

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Автоматизації енергетичних процесів**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

_____ Володимир
ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології кібер-енергетичних систем»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Полігон імітаційного НІЛ-моделювання інформаційно-
вимірювальних систем теплоенергетичних автоматизованих
технологічних комплексів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-91

Ворошилов Антон Ігорович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Батюк Сергій Георгійович _____

Консультант з охорони праці:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент Ворошилов А.І.

Київ – 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики Кафедра
автоматизації енергетичних процесів**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ворошилов Антон Ігорович

1. Тема проєкту «Полігон імітаційного HIL-моделювання інформаційно-вимірювальних систем теплоенергетичних автоматизованих технологічних комплексів», керівник проєкту доцент, к.т.н., Батюк Сергій Георгійович, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. № 2039-с
2. Термін подання студентом проєкту «__» _____ 20__ р.
3. Вихідні дані до проєкту: Літературні джерела. Документації з підприємства.
4. Зміст пояснювальної записки: огляд типових ІВС теплоенергетичних АТК, інженерний розрахунок ВК каскадної САР температури повітря в приміщенні, структурне імітаційне моделювання типових ІВС, комплексна лабораторна робота на полігоні імітаційного HIL-моделювання теплоенергетичних ІВС, техніка безпеки під час роботи з полігоном імітаційного HIL-моделювання ІВС теплоенергетичних АТК.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.,		
Нормоконтроль	Некрашевич О.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р. Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Пояснювальна записка. Розділ 1. Огляд типових ІВС теплоенергетичних АТК	19.04.2023	
2	Пояснювальна записка. Розділ 2. Інженерний розрахунок ВК каскадної САР температури повітря в приміщенні	25.04.2023	
3	Пояснювальна записка. Розділ 3. Структурне імітаційне моделювання типових ІВС	30.04.2023	
4	Пояснювальна записка. Розділ 4. Комплексна лабораторна робота на полігоні імітаційного НІЛ-моделювання теплоенергетичних ІВС	04.05.2023	
5	Пояснювальна записка. Розділ 5. Техніка безпеки під час роботи з полігоном імітаційного НІЛ-моделювання ІВС теплоенергетичних АТК	08.05.2023	
6	Пояснювальна записка. Результати і висновки	12.05.2023	
7	Нормконтроль		
8	Попередній захист дипломного проекту		
9	Захист		

Студент

Антон ВОРОШИЛОВ

Керівник

Сергій БАТЮК

АНОТАЦІЯ

Перебуваючи на практиці, ознайомились з методикою розробки програмно-технічного НІЛ-симулятора. Було поставлено задачу дослідити і зробити огляд типових ІВС теплоенергетичних автоматизованих технологічних комплексів (АТК). Для САР температури повітря в приміщенні розробити порядок опису схем структурних, схем функціональних та схем структурних надійності ВК вимірювальних каналів (ВК), метрологічний розрахунок ВК та розрахунок надійності ВК, дослідити можливість функціонування полігону НІЛ-симулятору АТК.

ANNOTATION

While being in practice, we familiarized ourselves with the methodology of developing a software and hardware-in-the-loop (HIL) simulator. The task was set to investigate and provide an overview of typical IMS thermal energy ATCs. For SAR air temperature control system within the premises, the following steps were undertaken: development of a description procedure for structural, functional, and structural reliability schemes of measurement channels (MC), metrological calculation of MC, reliability calculation of MC, and examination of the feasibility of the HIL simulator test site for ATC.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НІЛ – Hardware-in-the-Loop

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

АТК – автоматизований технологічний комплекс

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВАХ – вольт-амперна характеристика

ВК – вимірювальний канал

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

ІТД – інтегральні датчики температури

КПЕ – ключовий показник ефективності

КТХС – компенсація температури холодного спаю

МВВ – модулі вводу-виводу

НП – нормуючий перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТКЗА – програмно технічний комплекс засобів автоматизації

САР – система автоматичного регулювання

СКВ – середнє квадратичне відхилення

ФВЧ – фільтр високих частот

ФНЧ – фільтр низьких частот

ФСЧ – фільтр смуги частот

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Полігон імітаційного НІЛ-моделювання ІВС
систем теплоенергетичних АТК»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПОВИХ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК	12
1.1 ВК температури	19
1.1.1 Визначення і застосування	19
1.1.2 Одиниці вимірювання.....	19
1.1.3 Фізичні основи вимірювання	20
1.1.4 Технічні засоби вимірювання	25
1.1.5 Номенклатура давачів і приладів	38
1.1.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	39
1.2 ВК тиску і розрідження.....	45
1.2.1 Визначення і застосування	45
1.2.2 Одиниці вимірювання.....	46
1.2.3 Фізичні основи вимірювання	47
1.2.4 Технічні засоби вимірювання	51
1.2.5 Номенклатура давачів і приладів	52
1.2.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	54
1.3 ВК витрати енергоносіїв.....	58
1.3.1 Визначення і застосування	58
1.3.2 Одиниці вимірювання.....	59
1.3.3 Фізичні основи вимірювання	60
1.3.4 Технічні засоби вимірювання	62
1.3.5 Номенклатура давачів і приладів	66
1.3.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	67
1.4 ВК рівня і ваги середовища.....	75
1.4.1 Визначення і застосування	75
1.4.2 Одиниці вимірювання.....	76
1.4.3 Фізичні основи вимірювання	76
1.4.4 Технічні засоби вимірювання	77

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Полігон імітаційного НІЛ- моделювання ІВС теплоенергетичних АТК		
Розробив		Ворошилов А.І.					
Перевірив		Батюк С.Г.					
Реценз.							
Н. Контр.		Некрасевич О.В.					
Затверд.		Волощук В.А.			НН ІАТЕ, АЕП, ТА-91		

1.4.5	Номенклатура давачів і приладів	78
1.4.6	Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	79
1.5	ВК концентрації газів та рідин.....	82
1.5.1	Визначення і застосування	82
1.5.2	Одиниці вимірювання.....	83
1.5.3	Фізичні основи вимірювання	84
1.5.4	Технічні засоби вимірювання	87
1.5.5	Номенклатура давачів і приладів	91
1.5.6	Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	92
1.6	ВК дистанційного контролінгу	94
1.6.1	Датчики-реле і сигналізатори	94
1.6.2	Схеми принципів електричних підключення.....	101
1.6.3	Номенклатура давачів і приладів	106
1.6.4	Монтаж і налагодження давачів і приладів.....	107
1.7	Типові інженерні розрахунки в АСУТП	107
1.8	Похибки вимірювання постійні і стохастичні	108
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ВК КАСКАДНОЇ САР ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ		121
2.1	Перелік ВК ІВС АСУТП припливної системи вентиляції.....	122
2.2	Опис схем структурних ВК САР температури повітря в приміщенні.....	123
2.3	Опис схем функціональних ВК САР температури повітря в приміщенні.....	123
2.4	Опис схем принципів електричних ВК САР температури повітря в приміщенні.....	125
2.5	Опис схем монтажу технічних засобів ВК САР температури повітря в приміщенні.....	126
2.6	Опис схем структурних надійності ВК САР температури повітря в приміщенні.....	127
2.7	Метрологічні розрахунки ВК САР температури повітря в приміщенні.....	127
2.8	Розрахунки ВК САР температури повітря в приміщенні	128

2.9	Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних вимірювання в САР температури повітря в приміщенні в СКМ Matlab Simulink	129
2.10	Перелік функцій первинної обробки даних вимірювання в ПЛК..	130
2.11	Реалізація функцій первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	131
2.12	Висновки про роботоздатність ВС САР температури повітря в приміщенні.....	132
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТИПОВИХ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК.....		133
3.1	Схема структурна полігону імітаційного НІЛ-моделювання АТК.....	133
3.2	Структура програмного забезпечення полігону імітаційного НІЛ-моделювання АТК.....	136
3.3	Опис функціонального модуля «Метрологія»	138
РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНА ЛАБОРАТОРНА РОБОТА НА ПОЛІГОНІ ІМІТАЦІЙНОГО НІЛ-МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ІВС..		143
4.1	Перелік завдань до лабораторної роботи №1 «Дослідження схем електричних підключення природних сигналів до ПЛК»	144
4.2	Перелік завдань до лабораторної роботи №2 «Дослідження схем електричних підключення уніфікованих сигналів до ПЛК»	144
4.3	Перелік завдань до лабораторної роботи №3 «Дослідження номінальних статичних характеристик теплоенергетичних давачів»	145
4.4	Перелік завдань до лабораторної роботи №4 «Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – регулятор» (як послідовності алгоритмів «лінеаризація – масштабування – алармування»)).....	145
4.5	Перелік завдань до лабораторної роботи №5 «Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – реєстратор» (як послідовності алгоритмів «лінеаризація – масштабування – фільтрація»))	146
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ПОЛІГОНОМ ІМІТАЦІЙНОГО НІЛ-МОДЕЛЮВАННЯ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК.....		147
5.1	Охорона праці.....	147
5.2	Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи	147
5.3	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи	148

5.4 Ергономічні та гігієнічні вимоги і правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин	150
5.5 Вимоги щодо організації робочих місць користувачів ЕОМ	151
5.6 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам	152
5.7 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно-обчислювальних машин.....	153
5.8 Виробничий шум.....	154
5.9 Пожежна безпека та профілактика	155
РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ	157

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зважаючи на швидкий розвиток технологій в сучасному світі, управлінням та контролем роботою складних систем стає все більш актуальним завданням. Одним із найважливіших аспектів управління такими системами є можливість точного і швидкого моделювання процесів, що відбуваються в системі.

У зв'язку з цим, методологія HIL-моделювання стає все більш популярною. Ця методологія полягає в тому, що в реальній апаратурі реалізується частина моделі системи, а решта моделюється на комп'ютері. Застосування такої методології дозволяє забезпечити більш точне моделювання процесів та ефективне управління системою.

Особливу увагу при розробці HIL-моделей приділяється теплоенергетичним АТК, які є складними системами з великою кількістю взаємопов'язаних компонентів. HIL-моделювання дозволяє ефективно моделювати та контролювати роботу всіх компонентів цих систем, що дозволяє забезпечити оптимальну ефективність та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Одним з ефективних методів HIL-моделювання теплоенергетичних АТК є використання програмного забезпечення MATLAB/Simulink, яке надає широкі можливості для створення, моделювання та аналізу систем. Завдяки цьому методу HIL-моделювання можна забезпечити високу точність моделювання процесів, що відбуваються в теплоенергетичних АТК, а також забезпечити ефективну і оптимальну роботу цих систем.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПОВИХ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) автоматизованого технологічного комплексу (АТК) – це комплексна система, яка виконує функції збору, обробки, аналізу, відображення та контролю інформації про стан технологічних процесів у реальному часі. ІВС АТК зазвичай включає в себе різноманітні сенсорні пристрої, які забезпечують вимірювання різних параметрів технологічного процесу, такі як температура, тиск, вологість, швидкість, обертання, вібрації тощо. Зібрана інформація передається до центральної обчислювальної системи, де проводиться її обробка, аналіз та візуалізація.

ІВС АТК забезпечує автоматичне управління технологічним процесом за допомогою системи зворотного зв'язку, що дозволяє вчасно реагувати на зміни в процесі та приймати необхідні рішення щодо його оптимізації. В результаті, така система допомагає знизити витрати на виробництво, підвищити якість продукції та забезпечити безпеку промислового процесу.

До переваг ІВС АТК також можна віднести збільшення продуктивності промислового процесу, зменшення кількості відходів та помилок, а також підвищення рівня автоматизації технологічного процесу. Окрім того, ІВС АТК можна використовувати для моніторингу стану обладнання та прогнозування можливих поломок, що дозволяє проводити планове технічне обслуговування та зменшує ризик аварійного виробництва.

Вимірювальний канал (ВК) – це комплекс приладів (первинних давачів, перетворювачів сигналів, модулів введення і виведення сигналів в/з ПЛК, вторинних приладів) для:

- прямого вимірювання технологічного параметру;
- перетворення сигналів;
- введення і виведення сигналів в/з ПЛК;
- виведення сигналів на вторинні показуючі і реєструючі прилади.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом виділяють такі основні вимірювальні канали теплоенергетичних САР:

- ВК температури;
- ВК тиску і розрідження;
- ВК витрати енергоносіїв;
- ВК рівня і ваги середовища;
- ВК концентрації газів та рідин;
- ВК дистанційного контролінгу.

Вирізняють природні і уніфіковані електричні сигнали давачів і приладів.

Природні сигнали

- 0...100 мВ (мілівольти) постійного струму – термопари;
- 0...200/4000 Ом (Ohm) – термометри опору (і прилади реостатної системи передачі сигналів);
- 0...10 мГн (мілігенрі) або 0...2 В змінного струму – прилади індуктивної, феродинамічної і дифтрансформаторної систем передачі сигналів.

Уніфіковані сигнали

- Аналогові сигнали 0...+10 В (раніше також -10...+10 В, 0...+5 В);
- Аналогові сигнали 4...20 мА або 0...20 мА (раніше також 0...5 мА).
Примітка: мА – міліампери; мкА – мікроампери;
- Дискретні сигнали 0...24 В постійного струму (VDC) або 220 В змінного струму (VAC).

Типи сигналів і даних

Сигнали (signals) – це фізичні сигнали давачів і приладів до ПЛК і після ПЛК. Дані (data) – це цифрові дані в ПЛК і HMI/SCADA-системах.

- **Аналогові.** Сигнал змінюється неперервно від початкового (звичайно мінімального) до кінцевого (звичайно максимального) значення. Тип даних в програмуванні – Integer, Real;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Дискретні.** Сигнал змінюється миттєво (стрибкоподібно) від початкового (звичайно мінімального) до кінцевого (звичайно максимального) значення. Проміжних значень не має. Тип даних в програмуванні – Boolean;
- **Число-імпульсні.** Високочастотна широтно-модульована або часо-модульована послідовність імпульсів (високошвидкісних дискретних сигналів). Фактично це аналоговий сигнал – кожному квантованому значенню якого відповідає серія імпульсів. Характеристики широтно-модульованої серії імпульсів: постійний період серії; змінна ширина (тривалість) імпульсу від значення вимірюваного параметру; постійна пауза між імпульсами; тривалість імпульсів за період пропорційна значенню параметра. Характеристики часо-модульованої серії імпульсів: постійний період серії; постійна ширина імпульсу; змінна ширина (тривалість) паузи між імпульсами від значення вимірюваного параметру; кількість імпульсів за період пропорційна значенню параметра. Якщо вимірюється кількість імпульсів за один період серії – такий сигнал називається імпульсним. Якщо вимірюється частота імпульсу за один період серії – такий сигнал називається частотним. Тип даних в програмуванні – Integer, Real (а не Boolean!);
- **Цифрові.** Високочастотна часо-модульована послідовність імпульсів для кодування чисел і символів. Використовується в обчислювальних мережах, в промислових мережах RS485, Ethernet. Тип даних в програмуванні – Integer, Real, Boolean;
- **HART-протокол.** Highway Addressable Remote Transducer – високошвидкісний адресований віддалений перетворювач. Передача цифрового сигналу одночасно з аналоговим сигналом тими самими проводами. Досягається високочастотним модулюванням низькочастотного аналогового сигналу. Дозволяє

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одночасно тими самими проводами передати і основний аналоговий сигнал (значення виміряного параметру), і додаткові цифрові сигнали (наприклад, параметри налагодження давача і діагностичні параметри давача). Це дає змогу дистанційно калібрувати давач (змінювати діапазон давача) і дистанційно контролювати роботоздатність давача (за діагностичними повідомленнями). Тип даних в програмуванні – Integer, Real, Boolean.

Для електротехнічного обладнання є і використовується спеціальний протокол (ідеологічний аналог HART-протоколу) обміну даними через електричну мережу 220/380 VAC.

Склад ПЛК

- БЖ (PS) – блок живлення (звичайно постійного струму 24 VDC);
- МЦП – модуль центрального процесору (процесор CPU + оперативна пам'ять RAM + постійна флеш-пам'ять EEPROM);
- MBV – модулі введення і виведення сигналів в/з ПЛК (модулі IO – input/output);
- ММ або ІМ (network card) – мережевий або інтерфейсний модуль обміну даними через промислову мережу.

Вхідні і вихідні модулі ПЛК (MBV)

- Модуль АЦП – аналого-цифровий перетворювач (перетворює вхідний аналоговий сигнал ПЛК в цифровий код ПЛК). Найчастіше використовується 12-бітовий АЦП ($2^{12} = 4096$ дискрет; діапазон 0...4095). Також використовується 14-бітовий АЦП ($2^{14} = 16384$ дискрет; діапазон 0..16383);
- Модуль ДЦП – дискретно-цифровий перетворювач (перетворює вхідний дискретний сигнал ПЛК в цифровий код ПЛК);
- Модуль ІЦП – імпульсно-цифровий перетворювач (перетворює вхідний число-імпульсний сигнал ПЛК в цифровий код ПЛК). Стандартна частота – до 10 kHz, спеціалізовані входи – до 200 kHz;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Модуль ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач (перетворює цифровий код ПЛК в вихідний аналоговий сигнал ПЛК). Найчастіше використовується 12-бітовий ЦАП ($2^{12} = 4096$ дискрет; діапазон 0...4095). Також використовується 14-бітовий ЦАП ($2^{14} = 16384$ дискрет; діапазон 0...16383);
- Модуль ЦДП – цифро-дискретний перетворювач (перетворює цифровий код ПЛК в вихідний дискретний сигнал ПЛК);
- Модуль ЦІП – цифро-імпульсний перетворювач (перетворює цифровий код ПЛК в вихідний число-імпульсний сигнал ПЛК). Стандартна частота – до 10 kHz, спеціалізовані виходи – до 200 kHz.

Вторинна вимірювальна апаратура

- Відеографічний безпаперовий реєстратор Emerson-910;
- Вимірювачі-регулятори (Emerson-950, Emerson-961);
- Інтелектуальні МВВ (Emerson-970, Emerson-980);
- Пасивні бар'єри іскрозахисту (Emerson-630);
- Блоки живлення (Emerson-602,604,608);
- Ручний HART-комунікатор (Trex);
- Програмний диспетчер (АМС);
- HART-конвертер (Tri-Loop).

Схеми принципів електричні ВК

Для підключення ВК до ПЛК або модулів розширення використовують схеми підключення з маркуванням конкретних входів на контролері. Сучасні давачі мають уніфікований струмовий вихідний сигнал 4...20 мА і підключаються в основному за двопровідною схемою: де контакт (+) блока живлення підключаємо до контакту (+) давача; контакт (-) давача підключається до (+) струмової клема контролера; контакт (-) контролера підключається до контакту (+) реєстратора; контакт (-) блока живлення підключається до контакту (-) реєстратору. Послідовно до

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера підключається реєструючи прилад. Паралельно до кожного з них вмикаються стабілітрони задля підтримання системи у робочому стані навіть при розриві кабелю. Для приладів без уніфікованого сигналу до схеми додається нормуючий перетворювач, який перетворює вати в амperi та апроксимує їх.

