначеність - інтервальна оцінка невизначеності вимірювання, що представляє собою добуток стандартної невизначеності на коефіцієнт охоплення, що залежить від виду розподілу і рівня довіри (імовірності охоплення). Відносна невизначеність - відношення стандартної, сумарної чи розширеної невизначеності до оцінки вимірюваної величини. Оцінки складових невизначеності можна одержувати апостеріорно чи апріорно.

Перший випадок (апостеріорне оцінювання) проводиться за результатами конкретного вимірювання і оцінює його невизначеність. Вимірювання треба проводити в двох варіантах:

- в умовах повторюваності (для оцінки і мінімізації складової невизначеності вимірювань, обумовленої випадковими ефектами);
- при зміні однієї з умов спостережень таким чином, щоб одержати мінливість результатів, що спостерігається, (для оцінки і мінімізації складової невизначеності результатів вимірювань, обумовленою змінною частиною не виключеної складової відомого систематичного ефекту).

У результаті обробки методами математичної статистики багаторазових спостережень можна одержати міру їхньої розсіяності навколо оцінки очікуваного значення, прийнятої за результат вимірювання. Як оцінку міри розсіяності результатів спостережень беруть експериментальне стандартне відхилення, назване стандартною невизначеністю типу А.

Апріорну оцінку складових невизначеності результатів вимірювань необхідно робити тоді, коли багаторазові спостереження для досліджуваного випадкового чи систематичного ефекту в даному вимірюванні не проводяться. У цьому випадку варто спиратися на інформацію, отриману з раніше проведених вимірювань, фізичних властивостей вимірюваної величини, паспортних даних на прилад чи довідників.

Поділ невизначеностей на тип А і В показує розходження в способах оцінки складових, а не розходження в джерелах їхнього виникнення. Обидва типи невизначеностей оцінюються на підставі розподілів ймовірностей (спостереження - для типу А і передбачення - для типу В) і характеризуються кількісно стандартним відхиленням.

Слід зазначити, що категорії А і В відносяться до поняття “невизначеність” і не є заміниками слів “випадкова” і “систематична”, застосовуваним до поняття “похибка”. Так, наприклад, результат однократного вимірювання обтяжений випадковою похибкою, однак через відсутність повторних вимірювань немає можливості її оцінити шляхом застосування статистичних методів (по типу А) [5]. Випадкова складова в

одному вимірюванні може стати систематичної складовою в іншому вимірюванні, у якому результат першого вимірювання використовується в якості вхідних даних (наприклад, при передачі розміру одиниці в перевірочній схемі [5]). При оцінюванні невизначеності від внесення поправки може бути застосований метод рандомізації систематичної похибки (розглянутий вище другий варіант проведення багаторазових спостережень) [5], при цьому оцінку невизначеності одержують статистичними методами (по типу А).

Розглянемо розрахунок за статичним методом.

Математичне очікувальне значення M_q величини q , для якої при спостереженнях при однакових умовах вимірювання отримані n незалежних значень q_i , є середнє арифметичне значення:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$$

Експериментальну дисперсію спостережень, яка є статичною оцінкою дисперсії $\sigma^2(q)$ розподілу ймовірностей величини q , отримують як :

$$s^2(q_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2$$

Додатній квадратний корінь $s(q_i)$ із дисперсії називають експериментальним середньоквадратичним відхиленням.

Найкращою оцінкою дисперсії середнього значення є:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_i)}{n}$$

Відповідне середньоквадратичне відхилення середнього значення :

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_i)}{\sqrt{n}}$$

Для результату вимірювання, приймаємо середнє значення стандартної невизначеності:

$$u_A(\bar{q}) = s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n(n-1)}}$$

Якби вимірювальна лабораторія не була обмеженою в часі і мала необмежені ресурси, то вона могла б провести вичерпні дослідження кожного можливого джерела, а невизначеності, пов'язані з кожним з них, могли б бути оцінені з допомогою статичного аналізу рядів спостережень.

При цьому такі дослідження з зрозумілих причин провести практично неможливо, частина складових невизначеності вимірювання повинна оцінюватися іншими методами, тобто шляхом розрахунку за типом В.

Розрахунок невизначеності за типом В базується на науковому судженні про можливу мінливість величини q з використанням всієї доступної інформації, і полягає, як правило, в використанні апріорного знання розподілу ймовірностей.

Коли невизначеність величини q неможливо оцінити за допомогою аналізу результатів повторних спостережень, необхідно використовувати апріорний розподіл ймовірностей і опирається на знання, яке завжди обмежене.

Для величини q існує оцінка границь a^+ та a^- (верхня та нижня границі) інтервалу, в межах якого знаходяться можливі її значення).

Середньою точкою інтервалу в даному випадку з відповідною дисперсією буде:

$$u^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)^2}{12}$$

або середньоквадратичним відхиленням:

$$u(q) = \frac{a^+ - a^-}{2\sqrt{3}}$$

Рівномірний розподіл не варто припускати, якщо відомо, що значення, близькі до границь інтервалу імовірніші, ніж ті, які лежать ближче до центру інтервалу. В цьому випадку нерідко, що розподіл є приблизно нормальним.

У випадку нормального розподілу інтервал $\mu_a \pm 3\sigma(q)$ покриває приблизно 99,73% розподілу.

В цьому випадку можна вважати :

$$u^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)^2}{36}$$

або

$$u(q) = \frac{(a^+ - a^-)}{6}$$

Однак, якщо впевненості в нормальності розподілу немає, то доцільно прийняти компроміс між рівномірним та нормальним розподілом, допускаючи, наприклад, розподіл Сімпсона (трикутний). Тоді

$$u^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)^2}{24}$$

або

$$u(q) = \frac{(a^+ - a^-)}{2\sqrt{6}}$$

Сумарна стандартна невизначеність - це невизначеність результату вимірювання, коли результат отримують із значень ряду інших величин. Вона являє собою квадратний корінь із суми членів, причому члени є дисперсіями чи кореляційними моментами (коваріаціями) цих величин,

вказаними у відповідності із тим, як результат вимірювання змінюється в залежності від зміни цих величин. Сумарна стандартна невизначеність $u_c(y)$ є також оцінкою середньоквадратичного відхилення і характеризує розсіяння значень, які могли б бути з достатнім обґрунтуванням приписані вимірюваній величині. Вона визначається за формулою:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u^2(X_i)$$

або

$$u_c(y) = \sum_{i=1}^N \sqrt{u^2(X_i)}$$

Отже, стандартна невизначеність - це невизначеність прямого вимірювання, а сумарна стандартна невизначеність - це невизначеність опосередкованого вимірювання. Стандартна невизначеність також може бути сумарною в разі прямого вимірювання з декількома джерелами похибок.

Розширена невизначеність U , яку можна очікувати, знаходиться більша частина розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням могли б бути приписані вимірюваній величині.

Число p , що показує, яка частина розподілу значень знаходиться в межах інтервалу, визначеного розширеною невизначеністю, називають імовірністю охоплення або рівнем довіри до інтервалу.

Розширену імовірність розраховують за формулою:

$$U = k \cdot u_c$$

де k - числовий коефіцієнт, що використовується як множник сумарної стандартної невизначеності для отримання розширеної. Його називають коефіцієнтом покриття або коефіцієнтом охоплення.

Якщо розширена невизначеність розрахована, то результат вимірювання можна подати у вигляді $Y = y \pm U$, що означає, що найкращою

оцінкою значення, яке приписується вимірюваній величині Y , є y , і що інтервал від $y-U$ до $y+U$ містить, як можна очікувати, більшу p частину розподілу ймовірностей значень, які можна з достатнім обґрунтуванням приписати вимірюваній величині.

Значення коефіцієнта покриття k вибирають на основі рівня довіри. Встановлення зв'язку між інтервалом, визначеним розширеною невизначеністю та рівнянням довіри вимагає явних і неявних припущень відносно розподілу імовірності, що характеризується результатом вимірювання і його сумарною невизначеністю. Рівень довіри, який може бути приписаний цьому інтервалу, може бути відомий лише в тій мірі, в якій такі припущення виправдані. В більшості практичних ситуацій при вимірюванні розрахунок інтервалу, який має заданий рівень довіри - наближений.