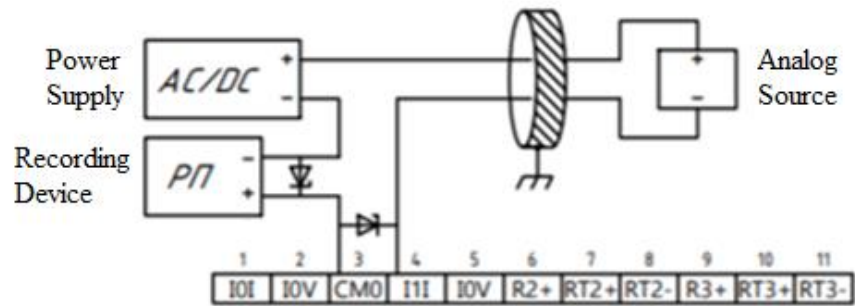


Рисунок 1.1 – Схема принципів електрична ВК АСР режимного параметру (дво-провідне підключення)

Для пристроїв що мають чотири або три провідну схему підключення використовують відповідні електричні схеми, що вказані на рис. 1.2 – 1.5.

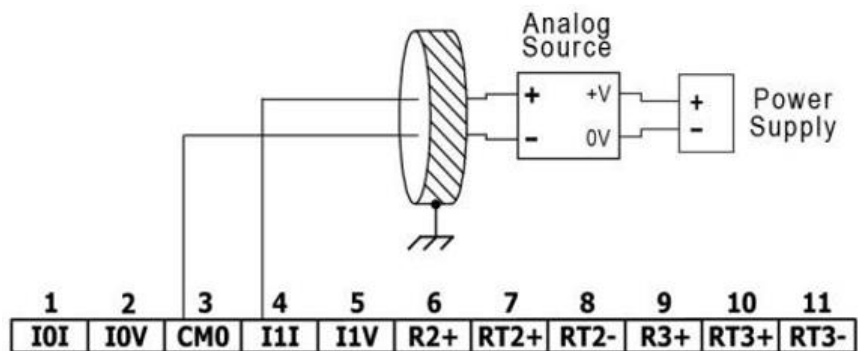


Рисунок 1.2 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 4...20 мА до ПЛК (чотири провідне підключення)

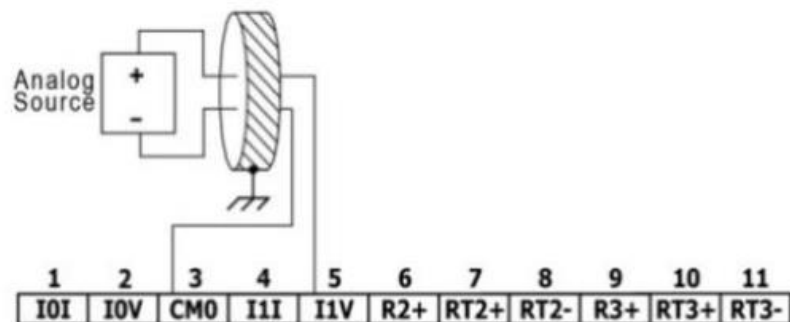


Рисунок 1.3 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 0...10 В до ПЛК (чотири провідне підключення)

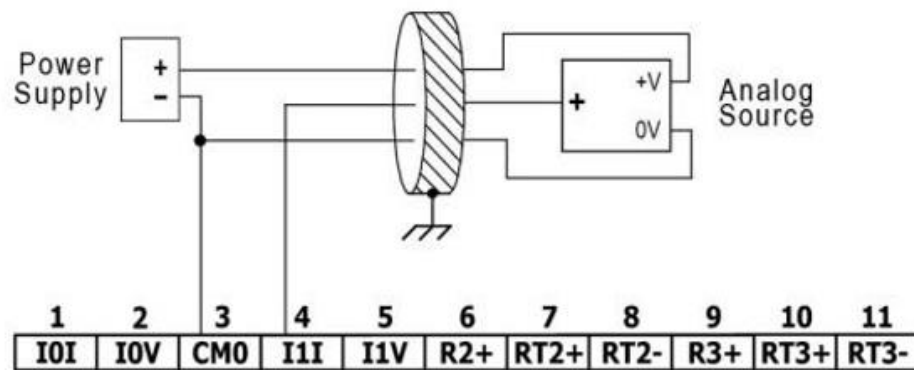


Рисунок 1.4 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 4...20 мА до ПЛК (три провідне підключення)

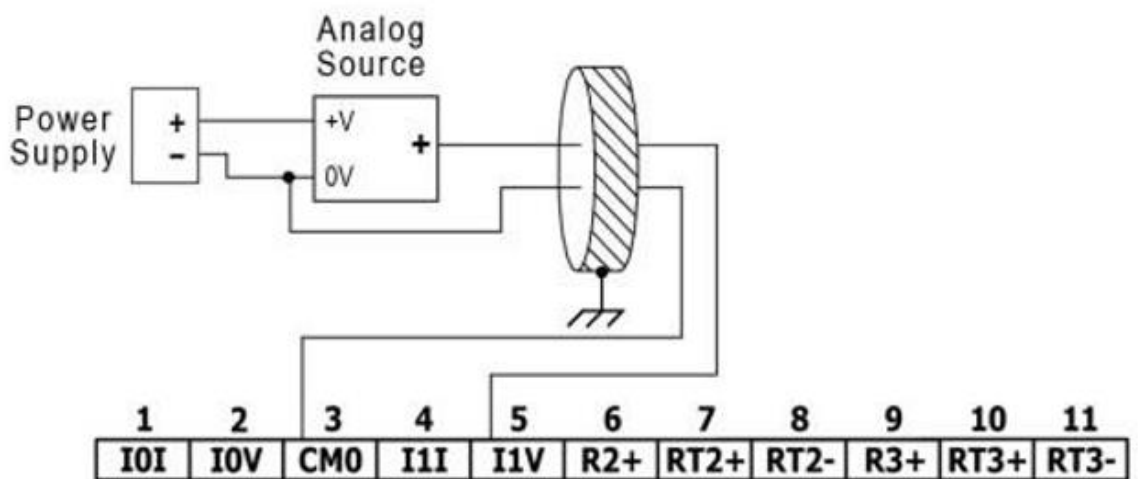


Рисунок 1.5 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 0...10 В до ПЛК (три провідне підключення)

Узагальнюючи, ІВС АТК є важливим елементом сучасних промислових технологій, який дозволяє автоматизувати технологічні процеси та забезпечувати їх оптимальну роботу. Така система допомагає збільшити ефективність та якість виробництва, зменшити витрати на енергопостачання та використання ресурсів, а також забезпечити безпеку промислового процесу.

1.1 ВК температури

1.1.1 Визначення і застосування

Температура – фізична величина, що характеризує термодинамічну систему і кількісно виражає інтуїтивне поняття про різний ступінь нагрітості тіла.

Безпосереднє вимірювання температури є неможливим. У приладах для вимірювання температури (термометрах) використовують термометричне тіло, яке вводять у тепловий контакт з тілом, температуру якого потрібно виміряти. Термометричне тіло має так звану термометричну властивість – властивість змінювати в залежності від температури свою фізичну величину. Фізична величина, яка знаходиться у функціональній залежності від температури і є її індикатором, називається термометричною величиною.

Температура, що вимірюється термометрами, називається *емпіричною температурою*.

На мікроскопічному рівні температура пов'язана із тепловим рухом атомів та молекул, із яких складаються фізичні тіла, а саме – з їх середньою кінетичною енергією. Тому у молекулярно-кінетичній теорії температуру визначають наступним чином:

Температура – скалярна фізична величина, яка характеризує середню кінетичну енергію частинок макроскопічної системи. Рівняння Клапейрона для ідеального газу:

$$P * W = R * T.$$

Важливо! – температура характеризує хаотичність руху молекул тіла, а не сам рух чи його напрямок. За ДСТУ 3518-97: **температура** – фізична величина, що є мірою інтенсивності теплового руху атомів і молекул.

1.1.2 Одиниці вимірювання

В Міжнародній системі одиниць (СІ) термодинамічна температура належить до семи основних одиниць і виражається у кельвінах. До похідних величин СІ, які мають спеціальну назву, належить температура Цельсія, яка вимірюється у градусах Цельсія. На практиці часто застосовують градуси

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цельсія через історичну прив'язку до важливих характеристик води – температури танення льоду (0 °C) і температури кипіння (100 °C). Це зручно, оскільки більшість кліматичних процесів, процесів у живій природі, тощо пов'язані з цим діапазоном.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) для вимірювання температури застосовується шкала Кельвіна і символ К (за цієї умови знак градуса ° і термін градус відсутні). За шкалою Кельвіна 0 кельвінів відповідають абсолютному нулю, тобто повній відсутності руху молекул нульовому значенні ентропії (3-й початок термодинаміки). Температура за шкалою Кельвіна називається *абсолютною температурою, а сама шкала – термодинамічною*. Широкий вжиток також мають системи Цельсія і Фаренгейта.

За шкалою Цельсія 0 °C відповідає температура замерзання води, 100 °C — температура кипіння води (під дією тиску в 1 атмосферу). За шкалою Фаренгейта замерзання і кипіння води розділяють 180 °F. Вода замерзає за 32 °F, а кипить за 212 °F.

Нижче наведені формули взаємного перетворення температурних шкал Кельвіна, Цельсія і Фаренгейта.

$$(T_C - 0)/100 = (T_K - 273,15)/100 = (T_F - 32)/180$$

$$T_C = T_K - 273,15$$

$$T_K = T_C + 273,15$$

$$T_F = 32 + \frac{9}{5} * T_C$$

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

Увага! Дуже важливо!

$$\Delta T_K = \Delta T_C = \frac{5}{9} * \Delta T_F. \Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C = \frac{9}{5} \Delta T_K.$$

1.1.3 Фізичні основи вимірювання

Термометрія – розділ технічної фізики, присвячений розробці методів і засобів вимірювання температури.

Термометр – прилад для вимірювання температури.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні групи методів і приладів вимірювання

- Контактні термометри, чутливі елементи (датчики) яких вступають у безпосередній фізичний контакт з об'єктом вимірювання;
- Безконтактні термометри, що вимірюють дистанційно інтенсивність інтегрального теплового або оптичного випромінювання об'єкту;
- Особливу групу складають спеціальні термометри, що використовуються для вимірювання кріогенних (нижче 90 К) і наднизьких (нижче 1 К) температур з точністю до 0.001 К (наприклад, магнітна термометрія).

Контактні методи і прилади вимірювання температури

Термометри манометричні, в яких зі зміною температури змінюється тиск газу в термобалоні (є механічне сполучення з показуючою стрілкою шкали). Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні $-200...+1000$ °С. Для візуального спостереження.

Термометри волюметричні, в яких зі зміною температури змінюється об'єм (volume) рідини в термобалоні. Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні $200...+600$ °С. Для візуального спостереження. Приклад – медичні ртутні і спиртові термометри.

Термометри дилатометричні, в яких зі зміною температури змінюється лінійний розмір твердого тіла. У ряді випадків чутливим елементом слугує біметалічна пластина, виготовлена з двох металів з різними температурними коефіцієнтами розширення, яка згинається за нагрівання або охолодження. Використовуються в датчиках-реле для замикання або розривання контактів схем сигналізації (дискретний сигнал). Приклад застосування – побутова електрична техніка. Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні $0...+500$ °С.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термометри опору, в яких зі зміною температури змінюється електричний опір металевого провідника (терморезистор; пряма лінійна залежність опору від температури) або напівпровідника (термістор; нелінійна залежність опору від температури). Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні $-50...+600/800$ °С. Вихідний сигнал $0...3000/4000$ Ом (терморезистори з прямою характеристикою) або $1K/50K...4K/3K$ Ом (термістори відповідно з прямою і оберненою характеристиками). Дистанційна передача сигналу, підключення до вторинних приладів. Основні термометри для промислового вимірювання невисоких температур в неагресивному середовищі.

Термометри термоелектричні, в яких зі зміною температури змінюється електрорушійна сила (термо-ерс). Чутливим елементом термометру є так звана термопара, яка являє собою два різнорідних спаяних по кінцях провідника. За наявності різниці температур спаїв в термопарі виникає термо-ерс. Вихідний сигнал $0...100$ мВ. Пряма нелінійна залежність мілівольтів від різниці температур. Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні $200...+1800/2500$ °С. Дистанційна передача сигналу, підключення до вторинних приладів. Основні термометри для промислового вимірювання високих температур в агресивному середовищі.

Безконтактні методи і прилади вимірювання температури

Радіометрія (радіометри) – вимірювання температури за власним тепловим випромінюванням тіл. Для невисоких і кімнатних температур це випромінювання в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Для візуального спостереження. Приклад застосування – радіометри для безконтактного вимірювання температури під час карантинних заходів.

Теплобачення (тепловізори) – радіометричне вимірювання температури з просторовою роздільною здатністю і з перетворенням температурного поля в телевізійне зображення, іноді з кольоровим контрастом. Дозволяє вимірювати градієнти температури, температуру

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища в замкнених об'єктах, наприклад, температуру рідин в резервуарах і трубах. Для візуального спостереження. Приклад застосування – наукові дослідження, системи безпеки, мілітарі.

Пірометрія (пірометри) – вимірювання високих температур самосвітних об'єктів: полум'я, плазми, астрофізичних об'єктів:

Оптична пірометрія (оптичні пірометри). Використовується принцип порівняння або яскравості об'єкту із стандартом яскравості або кольору об'єкту з кольором стандарту (колірний пірометр і колірна температура). Спеціальна фотометрична лампа вбудована в прилад. Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні 300...+6000 °С. Для візуального спостереження. Приклад застосування – наукові дослідження.

Теплова пірометрія (теплові або радіаційні пірометри)

Мають вбудовану батарею термопар. Використовуються для неперервного довгострокового вимірювання температури в діапазоні - 50...+3500 °С. Вихідний сигнал 0...100 мВ. Дистанційна передача сигналу, підключення до вторинних приладів. Приклад застосування – візуальний контроль промислових топків і контроль температур промислових топків, слябів і розплавів в чорній і кольоровій металургії.

Основні рівняння термометрії

1. Рівняння стану ідеального газу Клапейрона лежить в основі манометричного методу вимірювання температури:

$$P * W = R * T;$$

2. Рівняння теплового лінійного розширення об'єму рідин від температури лежить в основі волюметричного методу вимірювання температури:

$$W = W_0 * (1 + \alpha * \Delta T);$$

3. Рівняння теплового лінійного розширення твердих тіл від температури лежить в основі дилатометричного методу вимірювання температури:

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = L_0 * (1 + \beta * \Delta T);$$

4. Рівняння лінійної залежності електричного опору провідників від температури лежить в основі терморезистивного методу вимірювання температури:

$$R = R_0 * (1 + \gamma * \Delta T);$$

5. Термоелектричний ефект – ефект Зеебека – лежить в основі термоелектричного методу вимірювання температури. Термоелектричний ефект – явище виникнення електрорушійної сили (термо-ерс) між двома контактами різних провідників, які перебувають при різній температурі. Термо-ерс

$$E = \delta(\Delta T) * \Delta T, \Delta T = T_2 - T_1, T_2 > T_1,$$

де δ – коефіцієнт термо-ерс. Залежність $E(\Delta T)$ є нелінійною, так як коефіцієнт термо-ерс δ залежить від перепаду температури $\Delta T = T_2 - T_1$. Тільки у вузькому діапазоні навколо кожної температури залежність є лінійною і $E = \delta * (T_2 - T_1)$, $T_2 > T_1$, так як в цьому вузькому діапазоні коефіцієнт термо-ерс не залежить від перепаду температури. В загальному вигляді термо-ерс виражається визначенням інтегралом $E = \int_{T_1}^{T_2} \delta(T) dT$;

6. Закон Стефана-Больцмана, що пов'язує повну енергію теплового випромінювання з температурою, лежить в основі неконтактних (пірометричних) методів вимірювання температури:

$$F = \sigma * (T_2^4 - T_1^4), T_2 > T_1,$$

де F – інтегральна випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, σ – стала Стефана-Больцмана. Увага! – Теплове випромінювання пропорційно різниці 4-их ступенів температур (в теплопередачі і конвекції передане тепло пропорційно різниці перших ступенів температур, тобто просто різниці температур).

1.1.4 Технічні засоби вимірювання

Термометри термоелектричні (термопари)

Термопара – чутливий елемент термоелектричного перетворювача, де два провідника із особливих різнорідних матеріалів (називаються термоелектродами), з'єднаних (спаяних) між собою на протилежних кінцях. Спаї термопари розміщуються в місцях різної температури. Спай, який розміщується в точці вимірюваної температури, називається гарячим спаєм. Другий спай, який розміщується в зоні вимірювального приладу, називається холодним спаєм. Температура гарячого спаю повинна бути більшою за температуру холодного спаю. Температура холодного спаю повинна бути рівна 0 °C (або хоча б сталою). Принцип дії термопари ґрунтується на використанні термоелектричного ефекту – якщо спаї термопари мають різну температуру, то виникає термо-ерс і в замкненому колі тече струм. Гарячий спай термопари захищений у вогнестійкий чохол, що захищає її від агресивного середовища печі. Вільні кінці термопари виводяться за межі гарячої зони та з'єднуються з вимірювальним приладом.

Вимірювальний прилад можна підключати до термопари двома способами. Перший і найкращий – включати в розрив одного із провідників А або В. Але це практично неможливо. Тому використовують другий спосіб – підключати вимірювальний прилад в розрив холодного спаю (це дає деяку похибку, так як замість спаю провідників використовується внутрішній резистор вимірювального приладу).

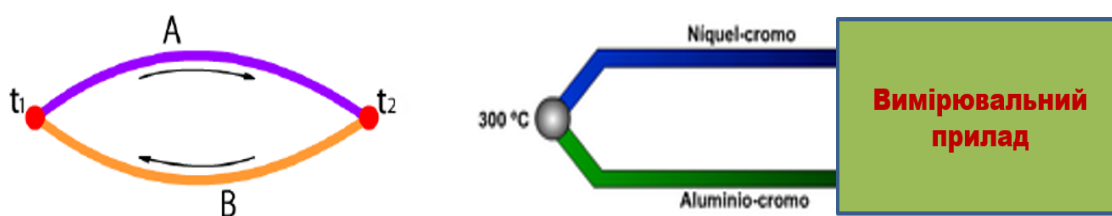


Рисунок 1.6 – Способи підключення приладу до термопари

Зовнішній вигляд і компоненти термопари

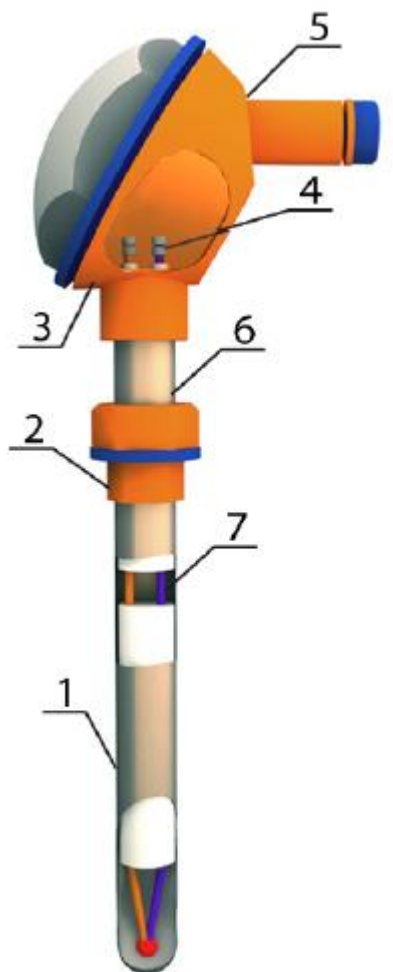


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд термопари

Компоненти термопари:

1. захисний чохол;
2. штуцер для фіксації термопари на обладнанні;
3. голівка;
4. розетка для підключення компенсаційних проводів (в розрізі);
5. патрубок з ущільненням;
6. з'єднувальна трубка;
7. термо-електроди (взаємно ізольовані, наприклад, фарфоровим намистом).