Відносна невизначеність - відношення стандартної сумарної чи розширеної невизначеності до оцінки вимірювальної величини:

відносна стандартна невизначеність типу А $u_A(x)/|x|, |x| \neq 0$;

відносна стандартна невизначеність типу В $u_B(x)/|x|, |x| \neq 0$;

відносна сумарна невизначеність $u_C(y)/|y|, |y| \neq 0$;

відносна розширена невизначеність $U/|y|, |y| \neq 0$;

3.8 Інформаційний опис вимірювання і зв'язок інформаційного підходу з теорією невизначеності

Аналіз впливу випадкових похибок з різними законами розподілу на кінцевий результат вимірювання показує, що вплив завади залежить не тільки від її величини (СКВ), але і від закону розподілу даної завади. Такий висновок носить назву 16-ї теореми Шеннона, яка стверджує, що, якщо завада не залежить від сигналу в імовірнісному плані, то дезінформацій на дія завади визначається величиною її ентропії:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \ln p(x) dx$$

Кількість інформації I визначається як різниця ентропії вимірюваної величини до і після вимірювання:

$$I = H(X) - H(X/X_n),$$

де $H(X)$ — ентропія (міра невизначеності) вимірюваної величини до її вимірювання, а $H(X/X_n)$ (цей запис читається як «ентропія X за умови X_n ») — ентропія дійсного значення x вимірюваної величини (міра інтервалу невизначеності) навколо одержаного після вимірювання показника X_n , тобто ентропія похибки вимірювання.

Ці оцінки невизначеності у вигляді ентропії до і після вимірювання можуть бути обчислені по співвідношенню на підставі імовірнісного опису ситуації до і після вимірювання.

Покажемо це на конкретному прикладі. Нехай для вимірювання величини x був використаний прилад з шкалою від X_1 до X_2 (наприклад, амперметр з шкалою від -50 А до $+50$ А).

Тоді імовірнісний опис ситуації до вимірювання полягає в тому, що вірогідність одержати покази приладу в інтервалах від $-\infty$ до X_1 і від X_2 до $+\infty$ рівна нулю, тобто щільність розподілу ймовірності $p(x)$ в цих інтервалах також рівна нулю.

Отже, покази можуть знаходитись лише в інтервалі від X_1 до X_2 і, якщо припустити, що вони із рівною імовірністю можуть опинитися в будь-якій частині цього діапазону, то імовірнісний опис ситуації до вимірювання буде зображати ся рівномірним розподілом x в межах від X_1 до X_2 і може бути записаний як:

$$\begin{cases} p(x) = \frac{1}{X_2 - X_1} \text{ при } X_1 \leq x \leq X_2 \\ p(x) = 0 \text{ при } x < X_1 \text{ і } x > X_2 \end{cases}$$

Звідси ентропія $H(X)$ до вимірювання згідно:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{X_2 - X_1} \ln \frac{1}{X_2 - X_1} dx = \ln(X_2 - X_1)$$

Таким чином, до вимірювання інтервал невизначеності прийдешнього відліку тягнеться від X_1 до X_2 , а шенноновська ентропія є логарифмічна міра довжини цього інтервалу.

Після проведення вимірювання одержуємо відлік X_n .

Проте внаслідок похибки приладу, рівної $\pm\Delta$, можемо стверджувати лише, що дійсне значення вимірюваної величини знаходиться в межах інтервалу невизначеності ширини $d=2\Delta$.

Таким чином, в поняттях теорії інформації зміст вимірювання полягає в звуженні інтервалу невизначеності від $[X_1, X_2]$ перед вимірюванням до $d=2\Delta$ після вимірювання, тобто в $N = (X_2 - X_1)/(2\Delta)$ разів.

Ентропія результату вимірювання після отримання показу X_n :

$$H(X/X_n) = - \int_{X_n - \Delta}^{X_n + \Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dx = \ln 2\Delta$$

тобто також є логарифмічною мірою нового інтервалу невизначеності.

Кількість інформації, одержана в результаті вимірювання, рівна різниці початкової ентропії, і ентропії, що залишилася після вимірювання, тобто

$$I = H(X) - H(X/X_n) = \ln(X_2 - X_1) - \ln(2\Delta) = \ln \frac{X_2 - X_1}{2\Delta} = \ln N$$

Число $N=(X_2 - X_1)/(2\Delta)$ показує, скільки інтервалів невизначеності величиною $d=2\Delta$ вкладається у всьому діапазоні $X_2 - X_1$, тобто яке число

різних градацій вимірюваної величини дозволяє одержати даний прилад або метод вимірювання.

Основна перевага інформаційного підходу до математичного опису випадкових похибок полягає в тому, що розмір ентропійного інтервалу невизначеності може бути обчислений математично для будь-якого закону розподілу, тобто немає необхідності припускати певну довірчу імовірність.

Покажемо це на конкретному прикладі, запозиченому з роботи К. Шеннона. Так, наприклад, для нормально розподіленої похибки

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\ln p(x) = -\ln(\sigma\sqrt{2\pi}) - \frac{x^2}{2\sigma^2}$$

Звідси ентропія похибки

$$H(X/X_{II}) = -\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \ln p(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \ln\left(\sigma\sqrt{2\pi} + \frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx =$$

$$= \ln \sigma\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx + \frac{1}{2\sigma^2} \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 p(x) dx.$$

Враховуючи, що $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1$ і за визначенням дисперсії: $\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 p(x) dx = \sigma^2$,

отримаємо $H(X/X_{II}) = \ln \sigma\sqrt{2\pi} + \frac{1}{2} = \ln \sigma\sqrt{2\pi} + \ln \sqrt{e} = \ln \sigma\sqrt{2\pi \cdot e}$, тобто інтервал невизначеності d результату вимірювання, знайдений через ентропію у відповідності до теорії інформації однозначно (без жодних припущень стосовно вибору рівня довірчої ймовірності) рівний $d = \sigma\sqrt{2\pi e} \approx 4,133\sigma$, а число градацій результату вимірювання при рівномірному розподілі імовірності різних значень вимірюваної величини:

$$N = (X_2 - X_1) / d = (X_2 - X_1) / (4,133\sigma)$$

Подібним же чином ентропійний інтервал невизначеності результату вимірювання може бути однозначно знайдений для будь-якого вираженого аналітично закону розподілу похибки.

Наприклад, при розподілі похибки за трикутним законом (розподіл Сімпсона):

$$H(X/X_{II}) = 1/\pi (\sqrt{6e\delta}) \text{ і } d = \sqrt{6e\delta} \approx 4,04\delta.$$

При практичному використанні викладеного інформаційного підходу для оцінки точності результатів вимірювань зручніше оперувати не значеннями ентропійного інтервалу невизначеності результату вимірювання d , а величиною, рівною половині цього інтервалу, яку називають ентропійним значенням похибки Δ_e .

$$H(X/X_{II}) = \ln d = \ln(2\Delta_e),$$

звідки

$$d = 2\Delta_e = e^{H(X/X_{II})}; \quad \Delta_e = \frac{1}{2} e^{H(X/X_{II})}$$

Співвідношення між ентропійним Δ_e і середнім квадратичним σ значеннями похибки різне для різних законів розподілу, і його зручно характеризувати значенням ентропійного коефіцієнта $k = \Delta_e/\sigma$ даного закону розподілу.

Використання ентропійного коефіцієнта дозволяє перейти від статистичних методів оцінки похибки до інформаційних, тобто пов'язати величину похибки із законом розподілу і відмовитись від припущень стосовно меж довірчого інтервалу.

Для використання імовірнісного підходу оцінки похибок на практиці насамперед необхідно визначити вид аналітичної моделі закону розподілу і скористатись табличними значеннями параметрів даного закону а також правилами сумування законів розподілу.

3.9 Оцінка невизначеності окремих складових на прикладі давача температури

Чутливим елементом даного давача є термоопір. Тому одним із джерел невизначеності є нагрівання чутливого елемента від підвищення струму.

Прийнемо гіпотезу рівномірного закону розподілу даної невизначеності будемо мати:

$$u_{стр} = \frac{2 \cdot 0,02}{2\sqrt{3}} = 0,012\text{мА}$$

Джерелом невизначеності також є вплив температури навколишнього середовища на параметри MIDI-порта ПЕОМ, через який здійснюється взаємодія давачів із програмною складовою ІВК.

Оскільки не лінійність на всьому діапазоні вимірювання є однаковою то отримаємо:

$$U_{терм..} = \frac{2 \cdot 0,02}{2\sqrt{3}} = 0,012\text{мА}$$

Нелінійність характеристики термоопору також є джерелом невизначеності. Згідно з паспортними даними стандартного термоопору відносна його похибка, зумовлена не лінійністю статичної характеристики, є 0,25%, що впливає на зміну вихідного сигналу в інтервалі $\pm 0,005\text{мА}$.

Не лінійність на всьому діапазоні вимірювання є однаковою, то прийнято рівномірний закон розподілу даної невизначеності.

Тому, використовуючи формулу, отримаємо:

$$U_{терм..} = \frac{2 \cdot 0,005}{2\sqrt{3}} = 0,003\text{мА}$$

Також джерелом невизначеності термометра є недосконале розміщення термоопору виникає на місцевий нагрів.

Приймем рівномірний закон розподілу даної невизначеності.

$$U_{\text{міст.}} = \frac{0.02 + 0.02}{2\sqrt{3}} = 0,0115 \text{ мА}$$

На невизначеність системи також впливає нестабільність коефіцієнту підсилення електронного блоку.

Розраховуємо дану невизначеність. Підставляючи дані, отримаємо:

$$u_{\text{ж.}} = \frac{0.02 + 0.02}{6} = 0,0067 \text{ мА}$$

Визначаємо невизначеність роботи всієї схеми вторинного приладу, доцільним є припустити нормальний закон розподілу цієї складової.

Тому, отримаємо:

$$U_{\text{БПО}} = \frac{2 \cdot 0,005}{6} = 0,0017 \text{ мА}$$

Сумарна стандартна невизначеність U_c результату вимірювання розрахуємо. Отже, в даному випадку u_c визначається як корінь квадратний із суми квадратів вище описаних джерел невизначеності:

$$u_{ct} = \sqrt{0.012^2 + 0.012^2 + 0.003^2 + 0.0115^2 + 0.0067^2 + 0,0017^2} = 0.02184 \text{ мА}$$

Розширена стандартна невизначеність в даному випадку визначається наступним чином [5].

Декілька складових похибки одноразового вимірювання треба об'єднати, подаючи результат вимірювання з розширеною невизначеністю.

Розширена стандартна невизначеність розраховується згідно формули

Для визначення коефіцієнту покриття к необхідно знати вид розподілу і рекомендовану для подання результату імовірність Р.

Визначаємо розширену невизначеність для рівняння довіри Р:

$$U = k_1 \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2} = k_1 \cdot u_c$$

де $k_1 = k(P)/\sqrt{3}$ - коефіцієнт, який залежить від рівня довіри Р, кількості компонентів і співвідношення між компонентами

При значенні коефіцієнта $k_1 = 1,1$ [5], прийнявши рівень довіри Р=0,95, отримаємо значення розширеної невизначеності:

$$U(P = 0.95) = 1,1 \cdot 0.02184 = 0,03124_{МА},$$

що в діапазоні температур 10-100 °С та номінальному струмі 2 мА означає розширену невизначеність вимірювання температури 1,406 °С .

3.10 Оцінка невизначеності окремих складових на прикладі давачів тиску і рівня.

В якості первинного перетворювача для каналу вимірювання тиску використовується дифманометр, чутливим елементом якого є мембрана.

Значна частина складових невизначеності цього перетворювача є наслідком не ідеальності мембрани.

Пружня поверхня мембрани визначається:

$$\lambda = \lambda_0 [1 - (\frac{r}{R})^2]^2$$

$1 < \lambda_0/h \leq 7$ між λ_0 і Р існує така нелінійна залежність :

$$\frac{PR^4}{Eh^3} = 5.86\lambda_0 + 3.58\frac{\lambda_0^3}{h^2}$$

а рівняння пружної поверхні описується такою залежністю:

$$\lambda = \lambda_0 \left(\frac{1}{z-1} \left[2 \left(\frac{r}{R} \right)^{z+1} - (z+1) \left(\frac{r}{R} \right)^2 + 1 \right] \right),$$

де $z = f(\lambda_0)/h$

На підставі дослідних даних можемо встановити зміну прогину мембрани внаслідок її не лінійності, що приведений до вихідного струмового сигналу, рівний $\pm 0,05\text{mA}$.

Отже, підставляючи у формулу 2.7, отримаємо:

$$U_{\text{нел}} = \frac{2 \cdot 0,25}{2\sqrt{3}} = \pm 0,15\text{mA}$$

Для розробленого давача нерівномірність жорсткості складає:

$$\Delta_{\text{жс}} = \frac{0,1\% \cdot 20\text{мм}}{100\%} = 0,02\text{мм}$$

В діапазоні $\pm 0,1\text{mA}$, ми отримуємо:

$$U_{\text{жс}} = \frac{2 \cdot 0,1}{6} = 0,03\text{mA}$$

Отже, підставляючи дані, отримаємо:

$$U_{\text{тем.сп.}} = \frac{2 \cdot 0,1}{2\sqrt{3}} = 0,06\text{mA}$$

Крім того на сумарну невизначеність каналу вимірювання тиску впливає невизначеність вторинного БПВИ-1, яка, згідно його паспортних даних, складає 0,25%.

Зміна вихідного сигналу давача в інтервалі буде $\pm 0,005\text{mA}$.

Визначаємо невизначеність роботи всієї схеми приладу, припускаємо нормальний закон розподілу цієї складової.

Тому, згідно формули 2.7, отримаємо:

$$U_{\text{БПВИ}} = \frac{2 \cdot 0,005}{6} = 0,0017\text{mA}$$

Оскільки канал вимірювання тиску також підключений до ПЕОМ через інтерфейс ний перетворювач і MIDI-порт, то його сумарна невизначеність включає також згадані вище складові: невизначеність порту і невизначеність інтерфейсного перетворювача, які відповідно рівні:

для порта:

$$U_{\text{MIDI}} = \frac{2 \cdot 0,02}{2\sqrt{3}} = 0,012\text{mA}$$

для інтерфейсного перетворювача

$$u_{\text{ж.}} = \frac{0,02 + 0,02}{6} = 0,0067\text{mA}$$

Сумарна невизначеність результату вимірювання тиску по каналу вимірювання розраховується згідно формули 2.13 і дорівнює:

$$u_{\text{ср}} = \sqrt{0,15^2 + 0,03^2 + 0,06^2 + 0,0017^2 + 0,012^2 + 0,0067^2} = 0,165\text{mA}$$

Розширена стандартна невизначеність для даного випадку визначається аналогічно стандартній невизначеності для температури.

При значенні коефіцієнта $k_1 = 1,1[5]$, і рівні довіри $P=0,95$, отримаємо значення розширеної невизначеності:

$$U(P = 0,95) = 1,1 \cdot 0,165 = 0,1815 \text{ мА},$$

ця величина діапазоні тисків від 0 до 4 кПа та номінальному струмі 2 мА означає розширену невизначеність вимірювання тиску 0,363 кПа.

Канал вимірювання рівня працює за принципом вимірювання гідростатичного тиску стовпа рідини і містить прилади, аналогічні тим, що складають канал вимірювання рівня.

Тому невизначеність каналу вимірювання рівня чисельно рівна невизначеності при вимірюванні тиску:

$$u_{cl} = \sqrt{0.15^2 + 0.03^2 + 0.06^2 + 0.0017^2 + 0.012^2 + 0.0067^2} = 0.165 \text{ мА}$$

Розширена стандартна невизначеність для даного випадку визначається аналогічно стандартній невизначеності для тиску. При значенні коефіцієнта $k_1 = 1,1$, і рівні довіри $P=0,95$, отримаємо значення розширеної невизначеності:

$$U(P = 0,95) = 1,1 \cdot 0,165 = 0,1815 \text{ мА},$$

така величина при номінальному струмі 2 мА для значення рівня рідини від 0,1 м до 2 м дає розширену невизначеність вимірювання рівня, що дорівнює 0,172 м.

Більші значення невизначеності для каналів вимірювання тиску і рівня пов'язані із використанням низько точного первинного перетворювача (дифманометра). Великі чисельні значення невизначеності дифманометрів ДМ, як видно із розрахунків, є наслідком використання в них мембран для яких характерні не лінійність пружності і гістерезис.