Проблеми підключення термопар до вимірювальних приладів

Три фундаментальні проблеми підключення термопар до вимірювального приладу

1. Термопара вимірює не температуру гарячого спаю, а різницю температур гарячого і холодного спаю. В ідеальному випадку температура холодного спаю повинна бути 0°C . Але реально холодний спай знаходиться майже в місці монтажу термопар, тому температура холодного спаю суттєво ненульова і дуже нестабільна. Тому потрібно реалізувати так звану компенсацію температури холодного спаю. Це можна зробити двома способами: 1) застабілізувати температуру холодного спаю на 0°C (раніше так і робили в спеціальних термостатах – коробках холодних спаїв) або 2) винести холодний спай в місце розташування приладу і реалізувати КТХС в самому приладі (сучасний спосіб);
2. В момент вимірювання струм через термопару повинен бути нульовим і повинен бути нульовим струм в вимірювальному колі вимірювального приладу. Причини: 1) протікання струму через термопару викликає зворотні термоелектричні ефекти Пельтьє і Томсона, які, в даному випадку, є паразитними; 2) ненульовий струм в вимірювальному колі викликає похибки вимірювання внаслідок нерівномірностей і температурного дрейфу опорів вимірювального кола. Якби мілівольти, які генерує термопара, можна було б виміряти, як звичайні вольти, – проблема була б вирішена: ерс від термопар падала б на великому вхідному опорі вольтметра і струм в вимірювальному колі і термопарі був би практично нульовий. Але мілівольти виміряти технічно практично неможливо. З цієї причини використовують прилади, які вимірюють струм; тобто, наявність струму в термопарі і в вимірювальному колі в момент вимірювання є обов'язковим; а це

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призводить до вказаних негативних наслідків. Для забезпечення нульового струму в термопарі в момент вирівнювання потрібно використовувати прилади з компенсаційними схемами вимірювань – потенціометри. Дві схеми компенсації – зустрічним підключенням ерс і операційним підсилювачем зі зворотним зв'язком;

3. Нелінійна статична характеристика термопар (мілівольти нелінійно залежать від температури). Вторинні прилади повинні забезпечити лінеаризацію сигналу термопар, тобто забезпечити лінійну залежність вихідного сигналу приладу (або цифрового коду в ПЛК) від температури.

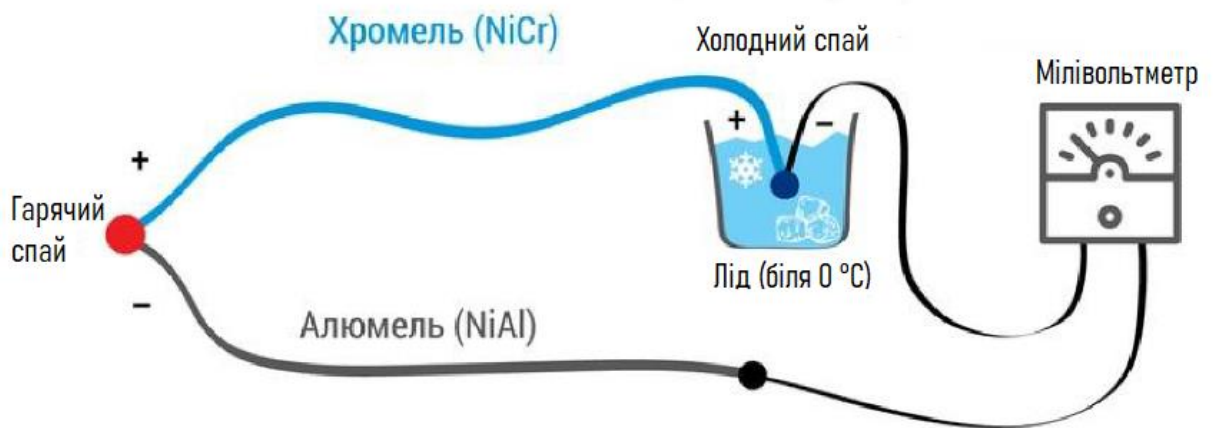


Рисунок 1.8 – Ідеальне підключення термопар

Підключення термопар до вимірювального приладу

Реалізація КТХС в самому приладі означає, що в приладі зовнішнім або внутрішнім термометром опору вимірюється температура в місці підключення (тобто температура холодного спаю) і її значення додається до виміряного значення температури.

Термоелектроди термопар підключаються до місця холодного спаю (тобто до приладу з КТХС) не мідним дротом, а виключно компенсаційними проводами. Для кожного типу термопар є свої компенсаційні проводи (які об'єднані в так званому термопарному кабелі). Компенсаційні проводи виробляють в робочому діапазоні температури

холодного спаю таку ж саму термо-ерс, як і термоелектроди термопари. Підключення термопари компенсаційними проводами дозволяє перенести холодний спай з голівки термопари до вимірювального приладу, в якому реалізована КТХС (тому такі проводи називають також подовжуючими).

Увага! Підключення термопари до місця холодного спаю (тобто до приладу з КТХС) мідними проводами, а не компенсаційними, є грубою помилкою і категорично не допускається.

Примітка. В загальному випадку, місце холодного спаю і вимірювальний прилад можуть бути рознесені. Наприклад, кожний компенсаційний провідник заводиться в льодову камеру-термостат (де підтримується 0°C), а далі – мідний провідник до вимірювального приладу (в цьому випадку КТХС в приладі не потрібна). Але це практично важко реалізувати.

Статична характеристика термопари, тобто залежність вихідних мілівольтів від вхідних градусів, є суттєво нелінійною

Нормуючий перетворювач або ПЛК має лінеаризувати статичну характеристику термопари, тобто перетворити нелінійну залежність мілівольтів від градусів в лінійну залежність: в НП – вихідних міліамперів НП від градусів; в ПЛК – цифрових значень ПЛК від градусів. Така лінеаризація здійснюється або таблично, або поліноміальним рівнянням. Для кожного типу термопари – своя статична характеристика, тобто відповідний НП, відповідні таблиця і поліноміальне рівняння.

Використання в ПЛК нелінеаризованих значень температури є грубою помилкою і категорично не допускається.

Є термопари з вбудованим в голівку мікропроцесором, який формує лінеаризований (і скомпенсований на температуру холодного спаю в голівці) уніфікований сигнал $0/4\dots 20$ мА. Це ідеальний варіант. Практичний недолік - складно, дорожче і обмеження в температурних умовах експлуатації ($0\dots 45^{\circ}\text{C}$).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підключення термопар до нормуючих перетворювачів і до ПЛК

З НП:

До НП – компенсаційні проводи і нелінеаризовані мілівольти, після НП – мідні проводи і лінеаризовані міліампери. Переваги – короткий і відносно недорогий термопарний кабель, так як НП можуть бути встановлені на місцевих щитах біля ТООУ.

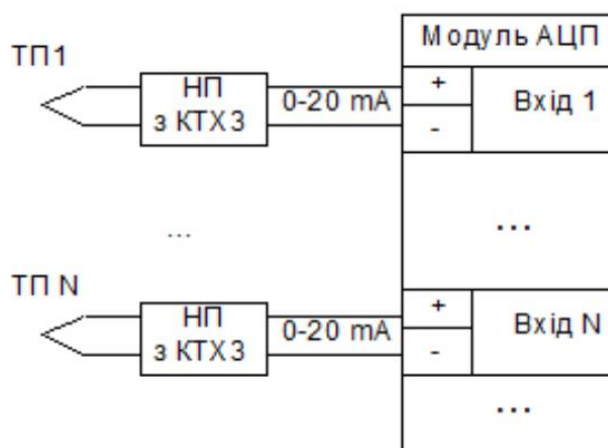


Рисунок 1.9 – Підключення термопар з НП

Без НП:

До ПЛК – компенсаційні проводи і нелінеаризовані мілівольти, в ПЛК – лінеаризовані цифрові значення. Недоліки – довгий і відносно дорогий термопарний кабель.

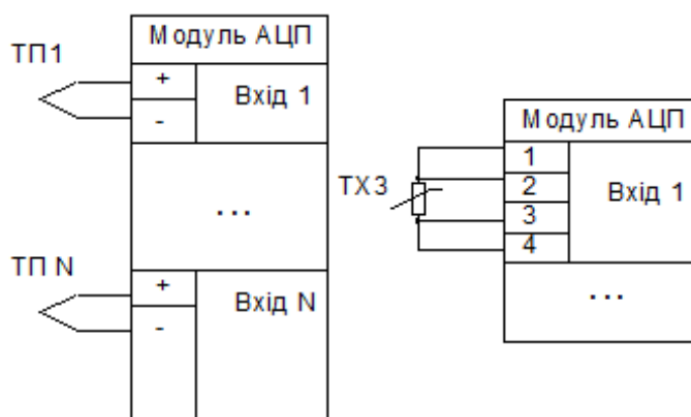


Рисунок 1.10 – Підключення термопар без НП

Основні типи термопар та їх характеристики (міжнародний стандарт)

Таблиця 1.1 – Основні типи термопар та їх характеристики

Тип термопар за МЕК (IEC)	Тип термопар за ДСТУ (ГОСТ)	Температурний діапазон °C (довготривало)	Температурний діапазон °C (короткотривало)
K	ТХА (хромель-алюмелеві)	0 до +1100	-180 до +1300
J	ТЖК (залізо-константанові)	0 до +700	-180 до +800
N	ТНН (ніхросил-нісильові)	0 до +1100	-270 до +1300
R	ТПП 13 (платинородій-платинові)	0 до +1600	-50 до +1700
S	ТПП 10 (платинородій-платинові)	0 до 1600	-50 до +1750
B	ТПР (платинородій-платинородієві)	+200 до +1700	0 до +1820
T	ТМКн (мідь-константанові)	-185 до +300	-250 до +400
E	ТХКн (хромель-константанові)	0 до +800	-40 до +900

Термопара ТХК L хромель-копель. У порівнянні з ТХА верхня межа діапазону вимірюваних температур нижча (до +600/800 °C). Популярна майже

виключно в країнах СНД. За діапазоном, але не за статичною характеристикою, схожа на термопару ТЖК J залізо-константан. За діапазоном і статичною характеристикою максимально схожа на термопару ТХКн E хромель-константан.

Термопари ТВР А-1, А-2, А-3 вольфрам-ренієві. Діапазон вимірювання 0...1800/2500 °С. Використовуються для вимірювання дуже високих температур: довготривало – до 1800 °С, короткотривало – до 2500 °С.

Термопари з благородних металів (ТПП, ТПР) – стійкі до умов роботи в окислювальній атмосфері (надлишок O_2) і до корозії, але чутливі до вуглецевого газу (CO , CO_2).

ТВР і термопари з неблагородних металів – стійкі до умов роботи в відновлювальній атмосфері (надлишок H_2).

Найбільш вживані термопари – ТХА, ТПП, ТПР; для дуже високих температур – ТВР; для відносно низьких температур – ТЖК, ТХКн, ТХК. Табличні НСХ термопар приведені в ДСТУ і в паспорті давача.

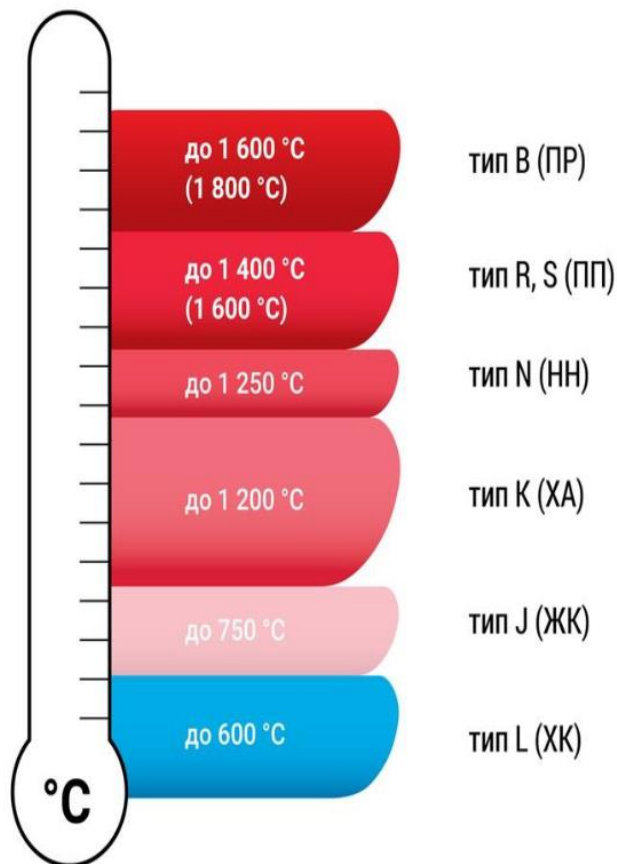


Рисунок 1.11 – Температурний діапазон термопар

Термометри опору (терморезистори і термістори)

Термометр опору – прилад для вимірювання температури на основі чутливого елемента, електричний опір якого залежить від температури. Міжнародна аббревіатура – **RTD** – resistance temperature detector.

- **Терморезистори** – металевий термометр опору. Опір зростає зі зростанням температури. Лінійна статична характеристика;
- **Термістори** – напівпровідниковий термометр опору. Нелінійна статична характеристика. Є два типи статичної характеристики: Positive Temperature Coefficient – так званий РТС-термістор (позістор; опір зростає зі зростанням температури) і Negative Temperature Coefficient – так званий NTC-термістор (негістор; опір зменшується зі зростанням температури);
- **Інтегральні датчики температури (ІТД)** – цифровий датчик температури, який вбудовується в мікросхему. Міжнародна аббревіатура - IC (Integrated Circuit temperature sensor).

Сучасні терморезистори. Мідні терморезистори – градуювання Cu50 / TCM50 / 50M, Cu100 / TCM100 / 100M. Платинові терморезистори – Pt50 / TСП50 / 50П, Pt100 / TСП100 / 100П, Pt500 / 500П, Pt1000 / 1000П. Нікелеві (нікель) терморезистори – Ni100 / 100Н, Ni1000 / 1000Н. Цифра в маркуванні терморезистора – це опір терморезистору при температурі 0 °С.

Мідні терморезистори. Діапазон вимірювання температури -50...150 °С – найменший серед усіх типів терморезисторів. Діапазон зміни опору – 0...200 Ом. Переваги – невелика вартість і найбільша лінійність.

Нікелеві терморезистори. Діапазон вимірювання температури -50...180 °С – практично такий же, як і у мідних термометрів. Діапазон зміни опору 0...2000 Ом. Переваги – найбільший температурний коефіцієнт (зміна опору / зміна температури).

Платинові терморезистори. Діапазон вимірювання температури -50...600/800 °С – найбільший серед усіх типів терморезисторів. Діапазон зміни

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опору – 0...3000/4000 Ом. Переваги – найбільший діапазон вимірювання і найбільша стійкість до агресивного середовища.

Термістори. Діапазон вимірювання температури -50...100 °С – найменший серед усіх термометрів опору. Діапазон зміни опору відповідно для РТС- і НТС-типів – 1К/50К...4К/3К Ом. Недоліки – нелінійність статичної характеристики. Переваги – напівпровідник, мініатюрність, стабільність, що дозволяють використовувати як датчик температури в електронних схемах і в ПЛК для КТХС термопари.

Інтегральні датчики температури

Найсучасніші датчики, що швидко розвиваються. ІТД – недорогі мікросхеми, що поєднують на одному кристалі первинний перетворювач температури, АЦП з роздільною здатністю до 13 біт, схему обробки сигналів, калібровочну таблицю і цифровий інтерфейс. Фізичний принцип роботи датчика заснований на залежності ВАХ напівпровідникового діода від температури, тобто на залежності від температури падіння напруги на р-п переході (НТС-тип залежності опору р-п переходу від температури). При збільшенні температури р-п переходу кут нахилу прямої і оберненої гілок ВАХ збільшується. Діапазон вимірювання температури -50...150 °С. Лінійна статична характеристика, температурний коефіцієнт – 10 мВ/°С. Вихід – аналоговий (мілівольти) або цифровий (13-бітовий). Переваги – напівпровідник, мініатюрність, стабільність, лінійність, інтелектуальність, що дозволяють використовувати як датчик температури в електронних схемах (дистанційний температурний моніторинг, схеми пожежної безпеки і сигналізації) і в ПЛК для КТХС термопари. Практично витіснили термістори.

Порівняння термометрів опору

Практично використовуються терморезистори Pt100, Pt1000, Ni1000. Мідні термометри опору використовуються для бюджетних застосувань. Широко використовують терморезистори Pt100 і Pt1000 для високих температур. Терморезистори Ni1000 використовують для низьких температур замість мідних терморезисторів. Сталою тенденцією є застосування

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

терморезисторів Pt1000 і Ni1000 для відповідних температурних діапазонів, так як вони підключаються до приладів за двопровідною схемою (всі інші низькоомні терморезистори градуванням 50, 100, 500 Ом підключаються за чотири- або трипровідною схемами – зайві проводи). Позистори і негістори в промисловості вже практично не використовуються, замість них широко застосовуються ІТД, а саме в схемах моніторингу, пожежної безпеки і сигналізації, а також для КТХС термопар в приладах і МВВ ПЛК.

Варіанти вирішення проблеми компенсації температурного дрейфу опорів проводів терморезистору

Використовувати високоомні терморезистори Ni1000 для низькотемпературного і Pt1000 для високотемпературного діапазонів вимірювання (декілька омів на фоні 1000 Ом / 0 °С – така мала похибка, що нею можна знехтувати); високоомні терморезистори підключаються за звичайною двопровідною схемою.

Для низькоомних терморезисторів градувань 50, 100, 500 Ом / 0 °С потрібно використовувати спеціальні чотири – або хоча б трипровідну схеми підключення. Двопровідна схема не компенсує температурний дрейф опорів провідників. Трипровідна схема компенсує температурний дрейф опорів провідників тільки у випадку, коли опори провідників в плечах мосту змінюються однаково. Чотирипровідна схема повністю компенсує температурний дрейф опорів провідників.

Порівняння термопар і термометрів опору

Терморезистори забезпечують більш високу точність вимірювання (до 0.01 кельвіна), ніж термопар (до 0.1 кельвіна). Перевага терморезисторів – лінійна характеристика (у термопар – нелінійна). Перевага терморезисторів – відсутність проблеми КТХС, так як терморезистори вимірюють абсолютну температуру, а не перепад температур. Термопар забезпечують вимірювання для більш високих температур і в більш широкому діапазоні вимірювання. Термопар більш швидкодійні, ніж відносно повільні (інерційні) терморезистори. Платинові терморезистори дорожчі за термопар з

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неблагородних матеріалів. Перевага термопар – завжди двопроводна схема підключення; терморезистори потребують чотири- або хоча б трипроводної схеми підключення для компенсації температурного дрейфу опору проводів (тільки високоомні терморезистори градуюванням 1000 Ом підключаються за двопроводною схемою).