Значно підвищити точність вимірювання тиску і рівня можна здійснивши заміну первинного перетворювача на давач із кращими характеристиками.

3.11 Розрахунок сумарної похибки вимірювальних каналів за допомогою ентропійного коефіцієнта

Канал вимірювання температури містить первинний перетворювач – термометр опору типу ТСМ.

Похибка цього давача згідно його паспортних даних нормована максимальним значенням $\gamma_t = 0,5\%$.

Ця похибка є мультиплікативною і розподілена нормально. Задавшись значенням ймовірності рівним 0,98 по таблиці квантилів нормального розподілу [6] знаходимо, що ймовірності $P=0,98$ відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$.

Звідси шукане $\sigma_t = 0,5/2,3 = 0,218\%$, а параметри закону розподілу (табл. 3.1) .

Таблиця 3.1 - Параметри розподілів

№ п/п	Клас розподілу	Δ_m/σ	ε	χ	k
1	Нормальний	–	3	0,577	2,066
2	Рівномірний	$\sqrt{3} \approx 1,73$	1,8	0,745	1,73
3	Трапецієвидний	$\sqrt{4,15} \approx 2,04$	1,9	0,745	1,83
4		$\sqrt{4,8} \approx 2,19$	2,016	0,745	1,94
5		$\sqrt{5,2} \approx 2,32$	2,184	0,745	2,00
6	Трикутний	$\sqrt{6} \approx 2,44$	2,4	0,645	2,02
7	Арксинусоїдальний	$\sqrt{2} \approx 1,41$	1,5	0,816	1,11
8		$4/\sqrt{5,2} \approx 1,79$	1,72	0,752	1,76
9		2	2,25	0,667	1,88

Для перетворення вихідного сигналу зміни опору терморезистивного перетворювача в уніфікований струмовий сигнал використовується блок перетворення опору БПО-32.

Похибка блоку є нормально розподіленою адитивною і нормується згідно паспортних даних максимальним значенням її $\gamma_p = 0,25\%$.

Ймовірності $P = 0,98$ відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$. Звідси шукане $\sigma_p = 0,25/2,3 = 0,109\%$. Параметри закону розподілу відповідають вказаним вище.

Похибка АЦП звукової карти $\gamma_k = 0,3\%$ можна вважати половиною ширини цього рівномірного розподілу і визначити СКВ як $\sigma_k = \gamma_k/\sqrt{3} = 0,3/\sqrt{3} = 0,173\%$, $k = 1,73$ $\varepsilon = 1,8$ і $\chi = 0,745$.

Погрішність математичних обчислень на ПЕОМ є адитивною, з рівномірним розподілом, її величина складає порядку $10^{-6}\%$ і є достатньо малою порівняно з іншими складовими сумарної похибки, тому цією похибкою можна знехтувати.

Правила сумування похибок базуються припущенні, що похибка за своїм абсолютним значенням завжди набагато менша за значення самої вимірювальної величини.

В даному випадку зв'язок між складовими сумарної похибки відсутній, тобто ці складові є некорельованими. Відповідно, сумарна похибка каналу визначається як геометрична сума всіх складових похибок.

Якщо сумованих складових більше двох (як у даному випадку), то сумування виконується послідовно – першої складової похибки з другою, потім отриманого результату з третьою, і т.д. Таким чином можуть бути визначені розрахункові значення σ_Σ і ε_Σ при сумуванні будь-якої кількості складових.

Розрахунок ваги дисперсії однієї із сумованих складових в загальній дисперсії:

$$p = \sigma_1^2 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$$

Ексцес даного розподілу буде визначатись як:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_1 \cdot p^2 + 6 \cdot p(1-p) + \varepsilon_2(1-p^2)$$

а контрексцес

$$\chi_c = 1/\sqrt{\varepsilon_c}$$

Ентропійний коефіцієнт композиції двох розподілів визначається з допомогою кривих [6]:

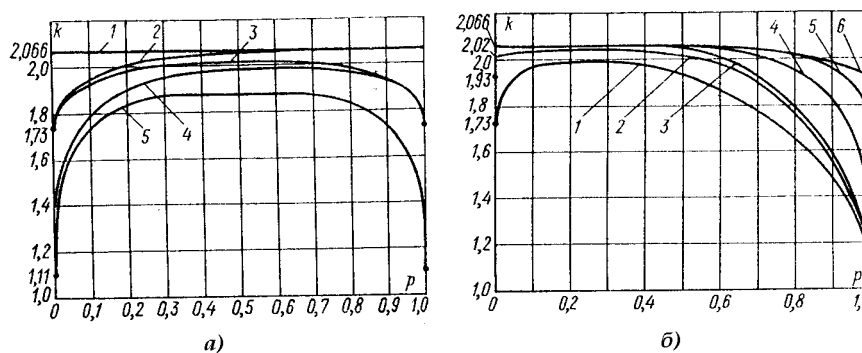


Рисунок 3.7 – Графіки залежності ентропійного коефіцієнта k_{Σ} і їх ентропійних коефіцієнтів:

Також можна скористатися аналітичними розрахунками за формулами, що апроксимують зображені на рис. 3.7 криві. Так для кривих 1, 3, 5 формула має вигляд рис. 3.7 а:

$$k_{\Sigma} = k + 1,15(k_H - k)^{0,75} [p(1-p)]^{0,21k^{1,15}},$$

де k – ентропійний коефіцієнт сумованих складових,

p і $(p-1)$ – ваги складових,

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

Несиметричні криві виду кривої 4 на рис 3.7 ,а з початком у $k=k_1$ і кінцем при $k=k_2$, де $k_1 < k_2$ можуть бути описані виразом

$$k_{\Sigma} = k_1 + (k_2 - k_1)[p + a_0 p^{a_1} (1 - p)^{a_2}],$$

де p – вага складової з $k = k_1$,

$(1-p)$ – вага складової з $k = k_2$,

$$a_0 = 0,817(1 + k_1/k_2); a_1 = 0,75(1 + k_1/k_2)^{4,5}; a_2 = 1,23(k_1/k_2)^2$$

Несиметричні криві виду кривої 2 на рис. 2.1,а і кривих 4-6 на рис.2.1,б для сумування нормально розподілених похибок із похибками з ентропійним коефіцієнтом k описуються виразом:

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

де p – вага складової з ентропійним коефіцієнтом k ,

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

Для спрощення розрахунків сумарної похибки каналу скористаємося програмою “Калькулятор похибок 1.0”, що дозволяє знаходити сумарну похибку каналу за відомими характеристиками складових. Результат роботи програми для обчислених вище похибок елементів каналу .

Сумарна похибка каналу вимірювання температури рівна $1,423$ °С.

Розраховане раніше значення невизначеності для цього каналу склало $1,406$ °С, тобто різниця між даними характеристиками є достатньо малою. Така різниця є наслідком відмінностей в алгоритмах розрахунків і неточності обчислення.

Значення похибки для каналу вимірювання температури є достатньо малим і при середній вимірюваній температурі 45 °С відносна похибка складе

$$\delta = (1,423 \text{ °С} / 45 \text{ °С}) \cdot 100 \% = 3,16 \%$$

Як видно із проведених раніше розрахунків розширеної невизначеності для каналу вимірювання тиску, даний канал містить первинний перетворювач із значними складовими невизначеності.

Аналіз джерел похибок каналу вимірювання тиску показує, що основну частину похибок спричиняє залежність характеристик мембрани від сторонніх впливів а також недосконала конструкція самої мембрани (явища гістерезису і нерівномірна жорсткість мембрани).

З метою покращення характеристик вимірювального каналу тиску пропонується замінити первинний перетворювач (дифманометр) приладом із більш високими показниками точності, можливо виготовленим на базі тензорезистивного перетворювача.

На даний час промислово виготовляються первинні перетворювачі тиску із стандартним струмовим вихідним сигналом 4-20 мА і достатньо високою точністю перетворення. Використання такого приладу дозволить підвищити загальну точність вимірних каналів тиску і рівня за рахунок використання первинного перетворювача із кращими характеристиками, але й за рахунок відсутності вторинного приладу БПВИ, який буде непотрібним у зв'язку з тим, що сигнал із первинного приладу буде надходити безпосередньо на інтерфейсний перетворювач.