Порядок вибору промислового термометру

1. **Метод вимірювання** – контактний чи безконтактний? Якщо безконтактний – то пірометр. Якщо контактний – то термопара або термометр опору. Далі розглядаються термопари і термометри опору;
2. **Діапазон вимірювання.** Якщо до 150/600 °С – то терморезистор, якщо вищі температури – то термопара;
3. **Термопари.** Вимірювання довготривале чи короткотривале? Термопара з уніфікованим вихідним сигналом (найкращий варіант, якщо умови експлуатації дозволяють) чи з природним? Чи є можливість тягнути довгі компенсаційні проводи (якщо так – то лінеаризація і КТХС в ПЛК; якщо ні – то лінеаризація і КТХС в НП, який потрібно встановлювати якомога ближче до ТОУ на місцевому щиті)? Який вторинний прилад використовувати (для бюджетного вимірювання – мілівольтметр; для перевірки – переносний потенціометр; для візуалізації і обробки – автоматичний потенціометр і багатоканальний реєстратор; для автоматизованого моніторингу і управління – ПЛК і SCADA-система). Рекомендації: використовувати термопару з уніфікованим вихідним сигналом; якщо використовувати більш дешеву термопару з природним вихідним сигналом, то використовувати НП, який встановлювати на місцевому щиті якнайближче до точки вимірювання (до об'єкту управління);
4. **Термометри опору.** Терморезистор з уніфікованим вихідним сигналом (найкращий варіант, якщо умови експлуатації

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяють) чи з природним? Низькоомний чи високоомний терморезистор (низькоомний – бюджетно, але потрібна чотири- або хоча б трипроводна схема підключення; високоомний – дорожче, але двопровідна схема підключення, тобто економія на кабелі, і загалом вартість володіння може бути меншою)? Рекомендації: використовувати або Pt1000, або терморезистор з уніфікованим вихідним сигналом. Який вторинний прилад використовувати (для бюджетного вимірювання – логометр; для перевірки – переносний міст; для візуалізації і обробки – автоматичний міст і багатоканальний реєстратор; для автоматизованого моніторингу і управління – ПЛК і SCADA-система);

5. **ІДТ.** Використовувати в системах моніторингу, пожежної безпеки і сигналізації.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.5 Номенклатура давачів і приладів

Довідкові ресурси

Сайт Мікрол (Україна, Івано-Франківськ): <http://www.microl.ua/>

НВО Термоприлад (Україна, Львів): <https://thermo.lviv.ua/>

Сайт РАУТ-автоматік (Україна, Київ):

<http://www.raut-automatic.kiev.ua/>

Classroom «Computer Integrated Manufacturing»

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B6R_5uxkifQKflpBakI5MllySUpmS1pWQmV5UkMzd1dYcDFtOHA3dVpFQTVpc3RNZlVsaXc

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Термоприлад Вимір Температура.

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Температура.

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Апаратура.

[Emerson \(США\). Тематичний каталог «Датчики температуры. Выпуск 2021. Электронная редакция А»](#)

Термометри НВО Термоприлад

- Термопари. Терморезистори (+ Pt 1000). Вторинна вимірювальна апаратура.

Термометри РАУТ-автоматік

- Терморезистори для повітря (Pt 1000) ST. Терморезистори для рідини (Pt 1000). STW.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління).

Emerson

- Термопари Emerson-2000ТП;
- Терморезистори Emerson-2000ТС;
- Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом Emerson-2700;
- Вторинна вимірювальна апаратура.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів

Монтаж термопар

Процес починається з вибору високоякісного дроту з матеріалу, який потрібний для термопари типу, що виготовляється. Дроти з'єднуються різними способами, включаючи скручування, стиск, паяння, а також різні види зварювання (наприклад, зварювання вузьким швом та зварювання встик). Щоб отримати найкращі робочі характеристики, гарячий спай повинен бути механічно міцним, електрично безперервним, не забруднений ніякими хімічними домішками матеріалів, що використовуються при зварюванні або пайці. При виготовленні високоякісних термопар велика увага приділяється вибору марки дроту та контролю процесу виготовлення.



Рисунок 1.12 – Способи виготовлення гарячого спаю

Типи спаїв

Спаї термопар виготовляються в різних конфігураціях, кожна з яких має переваги для застосування в певних системах. Спаї можуть бути заземленими або незаземленими, а двоелементні термопари можуть бути ізольованими або неізольованими.

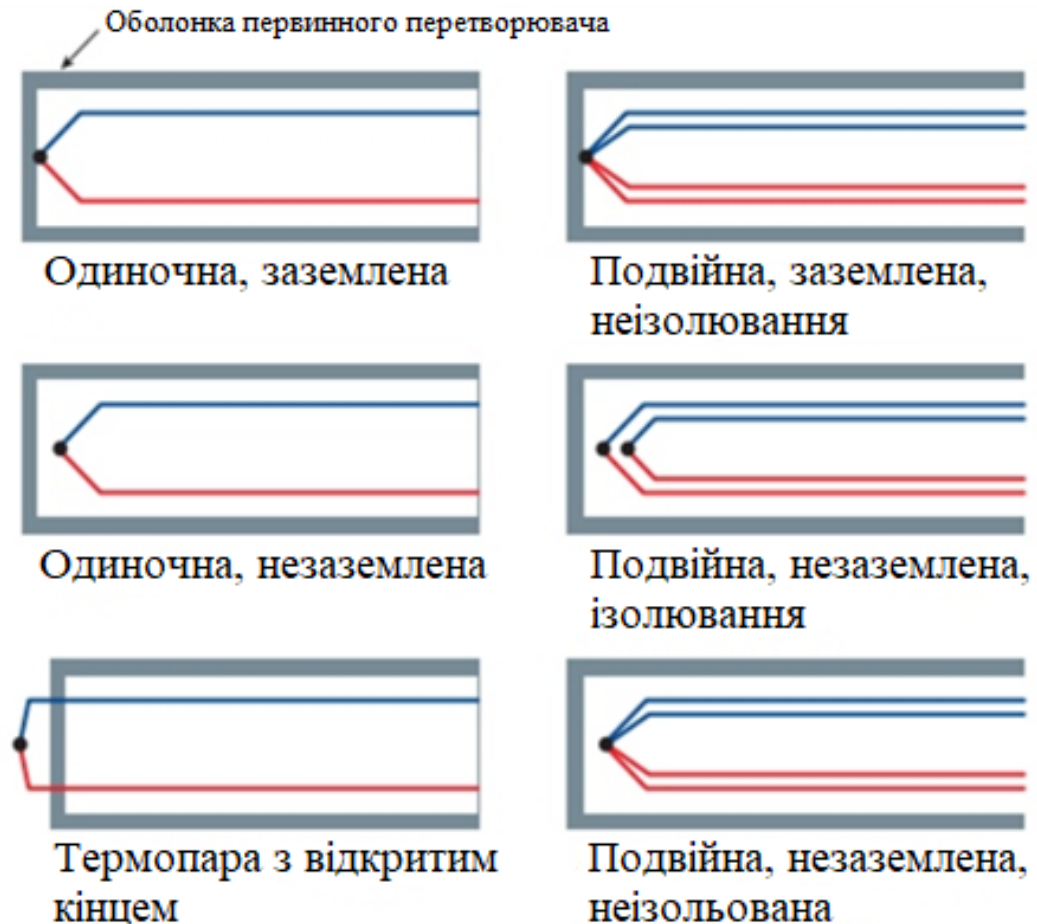


Рисунок 1.13 – Конфігурації гарячих спаїв

Заземлені спаї термопар утворюються, якщо спай термопар з'єднується з оболонкою первинного перетворювача. Заземлені спаї мають кращу теплопровідність, що, у свою чергу, підвищує швидкодію.

Незаземлені спаї виходять тоді, коли елементи термопари не з'єднуються з оболонкою первинного перетворювача, а оточені ізолюючим порошком. Незаземлені спаї мають дещо меншу швидкодію, ніж заземлені спаї, але менш чутливі до електричних шумів.

Термопары з відкритим спаєм мають гарячий спай, що виступає із загерметизованого кінця оболонки, забезпечуючи високу швидкість.

Ізольовані конструкції мають місце у тих випадках, коли два незалежні спаї термопар розміщуються в одній оболонці. Ізольовані спаї можуть давати різні показники температури, але можуть виявляти дрейф показань внаслідок забруднення одного з елементів хімічними домішками. Якщо один із спаїв виходить з ладу, це не обов'язково впливає на другий спай.

Неізольовані конструкції мають місце, коли два спаї термопар поміщаються в одну оболонку і всі чотири дроти термопар фізично з'єднуються. Неізольовані спаї дають однакові показання температури підвищення достовірності вимірювання у цій точці. Однак якщо один із спаїв виходить з ладу, це найімовірніше означає, що обидва спаї відмовили одночасно.

Рекомендації з монтажу

Монтаж термопар в промисловій топці (на прикладі скловарної печі)

Занурювальні термопары склепіння печі

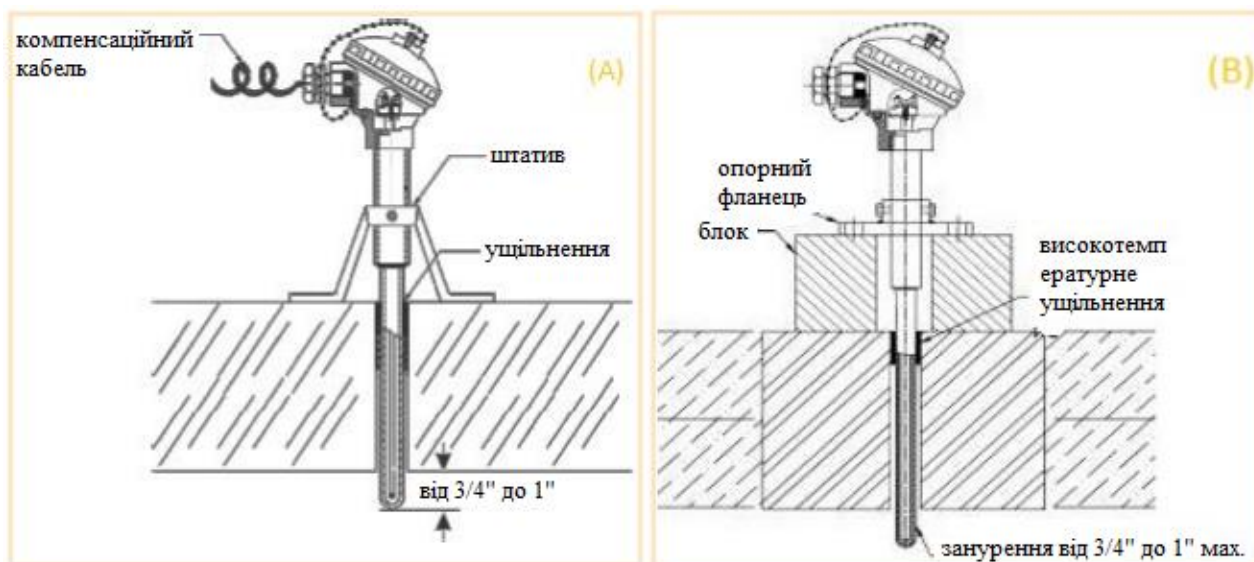


Рисунок 1.14 – Занурювальні термопары склепіння печі

Встановлення без занурення або в блок

У склепіння печі, склепіння регенератора і багатьох скляних виробництвах використовуються беззанурювальні або вбудовані в блок термопари. Ця рекомендація щодо встановлення ідеально підходить для всіх беззанурювальні варіантів монтажу.

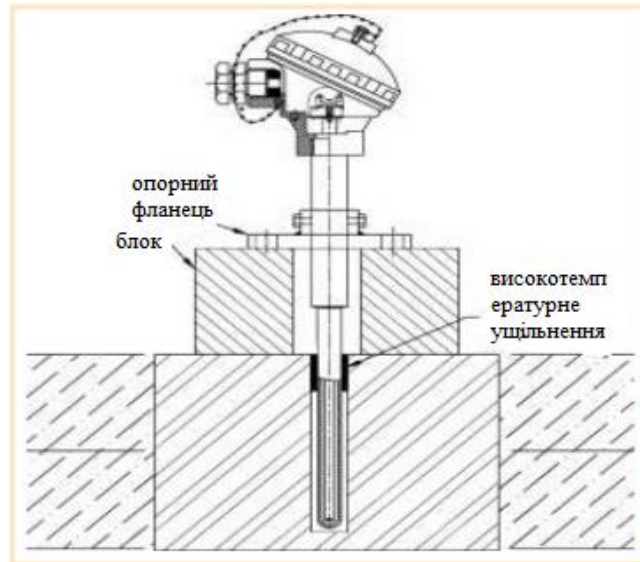


Рисунок 1.15 – Встановлення без занурення або в блок

Монтаж термопари на дно печі

Загальний підхід до встановлення термопари в дно печі. Показано часткове занурення наконечника термопари, з фланцевою установкою. Для запобігання витіканню скла може знадобитися охолодження повітрям.

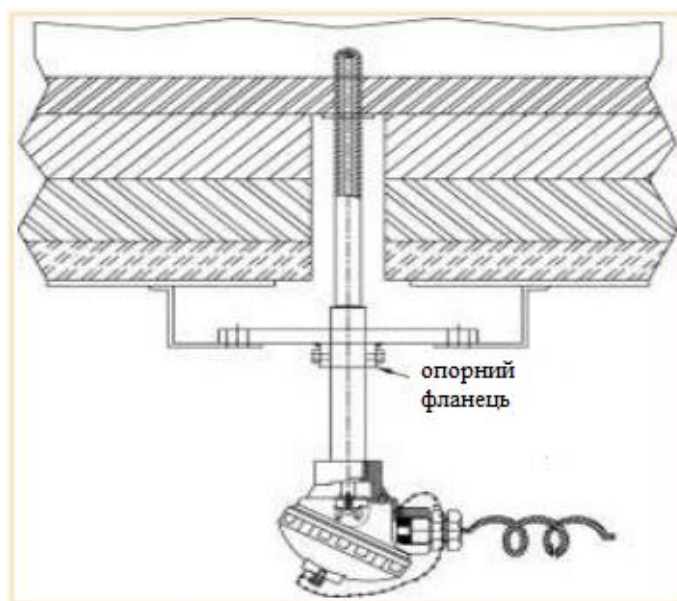


Рисунок 1.16 – Встановлення термопари на дно печі

Безпосереднє занурення

Конструкційно повна довжина наконечника може бути до 4 дюймів від низу блоку. Діаметр отвору повинен бути зведений до мінімуму (15 мм) та збільшено лише в тому випадку, якщо передбачається зрушення, нахил або розтріскування. Шляхом встановлення блоків з одним або двома додатковими заглушеними отворами в них, можна легко забезпечити гаряче свердління, вставку підмінних термопар, повітряних трубок

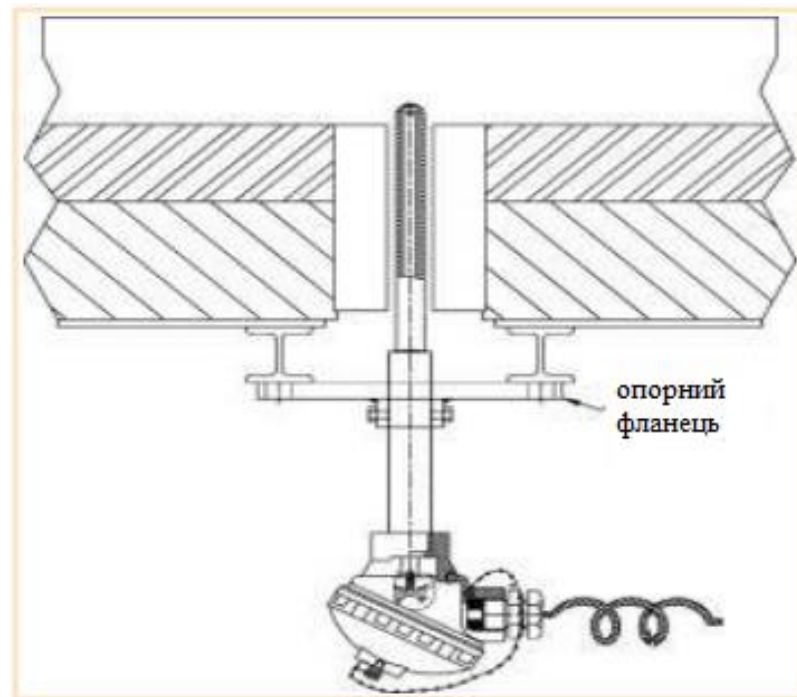


Рисунок 1.17 – Безпосереднє занурення термопар

Метод встановлення трирівневої термопар в живильник і виробничу частину

Сполучна головка має бути від 6 до 12 дюймів над верхнім блоком місця монтажу, захисна оболонка повинна бути належним чином ущільнена високотемпературної ізоляцією, щоб уникнути нагріву. Термопара має бути на $1/2$ дюйма вище дна блоку, щоб уникнути розриву через теплове розширення. Усі три точки повинні бути в глибині скла, а розташування точках термопар має бути вибрано відповідно до глибини скла.

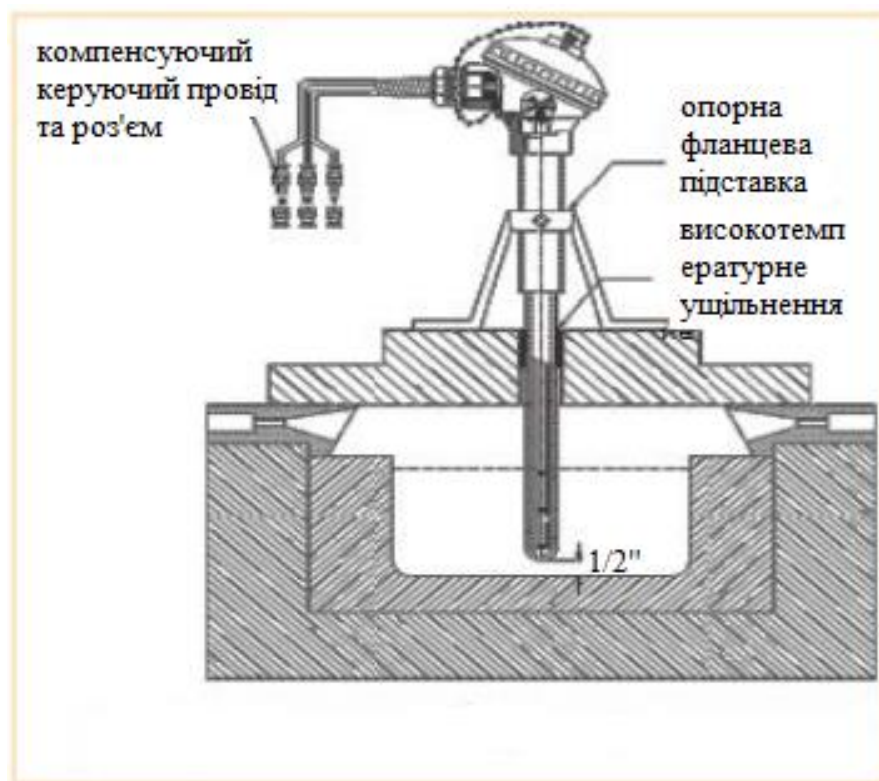


Рисунок 1.18 – Монтаж трирівневої термопари в живильник і виробничу частину

1.2 ВК тиску і розрідження

1.2.1 Визначення і застосування

Тиск – фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, що діє на одиницю площі поверхні тіла та діє за напрямом зовнішньої нормалі до цієї поверхні.

$$P = \frac{F}{S}$$

P – тиск сили F на поверхню площею S ;

F – сила тиску, перпендикулярна до поверхні;

S – площа поверхні, на яку діє перпендикулярна сила F .