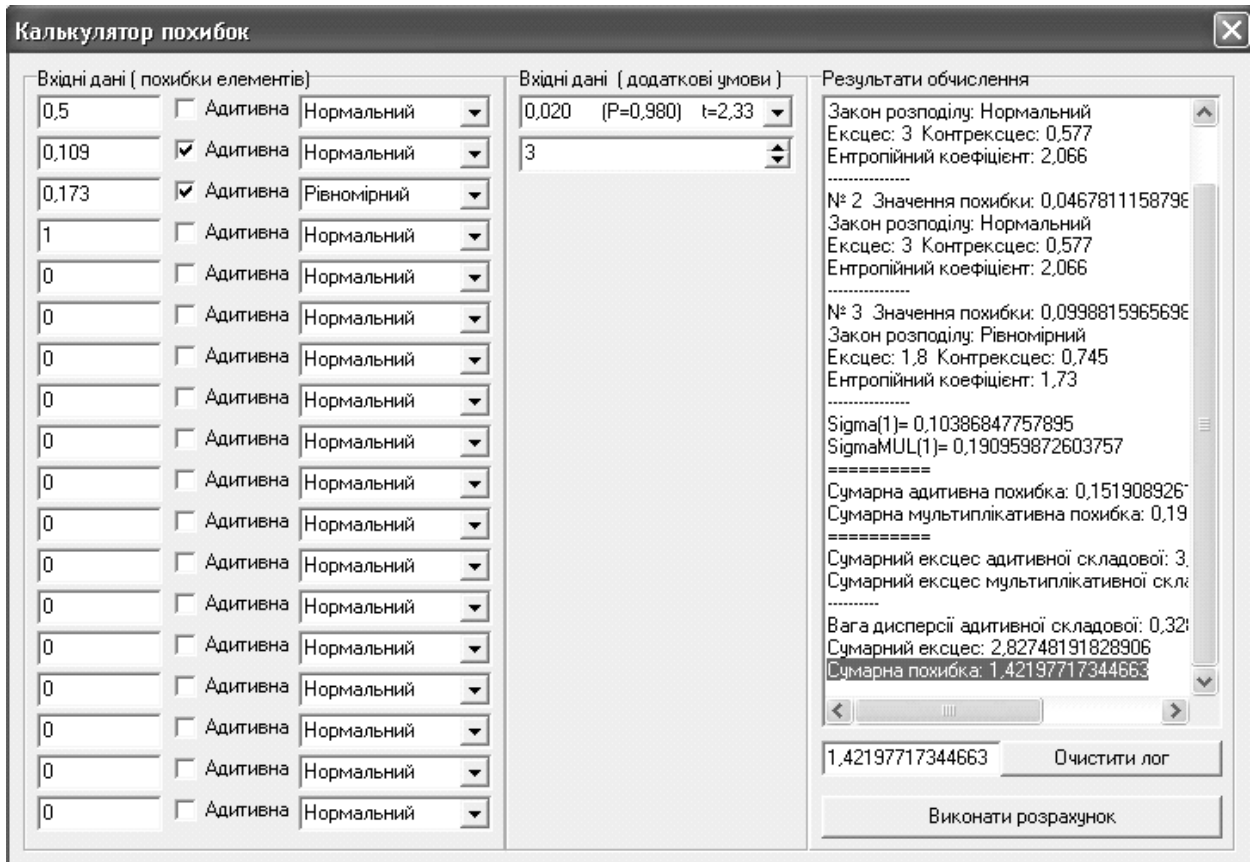


Рисунок 3.8 - Розрахунок сумарної похибки каналу вимірювання температури з допомогою програми "Калькулятор похибок 1.0".

3.12 Статичні дослідження і отримання експериментальних результатів

Метою статистичного дослідження є створення передумов для поширення отриманих експериментальних результатів від тестування конкретного процесу на цілий клас явищ даного типу.

При проведенні експериментальних вимірювань постає питання:

- котрий результат за багатократного вимірювання однієї і тої самої величини можна вважати істинним. Як через об'єктивні, (напр. зміна зовнішніх умов), так і суб'єктивні (напр. відхилення в діях оператора) обставини ці результати можуть дещо відрізнятися;
- чи можна об'єднувати результати експериментальних вимірювань, здійснених за однією і тією ж методикою, але в різних обставинах;
- як оцінити рівень випадкових похибок, які завжди супроводжують вимірювальний експеримент.

На ці запитання можна отримати відповідь, виходячи із основних положень математичної статистики.

Вона може бути скінченою або нескінченною.

Тому при вивченні впливу яскравості освітлення на робочому місці на продуктивність праці загальний набір спостережень є теоретичним, оскільки яскравість освітлення може безперервно змінюватися в межах заданого інтервалу практично нескінченно.

Н об'єктів (спостережень) генеральної сукупності називають об'ємом генеральної сукупності. Оскільки на практиці не часто є можливість досліджувати кожний елемент генеральної сукупності при статистичному аналізі.

Частина об'єктів генеральної сукупності, що вивчається в ході дослідження, називається вибіркою, а кількість n об'єктів (спостережень) вибірки називають її об'ємом.

Вибірка, що адекватно характеризує генеральну сукупність називається репрезентативною вибіркою.

Для репрезентативності необхідно щоб кожне значення X_i було отриманим за однакових умов, і щоби випадкові величини X_i були попарно незалежними.

Упорядковані вибіркові значення $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ складають варіаційний ряд: $x_1 = \min\{x_i\}$, $x_n = \max\{x_i\}$. Якщо розбити відрізок $[x_1, x_n]$ на k рівних відрізків і в i -тий відрізок $[x_i, x_{i+1}]$ попали n_i членів варіаційного ряду, то графік функції $f(x) = \frac{n_i}{n}$, $x \in [x_i, x_{i+1}]$ представляє гістограму (див. рис.1).

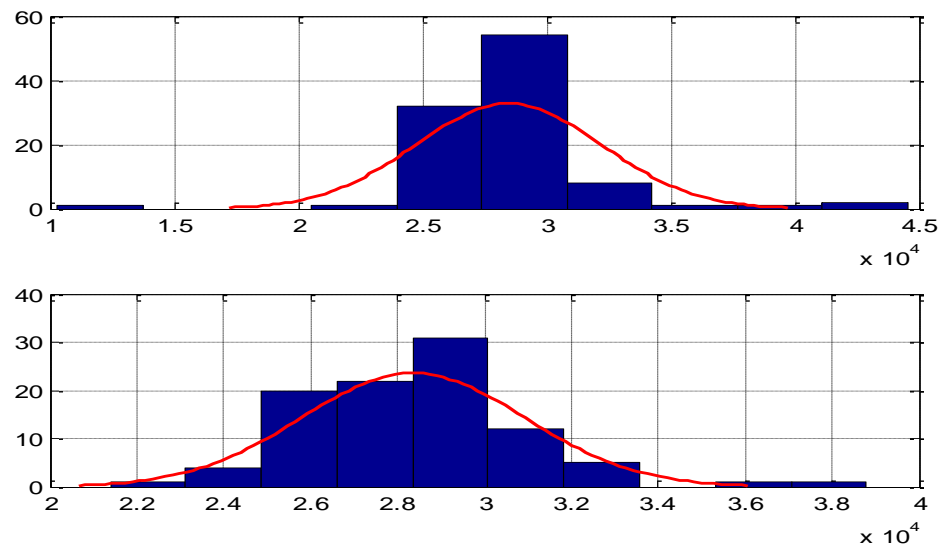


Рисунок 3.9 - Гістограма масивів вимірюваних даних

Полігон це графік кусково постійної функції. Якщо з'єднати середини сторін ланок гістограми відрізками прямих, отримуємо ламану лінію, що називається полігоном частот.