Тиск — скалярна величина, тобто не залежить від напрямку і її кожне значення виражається одним числом.

Загальнішим поняттям, ніж поняття тиску, є поняття напруження. У анізотропних середовищах деформація залежить від напрямку прикладеної сили, тому для опису дії сили в таких середовищах використовується інша величина: тензор механічних напружень. Тому поняття тиску найкраще характеризує пружні властивості газів і рідин.

Тиск – одна із найважливіших термодинамічних величин. Це інтенсивна термодинамічна змінна, тобто значення тиску не залежить від розмірів термодинамічної системи.

1.2.2 Одиниці вимірювання

Одиниця вимірювання тиску в системі СІ – паскаль – Па (Pa). $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. $[P] = \text{Н/м}^2$.

Таблиця 1.2 Одиниці вимірювання тиску

	Паскаль	Бар (bar, бар)	Н/мм ²	кгс/м ²	Технічна атмосфера (at, ат)	Фізична атмосфера (atm, атм)	Міліметр ртутного стовпа (mmHg, мм рт.ст., torr, торр)	Фунт-сила на квадратний дюйм (psi)
1 Па (Н/м ²) =	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	0,102	0,102•10 ⁻⁴	0,987•10 ⁻⁵	0,0075	145,038•10 ⁻⁶
1 бар =	100000	1	0,1	10197	1,02	0,987	750	14,5038
1 Н/мм ² =	10 ⁶	10	1	1,02•10 ⁵	10,2	9,87	7500	145,038
1 кгс/м ² =	9,81	9,81•10 ⁻⁵	9,81•10 ⁻⁶	1	10 ⁻⁴	0,968•10 ⁻⁴	0,0736	14,223•10 ⁻⁴
1 технічна атмосфера = 1 кгс/см ² =	98100	0,981	0,0981	10000	1	0,968	736	14,223
1 фізична атмосфера = (760 торр) =	101325	1,013	0,1013	10330	1,033	1	760	14,696
1 торр = 1 мм рт.ст. =	133	0,00133	1,33•10 ⁻⁴	13,6	0,00132	0,00132	1	19,3367•10 ⁻³
1 psi	6894,76	68,9476•10 ⁻³	68,9476•10 ⁻⁴	702,99	70,307•10 ⁻³	68,046•10 ⁻³	51,7151	1

Приблизно:

$1 \text{ атм} = 1 \text{ кг/см}^2 = 1 \text{ бар} = 760 \text{ торр} = 10 \text{ м.в.ст.} = 10000 \text{ мм.в.ст.} = 100 \text{ кПа} = 0.1 \text{ МПа.}$

$1 \text{ мм.в.ст.} = 1 \text{ кг/м}^2 = 10 \text{ Па. } 1 \text{ Па} = 0.1 \text{ мм.в.ст.} = 0.1 \text{ кг/м}^2 = 10^{-5} \text{ атм} = 10^{-5} \text{ бар.}$

1.2.3 Фізичні основи вимірювання

Основні принципи гідравліки і гідростатики

Тиск абсолютний, барометричний, диференціальний

- Абсолютний вакуум – нульовий тиск (відкритий космос);
- P_a – абсолютний тиск – тиск, виміряний щодо абсолютного вакууму;
- P_b – барометричний (атмосферний) тиск. Є абсолютним тиском, так як вимірюється відносно вакууму;
- Диференціальний тиск – це різниця між абсолютним і барометричним тисками;
- $P_n = P_a - P_b$, якщо $P_a > P_b$ – манометричний тиск – надлишковий тиск – диференціальний тиск, в якому абсолютний тиск більший за барометричний. Завжди плюсовий;
- $P_v = P_b - P_a$, якщо $P_b > P_a$ – вакуумметричний тиск – розрідження – диференціальний тиск, в якому барометричний тиск більший за абсолютний. Завжди мінусовий. Увага! Збільшений вакуум (збільшене розрідження) математично відображається меншим числом, так як воно від'ємне (розрідження -100 Па більше за розрідження -50 Па, хоча математично $-100 < -50$);

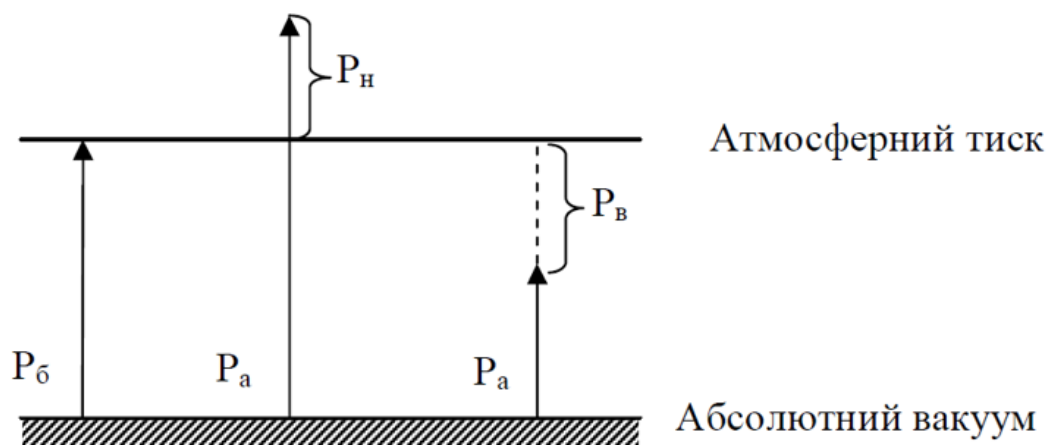


Рисунок 1.19 – Різновиди тисків

Різновиди п'єзометрів

П'єзометр завжди має дві камери: вимірювальну – для підключення вимірюваного тиску (підключається до процесу імпульсною трубкою); барометричну – для з'єднання з атмосферою.

Манометр – п'єзометр для вимірювання манометричного тиску (надлишкового) тиску. Надлишковий тиск – це різниця між більшим абсолютним тиском і меншим атмосферним тиском. Манометричний тиск завжди зі знаком плюс (за замовчанням знак не вказується).

Вакуумметр – п'єзометр для вимірювання вакуумметричного тиску (розрідження). Розрідження – це різниця між меншим абсолютним тиском і більшим атмосферним тиском. Розрідження завжди зі знаком мінус (за замовчанням знак не вказується).

Мановакуумметр – п'єзометр для вимірювання манометричного і вакуумметричного тисків.

Напоромір – манометр для вимірювання невеликого манометричного тиску (напору; натиску) до +40кПа.

Тягомір – вакуумметр для вимірювання невеликого вакуумметричного тиску до –40 кПа.

Тягонапоромір – п'єзометр для вимірювання невеликих вакуумметричного і манометричного тисків від –20 кПа до +20 кПа.

Мікромановакуумметр (або просто мікроманометр) – п'єзометр для вимірювання дуже малих манометричного і вакуумметричного тисків ± 2500 Па.

П'єзометр абсолютного тиску – п'єзометр для вимірювання тиску відносно нульового тиску (абсолютного вакууму), тобто для вимірювання абсолютного тиску (який може бути більший або менший барометричного тиску). З барометричної камери п'єзометру повністю видалено повітря і вона не з'єднана з атмосферою, тобто у неї всередині нульовий тиск (вакуум).

Барометр – манометр абсолютного тиску для вимірювання барометричного (атмосферного) тиску. Вимірювальна камера відкрита в

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

атмосферу. Історично першим був ртутний барометр Торрічеллі. Експеримент Торрічеллі. Запаяну з одного кінця скляну трубку завдовжки 1 м Торрічеллі вщерть заповнив ртуттю і незапаяним кінцем занурив у посудину з ртуттю. Ртуть почала виливатися із трубки в посудину, але не вся, зупинилася на вертикальній відстані 760 мм від поверхні ртуті в посудині. Торрічеллі повторив дослід, розташувавши трубку не вертикально, а похило. І знову вертикальна відстань від поверхні ртуті у посудині до її краю у трубці становила 760 мм. Одержаний результат він пояснив тим, що стовпчик ртуті у трубці і повітря над відкритою поверхнею ртуті тиснуть на неї однаково. Цей тиск дістав назву нормального атмосферного тиску. А порожній простір, який виникав у верхній частині запаяної трубки, названий торрічелевою порожнечою. Це був історично перший отриманий вакуум (ртуть вилилась з перевернутої трубки у посудину; зверху в трубці над ртуттю вже не було повітря, тобто був вакуум). Пізніше існування атмосферного тиску і його сила були продемонстровані в експерименті з так званими магдебурськими (по назві міста) півсферами (дві металеві півсфери стулили одна до одної; з отриманої сфери викачали повітря; для роз'єднання півсфер знадобились коні, так як півсфери сильно притискалися одна до одної зовнішнім атмосферним тиском).

Диференціальний манометр. Вимірювання витрати. Вимірювання рівня

Диференціальний манометр (дифманометр) – манометр для вимірювання диференціального тиску – перепаду тиску. Має дві камери: плюсову для підключення більшого тиску; мінусову для підключення меншого тиску. Камери підключаються до процесу імпульсними трубками.

Дифманометр може бути використаний як:

- манометр, якщо плюсову камеру підключити до процесу з надлишковим тиском, а мінусову камеру відкрити в атмосферу;
- вакуумметр, якщо мінусову камеру підключити до процесу з розрідженням, а плюсову камеру відкрити в атмосферу;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витратомір (вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску);
- рівнемір (вимірювання рівня рідини гідростатичним методом).

Дифманометр-витратомір (вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску)

Витрата газу або рідини в трубі функціонально пов'язана з перепадом тиску на гідравлічному опорі, в якості якого використовується діафрагма (спеціально профільований металевий диск з отвором посередині, який вставляється в трубу і використовується для створення місцевого гідравлічного опору і високоточного вимірювання витрати потоку дифманометром). Дифманометр-витратомір підключається плюсовою камерою до більшого тиску (перед діафрагмою), а мінусовою – до меншого тиску (після діафрагми). Вимірювання витрати методом змінного тиску, тобто діафрагмою і дифманометром, – класичний і колись найпоширеніший метод вимірювання витрати (зараз вже неактуальний; зараз замість діафрагми і дифманометру використовується витратомір з трубкою Прандтля).

Дифманометр-рівнемір (вимірювання рівня рідини гідростатичним методом)

Дифманометр-рівнемір підключається плюсовою камерою до дна резервуару (до нульової позначки рівня рідини в резервуарі, тобто до більшого тиску, а мінусовою – в атмосферу (якщо резервуар відкритий) або до верхньої частини резервуару (якщо він закритий), тобто до меншого тиску. Гідростатичний метод вимірювання рідини – класичний і допоки найпоширеніший метод вимірювання рівня рідини в резервуарі.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.4 Технічні засоби вимірювання

Типи п'єзометрів

- **Вантажопоршневі**, у яких вимірюваний тиск урівноважується тиском, що створюється масою поршня і вантажу. Використовуються для створення та вимірювання манометричного і (або) абсолютного тиску при метрологічній повірці манометрів;
- **Рідинні**, у них вимірюваний тиск урівноважується тиском стовпа рідини. Використовуються для метрологічних повірок як еталонні прилади і для лабораторних досліджень;
- **Деформаційні (пружні)**, у них вимірюваний тиск визначається за величиною деформації різних пружин чутливих елементів.
Основні п'єзометри в промисловості. Використовуються для вимірювання манометричних і вакуумметричних тисків промислового діапазону;
- **Електричні**, принцип дії яких заснований на перетворенні тиску в яку-небудь електричну величину або на зміні електричних властивостей матеріалів під дією тиску. Використовуються для вимірювання надвисоких манометричних і вакуумметричних тисків і швидкозмінних тисків.

1.2.5 Номенклатура давачів і приладів

Довідкові ресурси

Сайт Мікрол (Україна, Івано-Франківськ): <http://www.microl.ua/>

[Emerson \(США\). Тематичний каталог «Датчики давления. Выпуск 2021.](#)

[Электронная редакция А»](#)

Classroom «Computer Integrated Manufacturing»

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B6R_5uxkifQKflpBakI5MllySUpmS1pWQmV5UkMzd1dYcDFtOHA3dVpFQTVpc3RNZGVsaXc

Шлях: !TBC лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Тиск.

Шлях: !TBC лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Апаратура.

П'єзометри Danfoss MBS

- Самостійний пошук в інтернеті.

П'єзометри Siemens Sitrans

- Самостійний пошук в інтернеті.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління).

Emerson

- П'єзометри Emerson-150. Манометри локальні SPG, WPG (WirelessHART);
- Вторинна вимірювальна апаратура.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Універсальні інтелектуальні п'єзометри Emerson-150 призначені для вимірювання і безперервного перетворення в уніфікований аналоговий струмовий сигнал 4...20 мА і цифровий сигнал протоколу HART всіх п'єзометричних тисків:

- надлишкового тиску – давачі Emerson-150-CG, Emerson-150-CGR;
- абсолютного тиску – давачі Emerson-150-TA, Emerson-150-TAR;
- різниці тисків – давачі Emerson-150-CD, Emerson-150-CDR.

Управління параметрами п'єзометру Emerson-150 здійснюється:

- з клавіатури і вбудованого дисплея;
- з комп'ютера програмою AMC (HART-Master);
- за допомогою зовнішнього HART-комунікатору.

Вимірювані середовища: рідини, пара, газ, газові суміші, нафтопродукти; газоподібний кисень і кисневмісні газові суміші; харчові суміші.

Діапазони вимірюваних тисків п'єзометрів: мінімальний – 0...0,025 кПа, максимальний – 0..68 МПа. Переналагодження діапазонів вимірювань: 100:1.

Температури робочого середовища на вході в давач: -40... 120 або -40... 150 °С.

Вихідні сигнали: 4...20 мА з HART-протоколом; 0...5 мА.

Основна приведена похибка вимірювань – до $\pm 0.065\%$.

Ступінь захисту від впливу пилу і води – IP 66/68.

Діапазон температур навколишнього середовища: від -40 до 80 °С. С; від -55 до 80 °С (опція).

Вибухозахищене виконання "іскробезпечне коло" і "вибухонепроникна оболонка".

Гарантійний термін експлуатації - 5 років. Міжповірочний інтервал - 5 років.

Середнє напрацювання на відмову становить 150000 годин для моделей Emerson-150CD, CG, TG, TA. Середнє напрацювання на відмову становить 200000 годин для моделей Emerson-150CDR, CGR, TAR, TGR.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів

**Фланцеве і гідростатичне виконання для дифманометрів
(фланцевий монтаж на трубі або на кронштейні)**

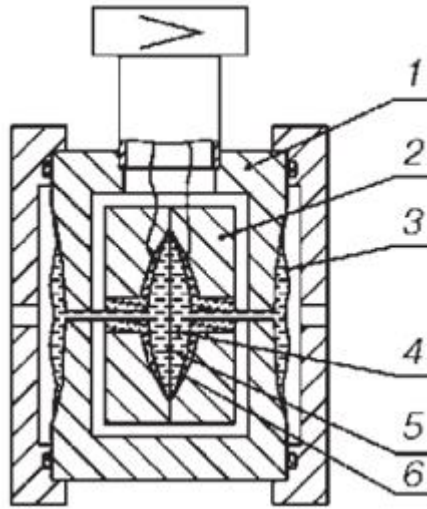


Рисунок 1.20 – Фланцеве і гідростатичне виконання для дифманометрів
Emerson-150CD, CG:

- 1 – корпус;
- 2 – ємнісна комірка;
- 3 – розділова мембрана;
- 4 – розділова рідина;
- 5 – вимірювальна мембрана;
- 6 – конденсатор.

Фланцеве виконання для дифманометрів (фланцевий монтаж на трубі або на кронштейні)

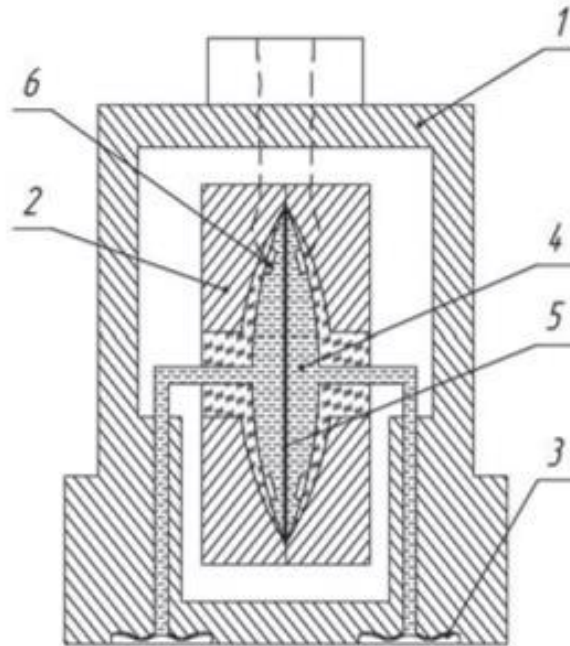


Рисунок 1.21 – Фланцеве виконання для дифманометрів
Emerson-150CD, CGR:

- 1 – корпус;
- 2 – ємнісна комірка;
- 3 – розділова мембрана;
- 4 – розділова рідина;
- 5 – вимірювальна мембрана;
- 6 – конденсатор.

Штуцерне виконання для мановакууметрів (вкручується в трубу)

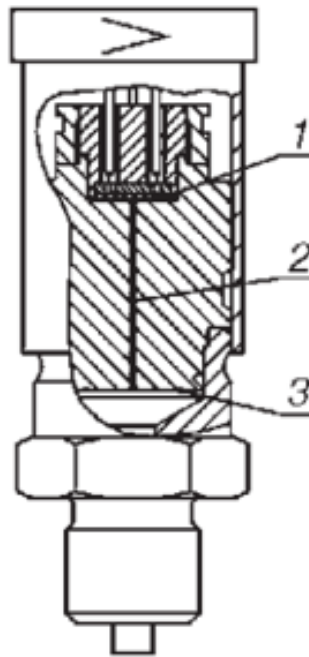


Рисунок 1.22 – Штуцерне виконання для мановакууметрів
Emerson-150TG, TA, TGR, TAR:

- 1 – тензомодуль;
- 2 – розділова рідина;
- 3 – розділова мембрана.

С – ємнісний чутливий елемент. Т – тензорезистивний чутливий елемент. G – мановакуумметр. D – дифманометр. А – манометр абсолютного тиску. R – вибухозахист «вибухонепроникна оболонка». Без літери R – вибухозахист «іскробезпечне електричне коло».