3.13 Знаходження статистичних оцінок вимірюваних даних з використанням MATLAB

В середовищі MATLAB наявний цілий ряд функцій, які дозволяють отримувати вищеприведені статистичні оцінки і візуалізувати результати статистичного аналізу як в пакетному, так і в індивідуальному режимі. Зокрема:

```
clear all
```

```

%задання масиву даних
x=[1 4 2 7 3 9 5 2 7 6 5 0 9 7 6 2 8 0 5 1]
%кількість елементів (розмірність) масиву даних
n=length(x)
%впорядкування масиву даних за зростанням значень
елементів
xs=sort(x)
%знаходження середнього значення за значеннями
масиву даних
mx=mean(x)
%знаходження дисперсії за значеннями масиву даних
vx=var(x)
%знаходження середнього абсолютного відхилення
%від середнього значення за значеннями масиву
даних
msx=mad(x)
%знаходження середнього квадратичного відхилення
%від середнього значення за значеннями масиву
даних
sx=std(x)
%знаходження асиметрії розкиду даних
symx=skewness(x)
%знаходження ексцесу розкиду даних
excx=kurtosis(x)
%знаходження медіани розкиду даних
medx=median(x)
%знаходження діапазону розкиду даних
diarx=range(x)

%графічна візуалізація
plot(x,'o')
hold on
M(1:n)=mx;
MM(1:n)=medx;
S1(1:n)=mx-msx;
S2(1:n)=mx+msx;
S11(1:n)=mx-sx;
S22(1:n)=mx+sx;
plot(M,'r')
plot(S1,'g')
plot(S2,'g')
plot(S11,'b')
plot(S22,'b'),grid
plot(MM,'k')

```

Так чином серію значень вимірюваної величини (в даному випадку масив x) можна представити узагальненими характеристиками, зміст яких відображено на рис.3.10 :

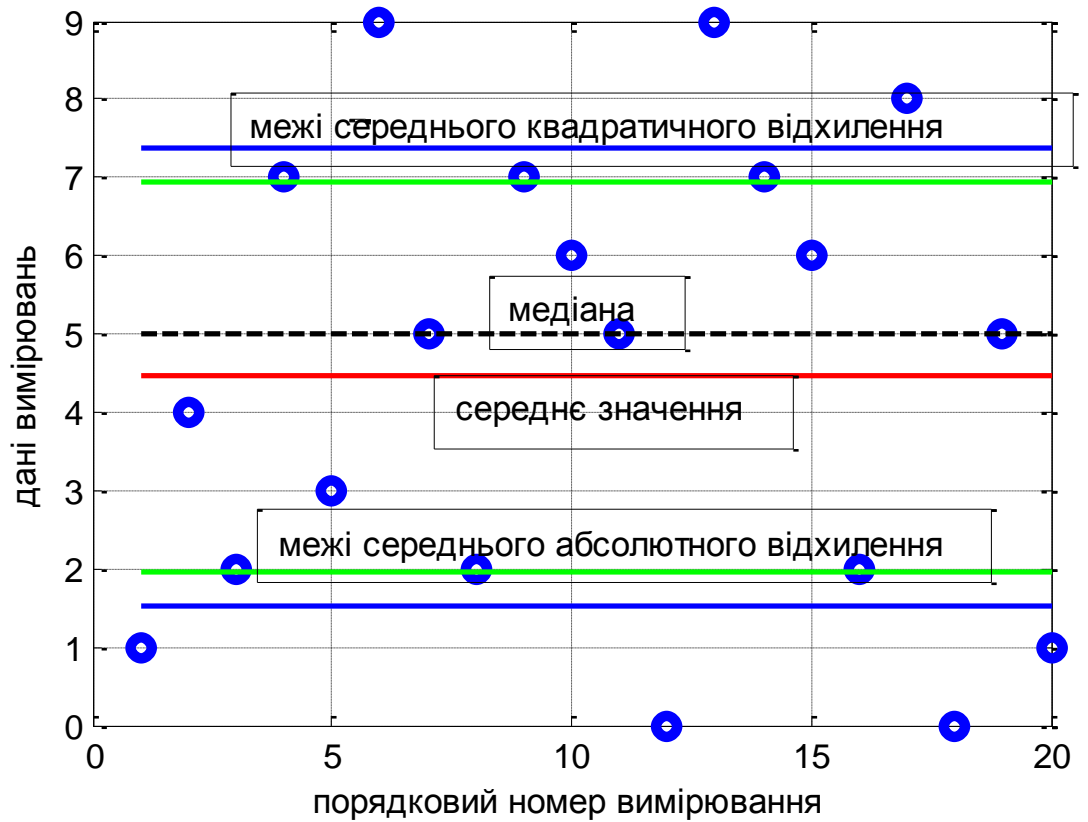


Рисунок 3.10 - Оцінки вищеприведених статистичних характеристик для масиву даних $x=[1\ 4\ 2\ 7\ 3\ 9\ 5\ 2\ 7\ 6\ 5\ 0\ 9\ 7\ 6\ 2\ 8\ 0\ 5\ 1]$.

Якщо дані представлені одномірним масивом S , наприклад:

$S=1.0e+004 * [$									
2.9664	3.1290	4.4539	2.9056	2.8841	2.4911				
2.7441	2.9064	3.5653	3.3440	2.4468	3.3528	3.0277	2.7179	3.0081	
2.7667	2.8744	3.0136	3.0703	3.0048	3.0267	2.4594	2.9984	3.1895	
2.9715	2.9238	2.9253	2.6913	2.9188	1.0288	3.0598	2.5070	2.5390	
2.5672	2.1384	3.1615	2.8810	2.6590	3.0031	2.5283	2.8040	2.7219	
2.8665	2.8429	2.5422	2.7420	2.6917	2.8623	2.9666	3.0053	2.5372	
2.8960	2.6461	2.5755	2.7965	3.0741	2.7261	2.8481	2.6771	3.8795	
2.5601	2.7548	2.8913	2.9394	3.0352	2.9056	2.5929	2.6666	2.4996	
3.2170	2.6475	3.0139	2.6646	2.8863	2.5808	2.5494	2.5619	2.9272	
2.7547	2.7702	3.0431	2.9073	2.7774	3.1549	2.5758	2.9130	2.9921	

2.8073 2.7594 4.1527 2.6256 2.8183 2.9316 3.3065 2.6279 2.8392
2.7857 2.4769 2.7712 2.4699],

то мінімальне і максимальне значення серед елементів масиву знайдемо як

$\min(S)$, $\max(S)$, а виправлені середнє значення і квадратичне відхилення як $\text{mean}(S)$, $\text{std}(S)$ відповідно.

На рис. 3.11 показано графічне представлення масиву S в цілому і $S1$ - обмеженого значеннями $\text{mean}(S)-3*\text{std}(S)$ знизу і $\text{mean}(S)+3*\text{std}(S)$ зверху:

```
subplot(2,1,1)
stem(S,'o'),grid
axis([1,100,0,45e3])
subplot(2,1,2)
stem(S1,'o'),grid
axis([1,100,0,45e3])
```