Монтаж п'єзометрів

Мановакуумметр або «вкручується» в трубу (штуцерний монтаж на процесі, тобто в трубі), або «врізається» в трубу (фланцевий монтаж на процесі, тобто в трубі), або монтується на кронштейні (на трубі або біля труби). В останньому випадку мановакуумметр підключається до процесу (до точки вимірювання тиску в трубі) одною імпульсною трубкою.

Дифманометр завжди підключається до процесу двома імпульсними трубками. Дифманометр монтується на кронштейні (на трубі або біля труби) або прямо на стінці резервуару (фланцеве гідростатичне виконання при вимірюванні рівня) .

Рекомендації з монтажу мановакуумметрів

Відбір тиску рекомендується робити в місцях, де швидкість руху середовища найменша, потік без завихрень, тобто на прямолінійних ділянках трубопроводу при максимальній відстані від запірних пристроїв, колін, компенсаторів та інших гідравлічних з'єднань.

Для пульсуючого тиску середовища, гідро-, газоударх з'єднувальні трубки повинні бути з відводами у вигляді петлеподібних заспокоювачів.

Температура вимірюваного середовища в робочій порожнині датчика не повинна перевищувати допустимої температури навколишнього повітря.

Обов'язковим є використання розділових, зрівняльних і конденсаційних судин для підключення п'єзометру до процесу. Ігнорування вимог з використання, де це є необхідним, зрівняльних і конденсаційних судин є неприпустимим і може мати катастрофічні наслідки для вимірювання і, відповідно, для автоматизації.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 ВК витрати енергоносіїв

1.3.1 Визначення і застосування

Витрата – фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості робочого тіла, переміщеного через переріз потоку в одиницю часу.

Витрата — скалярна величина, тобто не залежить від напрямку і її кожне значення виражається одним числом.

Витрата – одна із найважливіших теплоенергетичних величин. Економічна ефективність теплоенергетичного агрегату характеризується питомими витратами енергоносіїв і матеріалів, тобто витратами енергоносіїв і матеріалів на одиницю виробленої агрегатом продукції.

Питома витрата енергоносіїв – основна частина собівартості виробленої продукції. Питома витрата енергоносіїв є важливим КПЕ (ключовим показником ефективності; KPI) для менеджменту в тріаді «звітність – аналітика – планування».

Система технічного обліку витрати енергоресурсів

- Технічний облік витрати газу, води, пари, електроенергії;
- Витрата газу може обраховуватись в об'ємних одиницях ($\frac{м^3}{с}$);
- Внутрішній розрахунок між департаментами підприємства;
- Звіти можуть публікуватися в форматі Excel.

Система комерційного обліку витрати енергоресурсів

- Комерційний облік витрати газу, води, пари, електроенергії;
- Витрата газу повинна обраховуватись в вагових одиницях ($\frac{кг}{с}$);
Тому потрібно або використовувати спеціальні витратоміри, або перераховувати об'ємну витрату в вагову на основі додатково виміряних тиску і температури газу;
- Зовнішній розрахунок між підприємствами;
- Звіти повинні публікуватись в форматі PDF, щоб унеможливити їх редагування;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Системи комерційного обліку витрати енергоресурсів повинні сертифікуватись уповноваженими органами. Тільки після такої сертифікації значення витрат за звітний період можуть бути підставою для комерційних розрахунків між постачальником енергоносіїв і споживачем енергоносіїв.

1.3.2 Одиниці вимірювання

Вирізняють об'ємну витрату і масову витрату

Об'ємна витрат Q_o вимірюється в метрах кубічних (кубометрах) за секунду (або годину). $[Q_o] = \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$. Звичайно об'ємну витрату використовують для газів. Масова витрата Q_m вимірюється в кілограмах (тонах) за секунду (або годину). $[Q_m] = \frac{\text{кг}}{\text{с}}$. Звичайно масову витрату використовують для рідин і пари. Для газу як палива використовують також сучасну енергетичну (теплову) витрату Q_E в ватах. $[Q_E] = \text{Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

Для газу як палива перехід від об'ємної витрати до масової дозволяє врахувати зміну об'єму газу від тиску і температури (в тому ж об'ємі газу в залежності від його тиску і температури може бути різна кількість газу в кілограмах; в той же час в топці спалюються саме кілограми, а не метри кубічні), а перехід від масової витрати до енергетичної дозволяє додатково врахувати калорійність (теплоту згоряння) газу (в топці кілограми газу спалюються для отримання тепла в джоулях; при різній калорійності газу та ж кількість газу в кілограмах дає різну кількість виділеного тепла в джоулях). Калорійність газу залежить від його хімічного складу, тобто від родовища видобутку газу. Теплота згоряння палива може бути виміряна так званими тепломірами (в них спалюється задана кількість палива і визначається кількість виділеного тепла). Тепломіри не придатні для неперервного використання, використовуються для періодичних вимірювань калорійності палива.

Звичайно калорійність газу враховують перерахунком об'ємного або масового споживання газу за певний період часу, обчисленого на основі

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показань об'ємних або масових лічильників витрати газу. Сумарну витрату (споживання) газу рахують в джоулях Дж або в мегават-годинах. В Україні споживання (облік) газу рахують в кіловат-годинах (кВт-год). Об'ємне і масове споживання перераховують в теплове відповідно до родовища видобутку газу і періодичних контрольних вимірювань в тепломірах у споживачів калорійності газу).

Питома витрата енергоносія об'ємна $\frac{\text{середня витрата } Q_o \text{ за період}}{\text{кількість виробленої продукції за період}}$ і
масова $\frac{\text{середня витрата } Q_m \text{ за період}}{\text{кількість виробленої продукції за період}}.$

Питоме енергетичне (теплове) споживання газу за заданий період $\frac{\text{спожите тепло (спожита енергія) } E \text{ за період}}{\text{кількість виробленої продукції за період}}.$

1.3.3 Фізичні основи вимірювання

Витрата об'ємна і масова

Рівняння витрати пов'язує об'ємну витрату потоку через трубу і перепад тиску на гідравлічному опорі:

$$Q_o = ks \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = ks \sqrt{2g \Delta h}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad \Delta p = \rho g \Delta h$$

де: Q_o – об'ємна витрата, k – безрозмірний коефіцієнт; s – площа поперечного перерізу гідравлічного опору; $\Delta p = (p_1 - p_2)$ – перепад п'єзометричного тиску на гідравлічному опорі, p_1 – п'єзометричний тиск до гідравлічного опору, p_2 – п'єзометричний тиск після гідравлічного опору, $p_1 > p_2$; Δh – перепад п'єзометричних висот; ρ – густина робочого тіла (поток); g – прискорення вільного падіння.

Масова витрата перераховується за рівнянням:

$$Q_m = \rho * Q_o = \rho ks \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = ks \sqrt{2p \Delta p} = \rho ks \sqrt{2g \Delta h}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Рівняння витрати виводиться з рівняння Бернуллі, коли швидкості потоку до і після гідравлічного опору однакові (відповідно до рівняння неперервності потоку), а п'єзометричні тиски різні (до опору більший за тиск після опору). Це означає, що потік витратив частину своєї кінетичної енергії

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(свого динамічного тиску) на опорі. Тобто, перепад тиску на гідравлічному опорі ΔP є втратою динамічного тиску. Такий спосіб вимірювання витрати є класичним і називається вимірюванням витрати методом змінного перепаду тиску (на постійному гідравлічному опорі).

Газ є неньютоновою рідиною, тобто об'єм газу залежить від тиску і температури. Це означає, що в тому самому об'ємі газу, залежно від тиску і температури, може бути різна маса газу.

Для газу необхідно зробити так зване приведення вимірної об'ємної витрати до так званих нормальних (абсолютна температура 273 К; абсолютний тиск 0.1 МПа) або стандартних (абсолютна температура 293 К; абсолютний тиск 0.1 МПа) умов. Будемо використовувати приведення об'ємної витрати до нормальних умов.

Для ідеального газу справедливо рівняння Клапейрона:

$$P * W = R * T.$$

Відповідно, приведена до нормальних умов об'ємна витрата перераховується на основі вимірної об'ємної витрати і вимірних тиску і температури:

$$Q_N = Q_o * \frac{P}{P_N} * \frac{T_N}{T}, \text{ де } P_N = 0.1 \text{ МПа}, T_N = 273 \text{ К}.$$

Перерахування об'ємної витрати в масову витрату може бути здійснено двома шляхами:

1. Перерахування на основі вимірної об'ємної витрати:

$$Q_m = \rho_o * Q_o = (\rho_N * \frac{P}{P_N} * \frac{T_N}{T}) * Q_o;$$

2. Перерахування на основі приведеної до нормальних умов вимірної об'ємної витрати:

$$Q_m = \rho_N * Q_N = \rho_N * (Q_o * \frac{P}{P_N} * \frac{T_N}{T}).$$

Для приведення вимірної об'ємної витрати до нормальних умов потрібно вимірювати тиск і температуру потоку в місці установки витратоміру. Об'ємний витратомір може мати вбудовані датчики тиску і температури.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

1.3.4 Технічні засоби вимірювання

Типи витратомірів

Об'ємні витратоміри

- Витратоміри змінного перепаду тиску (зі звужуючими пристроями; з гідравлічними опорами; з трубкою Прандтля), які перетворюють швидкісний натиск в перепад тиску;
- Витратоміри постійного перепаду тиску (витратоміри обтікання: ротаметри, поплавкові, поршневі, гідродинамічні), які перетворюють швидкісний натиск у переміщення тіла, яке обтікається потоком;
- Тахометричні витратоміри (турбінні з аксіальною або тангенціальною турбіною; камерні з шестернями), які перетворюють швидкість потоку в кутову швидкість обертання обтічних елементів (лопаток турбіни або шестерень в камері);
- Електромагнітні (індукційні) витратоміри, що перетворюють швидкість потоку електропровідної рідини, яка рухається в магнітному полі, в ерс;
- Ультразвукові витратоміри, базовані на ефекті захоплення звукових коливань середовищем, що рухається (ефект Фізо – швидкість ультразвуку в середовищі залежить від швидкості середовища). Вимірюється різниця швидкостей розповсюдження ультразвуку вздовж і назустріч потоку;
- Теплові витратоміри, що працюють на ефекті перенесення тепла середовищем, що рухається, від нагрівача. Термоанемометричні витратоміри базовані на вимірюванні зниження температури нагрівача від швидкості потоку. Калориметричні витратоміри базовані на вимірюванні підведеної до нагрівача теплової потужності для стабілізації його температури;
- Оптичні витратоміри, базовані на ефекті захоплення світла рухомим середовищем (ефект Фізо – швидкість світла в

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищі залежить від швидкості середовища) або на ефекті розсіювання світла рухомими частками (ефект Доплера – явище зміни частоти хвилі, яку реєструє приймач, викликане переміщенням джерела або приймача);

- Міткові витратоміри (з тепловими, іонізаційними, магнітними, концентраційними, турбулентними мітками), базовані на вимірюванні швидкості або на визначенні стану мітки при проходженні її між двома фіксованими перетинами потоку;
- Вихрові витратоміри, базовані на частоті виникнення вихорів за тілом обтікання, розташованим в потоці середовища, і вимірюванні частоти пульсацій вихорів, яка пропорційна швидкості середовища. В вихороакустичних витратомірах частота виникнення вихорів вимірюється ультразвуковими п'єзоелектриками з опорною частотою 1 МГц (фазова модуляція опорної частоти частотою вихороутворення).

Масові витратоміри

- Інерційні витратоміри (турбосилові, гіроскопічні, коріолісові), робота яких базується на інерційному впливі маси рідини, що рухається з лінійним або кутовим прискоренням.

Рекомендації з вибору витратоміру

- Якщо потрібно напряду вимірювати масову витрату без додаткових математичних перерахунків, то потрібно використовувати інерційні витратоміри. Практично – коріолісовий витратомір, так як він, фактично, є промисловим стандартом масометру. Додатково масометр вимірює густину потоку. Недоліки – чутливість до вібрацій, висока вартість. Рекомендується як основний варіант витратоміру до використання, якщо бюджет і умови монтажу і експлуатації витратоміру це дозволяють.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- В промисловості практично використовують такі об'ємні витратоміри: змінного перепаду тиску; турбінний; електромагнітний; ультразвуковий; вихровий. Інші об'ємні витратоміри використовують, в основному, в наукових і лабораторних дослідженнях.
- Найпоширеніший витратомір змінного перепаду тиску – дифманометр зі звужуючим пристроєм (діафрагмою або соплом Вентурі). Вузьким місцем є звужуючий пристрій, особливо діафрагма. Ще суттєвий недолік – квадратична залежність витрати від виміряного перепаду тиску.
- Сучасним варіантом витратоміру змінного перепаду тиску є витратомір з трубкою Прандтля (часто неправильно називають трубкою Піто). Рекомендуються до використання замість дифманометру з діафрагмою (соплом Вентурі). Рекомендуються для неагресивних і неабразивних газів, рідин, пари.
- Турбінні витратоміри є високоточними і широко використовуються в промисловості. Недоліки – мала зносостійкість лопаток в агресивному і абразивному середовищі.
- Ультразвукові витратоміри є широкоживаними і надійними пристроями. Недоліки – чутливість до вібрацій, домішок і перекосу потоку. Рекомендуються для неагресивних і неабразивних газів, рідин, пари.
- Вихрові витратоміри є широкоживаними і надійними пристроями. Недоліки – чутливість до вібрацій, домішок і перекосу потоку. Рекомендуються для неагресивних і неабразивних газів, рідин, пари.
- Вихороакустичні витратоміри рекомендуються для води (теплофікаційна, питна, технічна, дистильована), неабразивних і малов'язких водних розчинів.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Електромагнітні витратоміри рекомендуються як до звичайного використання, так і до використання в агресивних, абразивних і в'язких рідинах, в пульпі, в рідких металах. Широкий діапазон вимірювання. Недоліки – рідини обов'язково повинні бути електропровідними, відносна чутливість до електромагнітних перешкод і домішок. Рекомендується як основний варіант витратоміру для агресивних і абразивних рідин, розплавів металів.
- Для об'ємних витратомірів рекомендується обов'язково робити приведення до нормальних умов вимірюної об'ємної витрати або перераховувати виміряну об'ємну витрату в масову витрату. Для цього потрібно в точці вимірювання об'ємної витрати (або в загальному трубопроводі) додатково встановлювати термометр і п'єзометр або використовувати об'ємні витратоміри з вбудованими термометром і п'єзометром. Ігнорування такого перерахування призводить до виникнення неконтрольованих постійних похибок вимірювання і суттєвих збурень в САР температури (об'ємна витрата не змінюється, а масова змінюється і внесене в топку тепло змінюється). Для усунення такого недоліку САР температури треба робити каскадною. Корируючий регулятор є регулятором температури і реагує на зміну температури, формуючи задану витрату палива для стабілізуючого регулятора.. Стабілізуючий регулятор є регулятором витрати палива. Якщо вимірюється масова витрата або обраховується приведена до нормальних умов виміряна об'ємна витрата, то регулятор витрати палива буде стабілізувати витрату на уставці і не «пропустить» збурення на об'єкт управління (тобто буде підтримувати потрібну масову витрату газу в топку і температура в топці не зміниться).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.5 Номенклатура давачів і приладів

Довідкові ресурси

Сайт Мікрол (Україна, Івано-Франківськ): <http://www.microl.ua/>

[Emerson \(США\). Тематичний каталог «Расходомеры. Плотномеры. Выпуск 2016»](#)

Classroom «Computer Integrated Manufacturing»

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B6R_5uxkifQKflpBakI5MllySUpmS1pWQmV5UkMzd1dYcDFtOHA3dVpFQTVpc3RNZlVsaXc

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Витрата.

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Тиск.

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Апаратура.

Дифманометри і витратоміри Danfoss MBS

- Самостійний пошук в інтернеті.

Дифманометри і витратоміри Siemens Sitrans

- Самостійний пошук в інтернеті.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління).

Emerson

- Дифманометри Emerson-150-CD, Emerson-150-CDR;
- Електромагнітні витратоміри Emerson-370, Rosemount-8700, Rosemount-8750;
- Вихрові витратоміри Emerson-331, Emerson-332, Rosemount-8800, Rosemount-8600;
- Вихороакустичні витратоміри Emerson-300ПР;
- Коріолісові витратоміри Emerson Rosemount Micro Motion;
- Вторинна вимірювальна апаратура.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів

Рекомендації з монтажу дифманометрів

Дифманометр підключається до звужувального пристрою двома лініями (імпульсними трубками) внутрішнім діаметром не менше як 8 мм. Допускається довжина ліній до 50 м, однак через можливість виникнення великої динамічної похибки не рекомендується використовувати лінії довжиною більше 15 м.

Важливою умовою є необхідність забезпечення сталої течії потоку перед входом у звужувальний пристрій і після нього. Такий потік забезпечується наявністю прямих ділянок трубопроводу певної довжини до і після звужувального пристрою. На цих ділянках не повинні встановлюватися ніякі пристрої, що можуть спотворити гідродинаміку потоку на вході або виході звужувального пристрою. Довжина цих ділянок повинна бути такою, щоб збурення потоку, внесені колінами, вентилями, трійниками тощо, змогли згладитися до підходу потоку до звужувального пристрою.

Сполучні лінії (імпульсні трубки) повинні мати односторонній ухил (не менше 1:10) від місця відбору перепаду тиску, вгору до дифманометру, якщо вимірюване середовище – газ і вниз до дифманометру, якщо вимірювана середовище – рідина. Якщо це неможливо, при вимірюванні різниці тисків газу в нижніх точках сполучної лінії слід встановлювати відстійні судини, а при вимірюванні різниці тисків рідини в найвищих точках – газозбірники. Відстійні судини рекомендується встановлювати перед датчиком і в інших випадках, особливо при довгих сполучних лініях і при розташуванні датчика нижче місця відбору тиску.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання дифманометром перепаду тиску газу

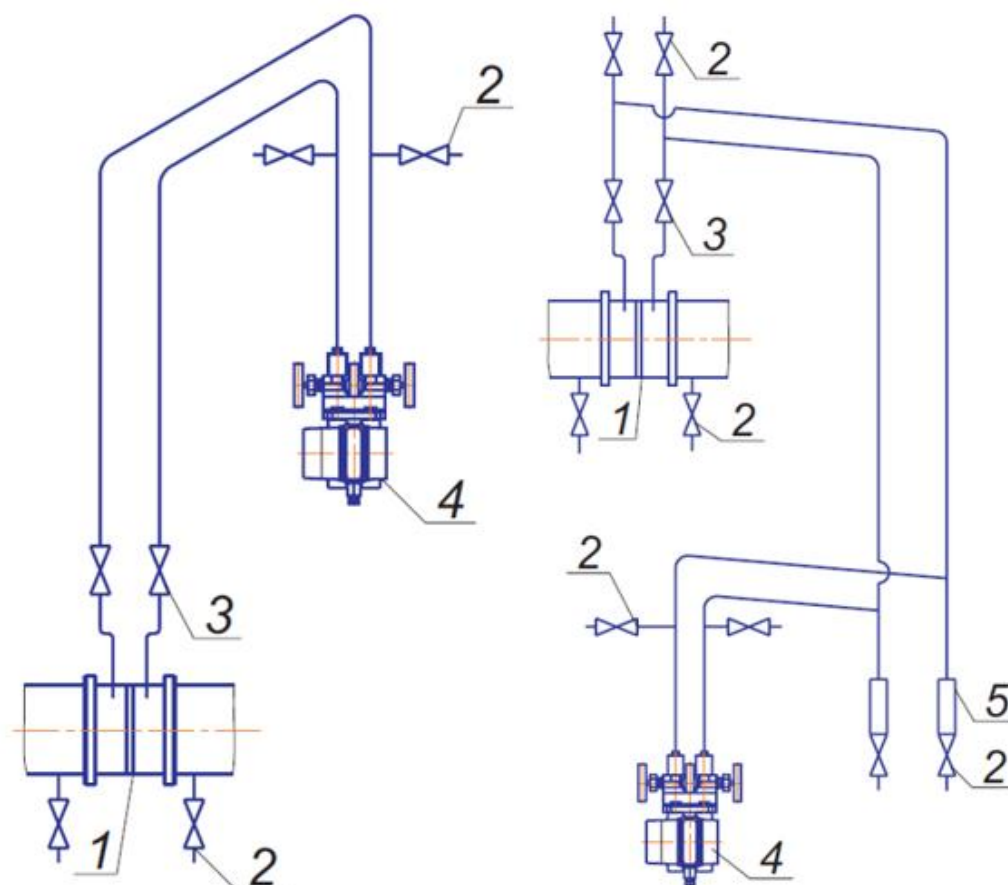


Рисунок 1.23 – Вимірювання дифманометром перепаду тиску газу

Дифманометр зверху – правильно. Дифманометр знизу – потрібні відстійні судини (5) перед дифманометром для видалення крапель рідини.

Вимірювання дифманометром перепаду тиску рідини

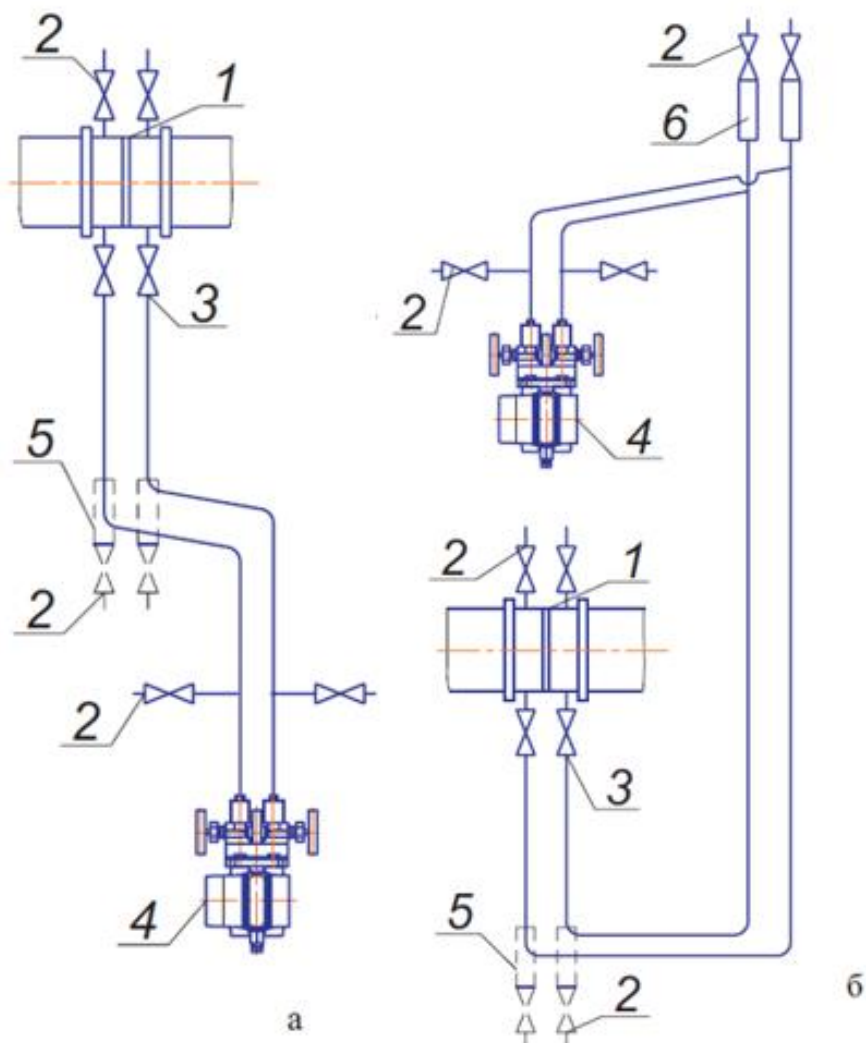


Рисунок 1.24 – Вимірювання дифманометром перепаду тиску рідини

- а) Дифманометр знизу – правильно.
- б) Дифманометр зверху – потрібні газозбірники (6) над дифманометром для видалення домішок газу.

Вимірювання дифманометром перепаду тиску пари

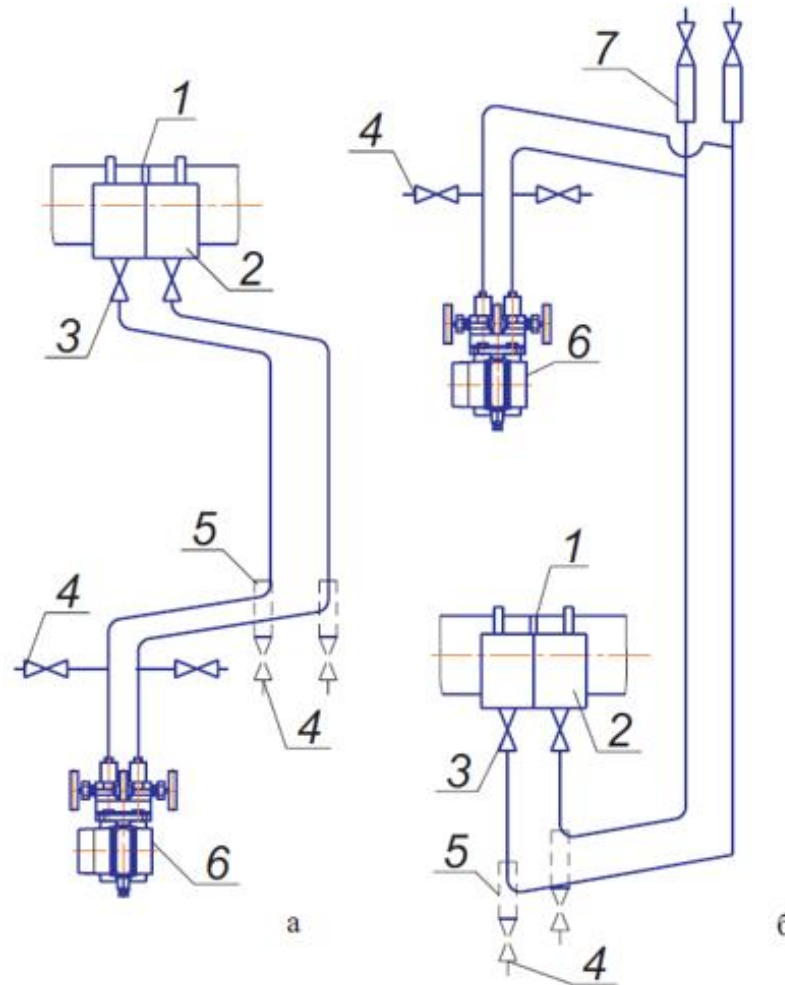


Рисунок 1.25 – Вимірювання дифманометром перепаду тиску пари

- а) Дифманометр знизу – правильно. Зрівняльні конденсаційні судини (2) – для конденсації пари в рідину (в камерах дифманометра буде рідина) і зрівняння рівнів конденсату в імпульсних трубках.
- б) Дифманометр зверху – потрібні газозбірники (7) над дифманометром для видалення домішок пари. Встановлені зрівняльні конденсаційні судини (2) для конденсації пари і зрівняння рівнів конденсату в імпульсних трубках.

Штуцерний монтаж витратоміру



Рисунок 1.26 – Штуцерний монтаж витратоміру

Фланцевий монтаж електромагнітних витратомірів (витратомір «врізається» в трубу)



Рисунок 1.27 – Фланцевий монтаж електромагнітних витратомірів

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Фланцевий монтаж вихрових (вихороакустичних) витратомірів
(витратомір «врізається» в трубу)**



Рисунок 1.28 – Фланцевий монтаж вихрового витратоміру



Рисунок 1.29 – Фланцевий монтаж вихрового витратоміру з редундантним (резервованим) виконанням з двома паралельними ВК (два сенсори і два конвертери в два вихідні сигнали).

Фланцевий монтаж ультразвукових витратомірів (витратомір «врізається» в трубу)



Рисунок 1.30 – Фланцевий монтаж двопроменевого витратоміру



Рисунок 1.31 – Фланцевий монтаж трипроменевого витратоміру

Фланцевий монтаж коріолісових витратомірів (витратомір «врізається» в трубу)



Рисунок 1.32 – Фланцевий монтаж коріолісових витратомірів

1.4 ВК рівня і ваги середовища

1.4.1 Визначення і застосування

Рівень – фізична величина, яка чисельно дорівнює висоті рідини або матеріалу у баку, бункері або іншій судині. Висота рідини або матеріалу вимірюється в напрямку зовнішньої нормалі до поверхні, на якій розташована ємність.

Вага – сила, з якою тіло діє (тисне) на опору (або почеп), яка запобігає падінню тіла.

Вага (сила ваги) виникає в полі сил тяжіння. Для тіла, яке є в стадії спокою в інерційній системі відліку, його вага дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло:

$$F = m * g$$

Прискорення вільного падіння g залежить від висоти над земною поверхнею і – через несферичність Землі, а також з огляду на її обертання – від географічних координат точки вимірювання. В результаті добового обертання Землі існує широтне зменшення ваги: на екваторі вага приблизно на 0.3% менше, ніж на полюсах.

Якщо опора або почеп переміщуються відносно інерціальної системи з прискоренням w (тобто в неінерціальній системі відліку), то сила ваги і вже не співпадає з силою тяжіння:

$$F = m * (g - w)$$

Вимірювання ваги широко застосовується в системах автоматичного дозування, в вантажоперевезеннях, а також як заміна вимірюванню рівня для сипких матеріалів, де промислові методи вимірювання рівня не можуть бути використані.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.2 Одиниці вимірювання

Одиниця вимірювання рівня в системі СІ – метр. $[H] = \text{м}$.

Одиниця вимірювання ваги в системі СІ – ньютон – Н (N).

$$1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}. [F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Одиниця вимірювання маси в системі СІ – кг. $[m] = \text{кг}$.

Чітке розрізнення понять ваги і маси прийнято в основному в науці і техніці, а в багатьох повсякденних ситуаціях слово «вага» продовжує використовуватися, коли фактично мова йде про «масу». Наприклад, ми говоримо, що якесь тіло «важить один кілограм», незважаючи на те, що кілограм є одиницею маси і правильно казати «маса тіла один кілограм».

Іноколи навіть використовують терміни кілограм-маса (кгм) для маси і кілограм-сила (кгс або кГ) для ваги.

Кілограм-сила – це вага тіла масою 1 кілограм (кг). Або, інакше, кілограм-сила – це вага тіла масою 1 кілограм-маса (кгм).

$$1 \text{ кгс} = 9.8 \text{ Н} = 9.8 \frac{\text{кгм} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

1.4.3 Фізичні основи вимірювання

Тензометричний датчик

Тензометричний датчик – датчик, що перетворює величину деформації в зручний для вимірювання сигнал (зазвичай електричний), основний компонент тензометра (приладу для вимірювання деформацій).

Для вимірювання ваги найчастіше використовуються тензорезисторні тензодатчики. Зазвичай блок тензорезисторів – це чотири тензорезистори, включені в плечі неврівноваженого мосту Уїтстона. Тензорезистори наклеюються на деталь, яка деформується, так, щоб вони спрацьовували в протилежних напрямках – на розтягування і на стискання.

Дифманометр-рівнемір

Дифманометр-рівнемір підключається плюсовою камерою до дна бункеру (до нульової позначки рівня рідини в бункері; до більшого тиску), а мінусовою – в атмосферу (до меншого тиску). Гідростатичний метод вимірювання рідини – класичний і найпоширеніший метод вимірювання рівня рідин в акумуляторних баках.

1.4.4 Технічні засоби вимірювання

Типи рівнемірів

Рівнемір – технічний засіб для вимірювання рівня. Розрізняють вимірювання рівня рідин і вимірювання рівня сипких матеріалів.

Рівнеміри підрозділяють на рівнеміри візуальні, механічні, ультразвукові, електричні, оптичні, теплові, радарні.

Рекомендації з вибору рівнеміру

- Для вимірювання рівня звичайних (ньютонових) рідин (в тому числі і води) рекомендується використовувати фланцеві гідростатичні дифманометри (без імпульсних трубок), наприклад Emerson-150L, або звичайні дифманометри (з імпульсними трубками). Можливим, але надлишковим є використання лазерних і радарних рівнемірів (імпульсного, частотного і хвилеводного). Бюджетний варіант – поплавковий або буйковий рівнемір.
- Для вимірювання рівня високов'язких (неньютонових) рідин рекомендується використовувати лазерні і радарні рівнеміри. Рекомендуються хвилеводний і частотний радарні рівнеміри.
- Для вимірювання рівня сипких матеріалів рекомендується використовувати лазерні і радарні рівнеміри. Рекомендуються хвилеводний і частотний радарні рівнеміри. Бюджетний варіант – поплавковий рівнемір (але не буйковий!).
- Якщо неможливе пряме вимірювання рівня рідини або сипкого матеріалу, рекомендується використовувати вимірювання ваги бункеру тензорезистивними тензодатчиками з подальшим

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перерахуванням в рівень середовища (знаючи об'єм бункеру). Неможливість вимірювання рівня може бути викликана нестандартною формою бункеру або збуреним і нерівномірним рівнем середовища (рідини або сипкого матеріалу) в бункері.

1.4.5 Номенклатура давачів і приладів

Довідкові ресурси

Сайт Мікрол (Україна, Івано-Франківськ): <http://www.microl.ua/>

[Emerson \(США\). Тематичний каталог «Уровнемеры. Выпуск 2022.](#)

[Электронная редакция А»](#)

Classroom «Computer Integrated Manufacturing»

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B6R_5uxkifQKflpBakI5MllySUpmS1pWQmV5UkMzd1dYcDFtOHA3dVpFQTVpc3RNZlVsaXc

Шлях: !TBC лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Рівень.

Шлях: !TBC лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Апаратура.

Рівнеміри Danfoss MBS

- Самостійний пошук в інтернеті.

Рівнеміри Siemens Sitrans

- Самостійний пошук в інтернеті.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління).

Emerson

- Гідростатичний дифманометр Emerson-150L. Дифманометри Emerson-150-CD, Emerson-150-CDR;
- Хвилеводний радарний рівнемір Rosemount 5300. Частотний радарний рівнемір Rosemount 5408;
- Вторинна вимірювальна апаратура.

1.4.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів

Вимірювання дифманометром рівня рідини

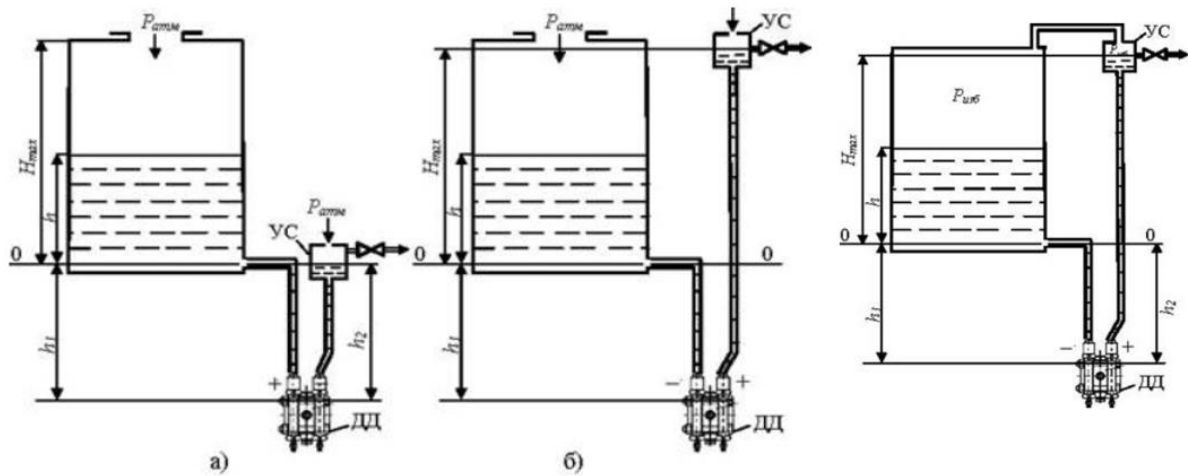


Рисунок 1.33 – Вимірювання дифманометром рівня рідини

Варіант а) – відкритий бак і нижнє розташування зрівняльної судини.

Варіант б) – відкритий бак і верхнє розташування зрівняльної судини.

Третій варіант – закритий бак і верхнє (обов'язково) розташування зрівняльної судини. Другий и третій варіанти – обернена шкала: мінімальний рівень = перепад тиску P_{max} = максимум шкали 20 mА; максимальний рівень = перепад тиску 0 Pa = мінімум шкали 4 mА.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-91387.0005.001.АТХ.П

Арк.

79

Вимірювання гідростатичним дифманометром (пряме під'єднання до дна баку без імпульсної трубки) рівня рідини. Платформа Emerson. Типові випадки

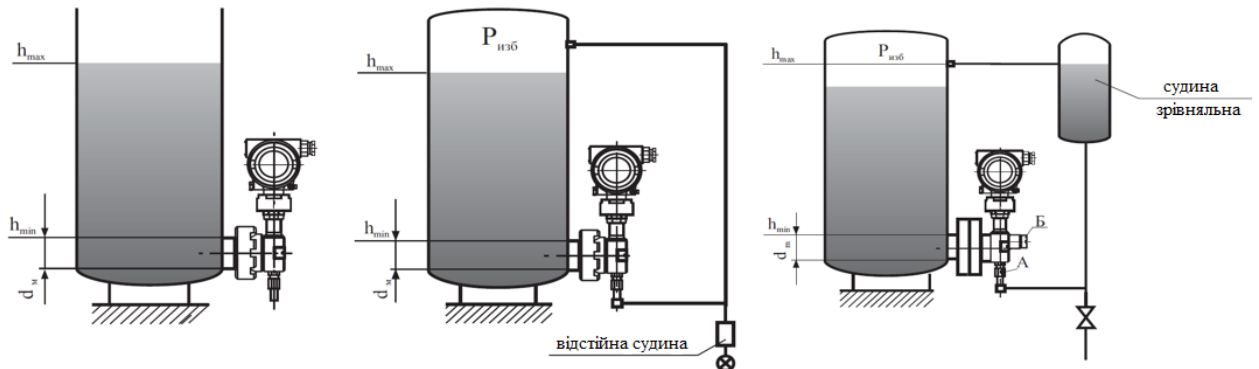


Рисунок 1.34 – Вимірювання гідростатичним дифманометром

Варіант 1 – відкритий бак – дифманометр вимірює різницю тисків рідини (+) і атмосфери (–). Пряма шкала.