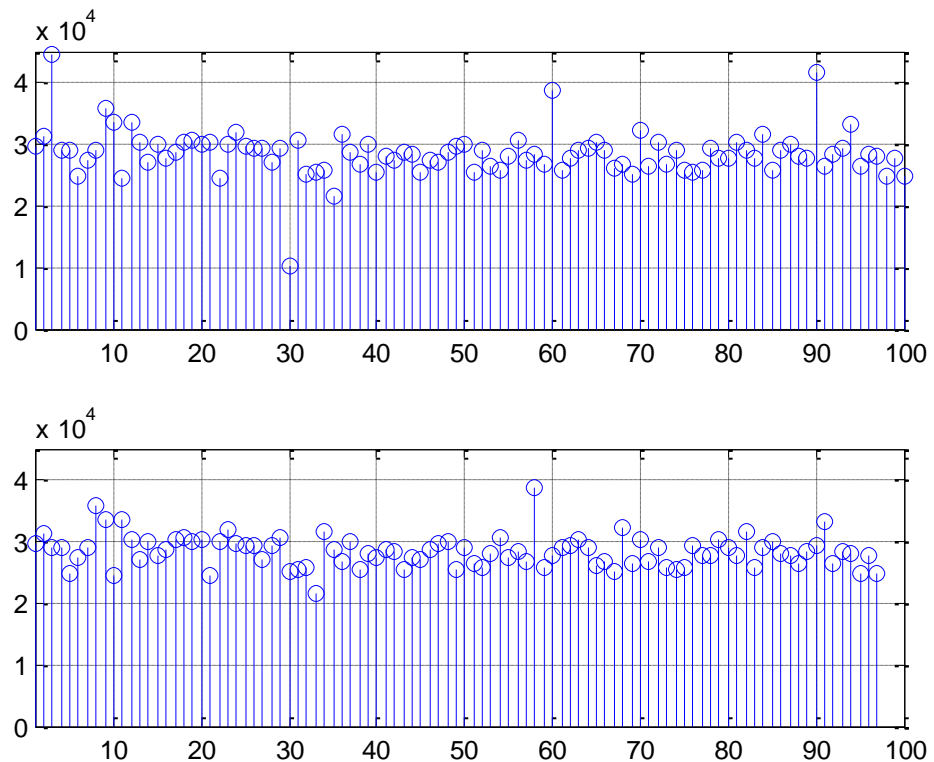
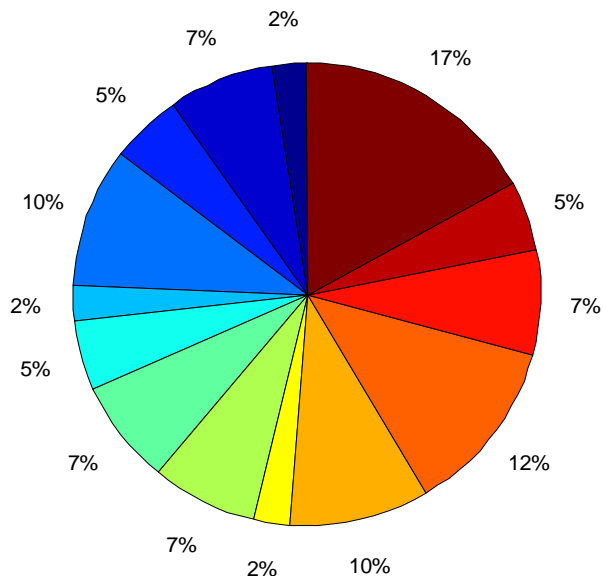


Рисунок 3.11 - Масиви вимірних значень S і $S1$.

Або круговими діаграмами: $\text{pie}(x)$:



або: `pie3(x, [0 0 0 0 2 3 3 3 0 0 0 1 1 1]) :`

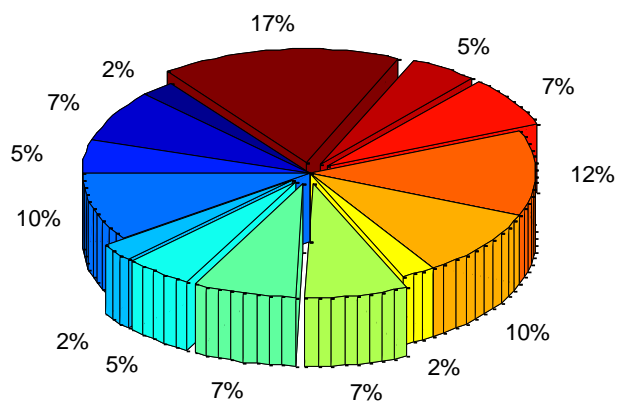


Рисунок 3.12 - Кругові діаграми для розподілу значень в масиві даних $x=[1\ 3\ 2\ 4\ 1\ 2\ 3\ 3\ 1\ 4\ 5\ 3\ 2\ 7]$ (коефіцієнти $[0\ 0\ 0\ 0\ 2\ 3\ 3\ 3\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1]$ в операторі `pie3` задають дискретне представлення окремих фрагментів діаграми).

Графічне представлення масиву числових даних S та $S1$ гістограмами (див.рис.1) можна реалізувати операторами:

```
subplot(2,1,1)
histfit(S),grid
subplot(2,1,2)
histfit(S1)
grid
```

або

```
bar3(s')
```

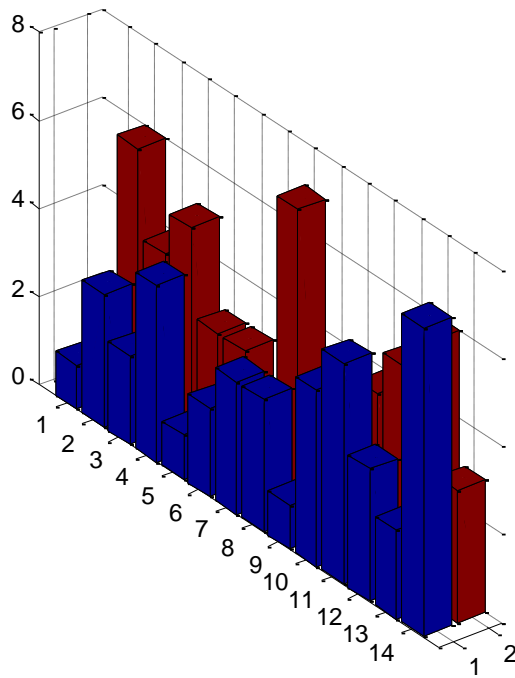


Рисунок 3.13 - Сумісне представлення масивів даних $x=[1\ 3\ 2\ 4\ 1\ 2\ 3\ 3\ 1\ 4\ 5\ 3\ 2\ 7]$ і $y=[2\ 6\ 4\ 5\ 3\ 3\ 2\ 7\ 1\ 1\ 4\ 5\ 6\ 3]$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В процесі праці людина вступає у взаємодію з предметами праці, знаряддям праці, іншими людьми.

Крім того на неї діють різні параметри виробничої обстановки, в якій протікає процес праці (температура, вологість, рухливість повітря, шум, вібрація, шкідливі речовини, різні випромінювання і т.д.).

Від умов праці у великій мірі залежить здоров'я і працездатність людини, її відношення до праці і результати праці [12]. При несприятливих умовах різко знижується продуктивність праці і складаються передумови для виникнення травм і професійних захворювань.

У осіб переважно розумової праці, робота яких супроводжується нервово-психічним напруженням (оператори, диспетчери і т.д.), частіше реєструється патологія, у якій є істотною роль порушень нервово-ендокринної регуляції: це захворювання нервової системи, органів травлення та органів чуття.

Основною потенційною небезпекою при експлуатації даної установки є електрична енергія, якою живляться прилади і пристрої.

Для захисту від ураження електричним струмом здійснюється заземлення електроприладів даної установки.

Крім того, існують певні шкідливі фактори, які виникають при роботі з ЕОМ та даною установкою.

В якості приміщення для проведення моделювання вибираємо лабораторію. У цьому випадку забезпечується максимальна безпека для життя та здоров'я обслуговуючого персоналу, наукових працівників, які працюють в прилеглих приміщеннях.

Крім того, в лабораторії необхідні умови безпеки забезпечити легше, оскільки людей, які знаходяться в безпосередній близькості, є мінімальна

кількість.

Основним фактором, що забезпечує нормальні метеоумови в робочій зоні є вентиляція.

Оскільки в приміщенні лабораторії не виконуються шкідливі види робіт, які б потребували застосування місцевої вентиляції, то у даному випадку використовується загальна притічно-витічна вентиляція.

Електрична установка представляє для людини велику потенційну небезпеку, так як в процесі експлуатації чи проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, які знаходяться під напругою.

Специфічна небезпека електроустаткування: струмопровідні частини, корпуси обладнання, яке знаходиться під напругою.

Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні струму через тіло людини.

Дуже важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючої установки, проведення ремонтних, монтажних та профілактичних робіт.

Безпечність експлуатації при нормальних режимах роботи електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: застосування ізоляції, недоступність струмопровідних частин, методи орієнтації, застосування малих напруг, ізоляцією електричних мереж від землі, компенсацією ємностей складових струму замикання на землю, вирівнювання потенціалів та застосування ізолюючих ділянок.

Одним з найефективніших захистів є захисне заземлення. Захисним заземленням називаються заземлюючі прилади, призначені для з'єднання металічних частин електрообладнання, які не знаходяться під напругою, з землею безпосередньо металічним провідником-заземлювачем.

Призначення захисного заземлення – понизити до безпечної величини напругу відносно землі, яка виникає безпосередньо на металічних частинах електроустановки та в іншій апаратурі у випадку пробоя, або пошкодження ізоляції провідників, які несуть робочий струм.

Незважаючи на те, що параметри електростатичного та

електромагнітного полів, які утворюються біля екранів дисплеїв при роботі електронно-променевої трубки, не перевищують нормативних значень, було встановлено, що застосування приєкранних фільтрів зменшує скарги користувачів ЕОМ на погане самопочуття. Кожний фільтр має різні світлотехнічні характеристики і захисні властивості.

Захисні фільтри, що рекомендуються для захисту людини від візуальних дисплейних терміналів, є таких типів: сітчаті, плівкові і скляні. Найбільшою популярністю користуються скляні фільтри, які забезпечують 95% видимості і мають всі захисні властивості.

Проектування нормальних умов праці вимагає правильного проектного рішення розташування робочих та допоміжних площ.

Для забезпечення нормальних умов праці необхідно також підтримувати оптимальні метрологічні умови в робочих приміщеннях.

Рекомендовані умови для експлуатації техніки:

1 температура оточуючого повітря $20 \pm 5^\circ\text{C}$;

2 відносна вологість повітря $65 \pm 15\%$;

3 атмосферний тиск 84-106.7 кПа.

При виконанні робіт, що супроводжуються шкідливою дією на організм людини та проявами підвищеної небезпеки, передбачається застосування колективних та індивідуальних засобів захисту.

4.2 Розрахунок захисного заземлення

Електрообладнання установки живиться від електромережі напругою 220 В. Вимірний питомий опір ґрунту $\rho_s = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Вимірювання відбувались при сухому ґрунті.

Найбільший допустимий опір захисного заземлення в електроустановках з напругою до 1000 В не перевищує 4 Ом.

Заземлення виконуємо з стержнів діаметром 12 мм і довжиною 3 метри.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{роз} = \rho_{\epsilon} \cdot \psi,$$

де ρ_{ϵ} - вимірний питомий опір ґрунту, ψ - кліматичний коефіцієнт.

З таблиці питомих електричних опорів ґрунтів і кліматичних коефіцієнтів визначаємо кліматичний коефіцієнт для сухого ґрунту – $\psi_3 = 1.4$.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{роз} = 100 \cdot 1.4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір заглибленого вертикального заземлювача знаходимо по формулі:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right),$$

де ρ - питомий опір ґрунту; l - довжина стержня; d - діаметр;

$H_0 \geq 0.5$ м - відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні;

H - відстань від поверхні до середини заземлювача.

Підставляючи в формулу числові значення $H = 2.1$ м, $l = 3$ м,

$d = 0.012$ м, $\rho = 140$ Ом · м отримуємо опір розтікання струму

одиночного заземлювача:

$$R = \frac{140}{2\pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0.012} + \frac{1}{2} \ln \frac{42.1+1}{42.1-1} \right) = 7.427 (\ln 500 + 0.5 \ln 2.111) = 48.93 \text{ Ом},$$

Необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів визначаємо з формули:

$$n = \frac{R_1}{R_{\text{н}} \cdot \eta_3},$$

де R_1 - опір розтіканню струму одного заземлювача, $R_{\text{н}}$ - максимально допустимий опір усіх штучних заземлювачів, η_3 - коефіцієнт використання заземлювачів, в якому враховується їх взаємне екранування. Для визначення коефіцієнта потрібно задати конфігурацію розташованих заземлювачів.

Розглянемо випадок, коли вертикальні стержні розташовані по контуру квадрата 15x15 м.

Якщо відстань між заземлювачами складає 3 метри, то по периметру квадрата можна розмістити 20 стержнів. В якості з'єднувальної смуги використовуємо сталюну шину 40x4 мм. Довжина з'єднувальної шини визначається периметром квадрата 15x15 метрів і рівна 60 метрів.

Опір розтікання струму шини обчислюється по формулі для

обчислення опору горизонтального заглибленого заземлювача:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH},$$

де ρ - питомий опір ґрунту; l - довжина заземлювача; H - віддаль від поверхні до заземлювача; b - ширина заземлювача.

Опір з'єднуючої шини:

$$R = \frac{140}{2\pi 60} \ln \frac{2 \cdot 60^2}{0.04 \cdot 0.6} = 0.37136 \cdot \ln 300000 = 4.6834 \text{ Ом.}$$

Так як відношення відстані між вертикальними стержнями до їх довжини рівне одиниці, число заземлювачів $k=20$, то коефіцієнт використання горизонтальної з'єднуючої смуги $\eta_n=0.27$. З врахуванням цього коефіцієнта опір шини:

$$R_2 = \frac{4.6834}{0.27} = 17.36 \text{ Ом.}$$

Вертикальні стержні і горизонтальну шину розглядаємо як два паралельно з'єднаних опори. Тоді необхідний сумарний опір вертикальних заземлювачів знаходиться з умови:

$$R_{\text{вв}} \leq \frac{R_2 \cdot R_0}{R_2 + R_0},$$

де $R_{\text{вв}}$ - опір розтіканню струму вертикальних заземлювачів,

R_2 - опір розтіканню струму з'єднуючої шини,

R_0 - максимально допустимий опір заземлюючого пристрою.

Враховуючи коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_3=0.5$ (при відношенні відстані між заземлювачами до їх довжини $S/l = 1$ і числі стержнів $k=20$), визначаємо необхідну кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{\eta_3 \cdot R_{\text{вв}}} = \frac{48.93}{0.5 \cdot 5.198} = 18.82 \approx 19 \text{ шт.}$$

Визначимо опір системи:

$$R_{\text{сис}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_2}{R_{\text{в}} \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n} = \frac{48.93 \cdot 4.68}{48.93 \cdot 0.5 + 4.68 \cdot 0.27 \cdot 19} = 3.72 \text{ Ом} < 3.9 \text{ Ом}$$

Отже, опір заземлювачів, розміщених по контуру квадрата 15x15 м не перевищує максимально допустимого значення 4 Ом.

ВИСНОВКИ

Викладений у даній кваліфікаційній роботі матеріал стосовно розробки каналів вимірювання процесів температури, тиску, рівня і орієнтований на практичний розв'язок оптимізації роботи оборотних систем нафтового господарства промислових підприємств.

Для кількісної оцінки параметрів нафтоутворення у оборотних системах методи моделювання є найбільш ефективними з точки зору вивчення механіки цього процесу та потенціалу прогнозування та управління. Розроблені моделі і сам методологічний підхід щодо їх побудови можуть бути використані для будь-якої схеми нафтових систем господарства.

Середовище MATLAB представляє широкі можливості унаочненого статистичного опрацювання даних. Їх використання суттєво підвищує продуктивність праці дослідника.

Отримані якісні характеристики параметрів нафто утворення у подальшій роботі будуть співставленні із експериментальними дослідженнями діючих систем промислових підприємств.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2017. – 206 с.

2 Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2017. – 255 с.

3 Практикум з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології»: навчальне видання / Д.М.Нестерчук, М.В.Постнікова. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 100 с.

4 Дудюк Д.Л., та ін. Електричні вимірювання. Навчальний посібник – Львів: Афіша, 2003.-272с.

5 Захаров И.П. Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях – Харьков.: Консум, 2002 – 256 с.

6 Цюцюра В.Д. , Цюцюра С.В. Метрологія та основи вимірювань; Навчальний посібник – К. знання – Прес, 2003.- 180с.- (Вища освіта ХХІ століття).

7 Рего К. Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений : Справочное пособие .- К.: Техника , 1987.- 128с.

8 Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та інші. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник./ Львів: Видавництво „Бескид Біт”, 2003. – 544с.

9 Дорожовець М.та інші .Основи метрології та вимірювальної техніки . Підручник у 2 т. Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005- Т.1. Основи метрології. - 537 с.

10 Є.С Поліщук, М.М.Дорожовець та інші. Засоби та методи вимірювання неелектричних величин. Підручник за ред.. проф. В.С. Поліщука – Львів. Видавництво “Бескид Біт”, 2008- 618с.

11 П.П.Орнатский.Автоматические измерения и приборы,К.:Вища школа,1986.

12 Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т./М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 1300 с.

13 Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В.Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013.–538 с

14 Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К.: Вища школа,1983.

15 Теоретические основы информационно-измерительных систем:Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Еременко и др., под ред. чл.-кор. НАН Украины В.П. Бабака / – К.: София-А, 2014. – 832с.