Варіант 2 – закритий бак – дифманометр вимірює різницю тисків рідини (+) і над рідиною (–). Пряма шкала. Недолік – нештатна наявність і зміна рівня конденсату в мінусовій імпульсній трубці суттєво впливає на вимірювання і дає постійну похибку вимірювання.

Варіант 3 – закритий бак – дифманометр вимірює різницю тисків рідини (–) і в зрівняльній судині (+). Обернена шкала: мінімальний рівень = перепад тиску P_{max} = максимум шкали 20 mА; максимальний рівень = перепад тиску 0 Pa = мінімум шкали 4 mА.

Монтаж тензодатчиків для вимірювання ваги

Бункер з матеріалом встановлюється на платформі або чіпляється за почеп. Звичайно тензодатчики монтуються на опорах, які монтуються на платформу або на почеп. Звичайно використовують дві, три або чотири опори з тензодатчиками. Загальна вага бункера розподіляється відповідно на дві, три або чотири опори, тобто на два, три або чотири тензодатчики.

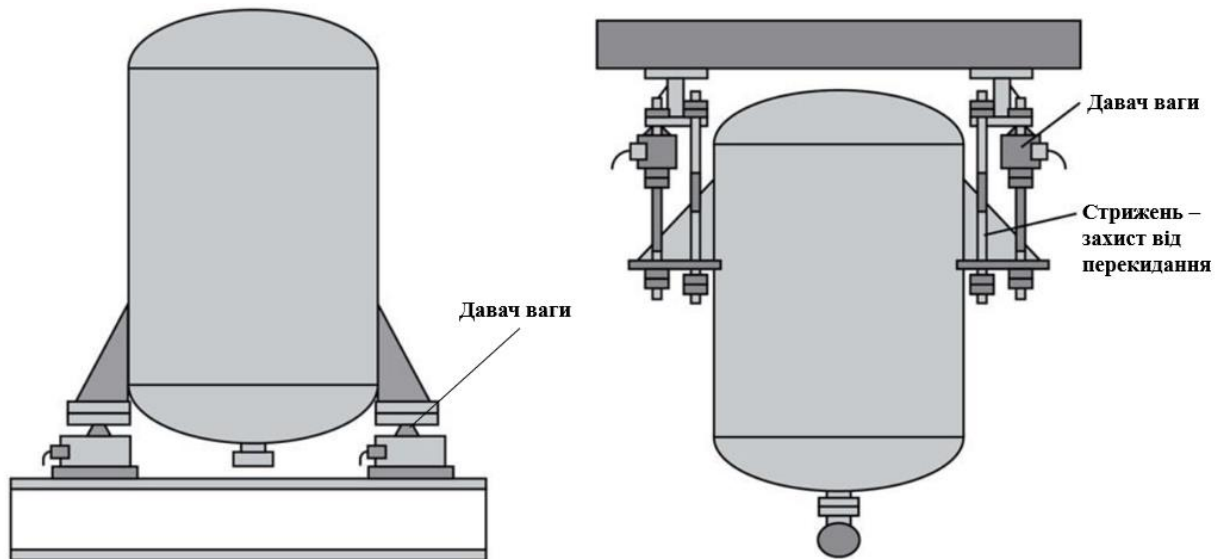


Рисунок 1.35 – Монтаж тензодатчиків для вимірювання ваги

1.5 ВК концентрації газів та рідин

1.5.1 Визначення і застосування

Концентрація – це кількісний показник вмісту певної речовини в іншій речовині, яка є сумішшю різних речовин. Звичайно концентрація визначається як відношення об'єму або маси речовини до об'єму або маси суміші.

Газовий аналіз. Вміст продуктів згоряння палива в димових газах промислової топки – важливі кількісні показники якості згоряння палива. Використовується для визначення 1) ефективності використання енергоносіїв (економічний вимір) і 2) ступеню забрудненості навколишнього середовища (екологічний вимір). Вимірюється вміст таких газів в димових газах: кисень O_2 ; діоксид (двоокис) вуглецю (вуглекислий газ) CO_2 ; монооксид (оксид; окис) вуглецю (чадний газ) CO . Також вимірюється вміст пилу в димових газах.

Вологість повітря – вміст водяної пари в повітрі. Вологість повітря є одним з найважливіших параметрів атмосфери, що визначає погоду, а також те, наскільки комфортно почуває себе людина в цей момент часу на вулиці або в приміщенні з регульованим мікрокліматом.

Вологість газів і сипких матеріалів – міра насиченості речовини водою. Як правило, вологість характеризують кількістю води в речовині. Важливий кількісний показник співвідношення вологої і сухої частин в газі і в сипкому матеріалі. Вимірюється вологість повітря в офісних системах клімат-контролю, в агропромислових комплексах (теплиці, грибні господарства, овочесховища, пташники). Вимірюється вологість ґрунту. Вимірюється вологість сипких матеріалів (борошна; розмеленого твердого палива – вугільного пилу; тощо).

Водневий показник рН – величина, що показує міру активності іонів водню (H^+) в розчині, тобто ступінь кислотності або лужності цього розчину. Кислотність середовища має важливе значення для багатьох хімічних процесів, і можливість протікання або результат тієї чи іншої реакції часто залежить від рН середовища. Водневий показник рН широко

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується для характеристики кислотно-основних властивостей різних біологічних середовищ.

Солевміст розчину або загальна мінералізація розчину – загальний вміст у воді розчинених речовин (неорганічні солі, органічні речовини). Також цей показник називають вмістом твердих речовин. В англomовній технічній літературі мінералізацію також називають «загальною кількістю розчинених твердих часток» – Total Dissolved Solids (TDS).

Твердість води – сукупність властивостей, зумовлених вмістом у воді лужноземельних катіонів кальцію та магнію. Тверда вода непридатна майже для всіх галузей виробництва, наприклад, для паперового, шкіряного, крохмального, спиртового виробництв.

1.5.2 Одиниці вимірювання

Концентрації в димових газах

- Вміст газів в димових газах вимірюється в процентах. $[O_2] = \%$, $[CO_2] = \%$, $[CO] = \%$;
- Вміст пилу в димових газах вимірюється як 1) непрозорість, 0...99.9 %, 2) оптична густина 0..3.0, 3) абсолютний пиловміст $0...2.0 \frac{г}{м^3}$.

Вологість газів і сипних матеріалів

- Абсолютна вологість – маса водяної пари, що утримується в одиницях об'єму, $\frac{кг}{м^3}$;
- Вологовміст – маса водяної пари, віднесена до маси сухої частки, $\frac{г}{кг}$;
- Відносна вологість – відношення абсолютної вологості до її максимального значення при заданій температурі, %. При 100% відносній вологості в повітрі відбувається конденсація водяної пари з утворенням туману, випаданням води. Температура, при якій це трапляється, називається *точкою роси*. Оптимальна для людини вологість 40..60%.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Водневий показник

Водневий показник розраховується за формулою $pH = -\log_{10}[H^+]$. Гідроксидний показник розраховується за формулою $pOH = -\log_{10}[OH^-]$. У чистій воді концентрації водневих іонів $[H^+]$ і гідроксидних іонів $[OH^-]$ однакові і при 22 °С складають по 10^{-7} моль/л. Завжди $[H^+] * [OH^-] = 10^{-14}$ моль/л і завжди $pH + pOH = 14$. Тому $pH = 14 - pOH$ і $pOH = 14 - pH$. Якщо $[H^+] = [OH^-]$, то розчин має нейтральну реакцію і $pH = pOH = 7$. Якщо $[H^+] > [OH^-]$, то розчин має кислотну реакцію, $0 \leq pH < 7$ і $7 < pOH \leq 14$. Якщо $[H^+] < [OH^-]$, то розчин має лужну (основну) реакцію, $7 < pH \leq 14$ і $0 \leq pOH < 7$.

Солевміст (TDS)

Мінералізацію води вимірюють у міліграмах на літр (мг/л), але, враховуючи, що одиниця вимірювання «літр» не є системною, правильніше мінералізацію виражати у мг/дм³, а при великих концентраціях — в г/дм³ (г/л).

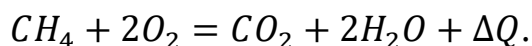
В океанологічній практиці замість терміну «мінералізація води» вживається термін «солоність морської води», яка вимірюється в проміле – ‰ (тисячна частка), $1\text{‰} = 0.1\% = 0.001$.

Також рівень мінералізації може виражатися в мільйонних частках води – parts per million (ppm). Співвідношення між одиницями вимірювання в мг/л та ppm майже рівне і для простоти можна прийняти, що $1 \text{ мг/дм}^3 = 1 \text{ ppm}$.

1.5.3 Фізичні основи вимірювання

Концентрації в димових газах

Хімічна реакція згоряння газу



Метан CH_4 згоряє в повітрі з виділенням вуглекислого газу – діоксиду вуглецю – CO_2 , води H_2O і тепла ΔQ . Для згоряння всього метану потрібно витримувати так зване стехіометричне співвідношення повітря/паливо – 10 м³ повітря на 1 м³ газу (метану).

Якщо метан згоряє не повністю (тобто замало повітря, воно повністю використане і його не вистачає), то в димових газах є залишковий

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(надлишковий) чадний газ – монооксид вуглецю – CO. Якщо подається забагато повітря, то метан згоряє повністю, в димових газах немає CO, а є тільки CO₂; але залишкове (надлишкове) холодне повітря розбавляє димові гази і охолоджує їх (знижує їх температуру); в димових газах є залишковий (надлишковий) кисень O₂.

Кількість надлишкового кисню, що залишається в димових газах, вказує на ступінь повноти згорання. В ідеалі при повному згорянні в димових газах не повинно бути залишкових концентрацій реагентів процесу (чадного газу і кисню). У реальності в промислових процесах змішування ніколи не буває повним, тому завжди присутня деяка кількість надлишкового повітря (вимірюється процентна концентрація O₂, %). Регулювання співвідношення палива і повітря допомагає наблизити реакцію до повного згорання палива.

Тепло, що виділяється в процесі згорання газу (в повітрі – природному окислювачі), – основне джерело енергії для промислових технологічних процесів. Питома витрата енергоносіїв – найзначуща контрольована стаття витрат на більшості виробництв.

Згоряють не кубометри палива, а кілограми палива в одиниці об'єму палива; тепло дають не кілограми, а кілоджоулі, тобто теплотворна здатність спалених кілограмів палива, яка визначається хімічним складом палива

Вимірювання концентрації кисню в димових газах дозволяє ідентифікувати тільки повне згорання палива або його перепал (забагато повітря), але не недопал (замало повітря). Вимірювання вмісту чадного газу в димових газах дозволяє ідентифікувати тільки повне згорання палива або його недопал, але не перепал. Вимірювання непрозорості димових газів дозволяє ідентифікувати тільки повне згорання палива або його недопал, але не перепал. Ідеальним є вимірювання концентрації в димових газах як кисню, так і чадного газу (або непрозорості димових газів), так як тільки таке сумісне вимірювання дає можливість контролювати як недопал, так і перепал палива. Вимірювання тільки концентрації кисню припустимо тільки тоді, коли повітря гарантовано подається достатньо для спалення газу (практично це завжди так;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в цьому випадку можливий тільки перепал і, відповідно, має сенс контролювати тільки вміст кисню).

Таким чином, найбільш ефективним індикатором якості згоряння палива є концентрація кисню в димових газах. Концентрація чадного газу в димових газах і непрозорість димових газів є додатковими індикаторами якості згоряння палива.

Вимірювання і регулювання процесу горіння підвищують безпеку. Підвищення ефективності процесу горіння є надзвичайно ефективним екологічним заходом, так як суттєво знижує шкідливі викиди в атмосферу.

Вологість газів і сипких матеріалів

Вологовміст, температура точки роси і відносна вологість для повітря і газів можуть бути визначені за h - d (ентальпія – вологовміст) діаграмою (для тиску 100 кПа і невеликих концентрацій пари) або за s - d (ентропія – вологовміст) діаграмою (для змінного тиску) вологого повітря.

Найбільше поширення в промисловості мають такі методи вимірювання вологості газів і повітря: 1) ваговий; 2) сорбційний; 3) кондуктометричний; 4) психрометричний; 5) конденсаційний; 6) електролітичний; 7) електролітичний з підігріванням.

Солевміст розчинів

Постійне використання води, яка не відповідає санітарно-гігієнічним нормам, може негативно вплинути на здоров'я людини, тварин, ріст рослин, на роботу побутової техніки. Жорстка вода є причиною корозії труб у басейнах і водопровідних системах та утворення накипу в системах опалення, що призводить до руйнування труб та погіршення теплопровідності систем обігріву.

Для запобігання вищевказаних ситуацій необхідно постійно контролювати солевміст води. З цією метою використовують солеміри. Принцип дії солеміра достатньо простий – це кондуктометричний спосіб вимірювання, заснований на прямій залежності електропровідності розчину

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від кількості розчинених у воді сполук. Чим більша концентрація, тим більша електропровідність, тобто тим менший опір; і навпаки.

Водневий показник

Водневий показник рН водних розчинів можна приблизно визначити, використовуючи індикатори – сполуки, що змінюють забарвлення при протонуванні або депротонуванні (додавання або віднімання протону до або від атома, молекули або іона). До найбільш розповсюджених індикаторів належать фенолфталеїн, лакмус, метилоранж тощо.

Для більш точного визначення рН використовують рН-метри – аналізатори вмісту іонів, засновані на електролітичних властивостях розчинів генерувати ерс з причини заряду електродів внаслідок концентрації іонів на електродах, занурених в розчин. Сучасні рН-метри мають скляні електроди, чутливі до іонів H^+ , але не чутливі до інших катіонів. Сигнал від такого електрода, поміщеного у дослідний розчин, підсилюється і порівнюється із сигналом від розчину з точно відомим значенням рН.

1.5.4 Технічні засоби вимірювання

Рекомендації з вибору концентратоміру

Газоаналізатор

- Рекомендується в якості аналізаторів кисню в димових газах використовувати електрохімічний цирконієвий або термомагнітний газоаналізатори (оксиметри).
- Рекомендується в якості аналізаторів недопалу (оксиду вуглецю) в димових газах використовувати термохімічний каталітичний або абсорбційний інфрачервоний газоаналізатори.

Пиломір

- Рекомендується в якості аналізаторів пилу в димових газах використовувати оптичні пиломіри з датчиком з лазерним або LED випромінювачем «на просвіт».

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гігрометр

- Рекомендується використовувати електролітичні підігрівні гігрометри. Додатково такі гігрометри часто мають вбудований інтегральний датчик температури. Використовувати для вимірювання відносної вологості і температури в приміщенні.

Солемір

- Рекомендується використовувати кондуктометричні TDS-метри виключно для хімічної формули солі, концентрація якої вимірюється.

Актуальні газоаналізатори Rosemount

Електрохімічний цирконієвий. Базується на використанні твердих електролітів. Актуальним рішенням є використання діоксиду цирконію, який при нагріванні до температури 600 °C набуває властивості кисневої електропровідності. При збільшенні концентрації кисню в димових газах, що обтікають цирконієвий сенсор, збільшується концентрація аніонів кисню в цирконії, відповідно цирконієвий сенсор, як твердий електроліт, генерує більшу ерс. Використовується для аналізу димових газів на вміст кисню O₂. Сучасна назва кисневого газоаналізатора – оксиметр.

Термохімічний каталітичний. Базується на збудженні каталізатором окислення реакції горіння (окислення) реагенту, що підвищує температуру чутливого елементу (терморезистору), опір якого вимірюється. Чим більше реагенту в суміші, тим більша кількість реагенту окислюється (горить), тим вища температура, відповідно більший опір чутливого елементу (терморезистору). Використовується для аналізу димових газів на недопал (тобто, на чадний газ CO).

Абсорбційний інфрачервоний. Базується на спектральному аналізі димових газів для інфрачервоного випромінювання – інфрачервоний абсорбційний спектроскопії. В топці присутні двоатомні і триатомні гази. Двоатомні гомоядерні гази є практично прозорими для інфрачервоного випромінювання, тому інфрачервоне випромінювання втрачає мало енергії

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після проходження через газ. Двоатомні гетероядерні і триатомні (багатоатомні) газу суттєво поглинають (абсорбують) інфрачервоне випромінювання, внаслідок чого вони нагріваються і вже самі випромінюють інфрачервоне тепло; тому інфрачервоне випромінювання від джерела суттєво послаблюється. Вказане явище абсорбції дає можливість за результатами спектрального аналізу димових газів вимірювати концентрацію двоатомних гомоядерних або триатомних газів в димових газах. Використовується для аналізу димових газів на чадний газ CO (Rosemount) і вуглекислий газ CO₂ (інші виробники).

Оптичні аналізатори пилю в димових газах Rosemount

Переваги використання лазерного джерела випромінювання для вимірювань:

- Метод на просвіт з використанням когерентного лазерного випромінювання зводить до мінімуму вплив ефектів розсіювання і відбиття;
- Випромінювання від LED джерел і ламп має велике розсіювання і тому похибка від ефекту відбиття від частинок і від перешкод набагато вище;
- Прилади з об'єднаним передавальним і приймальним пристроєм і дзеркальним рефлектором мають меншу точність через вплив ефектів відбиття, розсіювання і перешкод.

Термомагнітний газоаналізатор на кисень (оксиметр)

Концентрація компоненту вимірюється за зміною магнітних властивостей газової суміші. Газу за їхньою магнітною сприйнятливостю поділяються на парамагнітні, що втягуються в магнітне поле, і діамагнітні, що виштовхуються з нього. Найбільшу магнітну сприйнятливостю має кисень, який відноситься до парамагнітних газів. Газу, крім кисню, монооксиду і діоксиду азоту, є практично немагнітними, оскільки їхня об'ємна магнітна сприйнятливостю на два порядки нижча, ніж у кисню. Таким чином, магнітні властивості газової суміші визначаються концентрацією кисню; монооксид і

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діоксид азоту присутні в малих концентраціях. При нагріванні кисень втрачає парамагнітні властивості. Такі властивості кисню зумовлюють ефект термомагнітної конвекції, який і використовується в магнітних газоаналізаторах.

Хроматографічний метод

Розділення, аналіз і дослідження сумішей речовин, що ґрунтується на розподілі речовин в динамічних умовах між рухомою і нерухомою фазами. Застосовується для аналізу газів, рідин і твердих тіл. Газова хроматографія ґрунтується на різній сорбції рухомих газових компонентів нерухожим сорбентом. Хроматографічні газоаналізатори призначені для аналізу багатокомпонентних газових сумішей. Хроматографи є приладами періодичної дії, більш складними за будовою, ніж розглянуті вище газоаналізатори. Процес вимірювання в цих приладах поділяється на дві стадії: хроматографічний поділ газової суміші на окремі компоненти та ідентифікація (детектування) компонентів, що включає якісний і кількісний їхній аналіз. Хроматографічний поділ суміші на окремі компоненти здійснюється за рахунок різної швидкості руху газів вздовж шару сорбенту. Графік, що фіксує вихід компонентів, називають хроматограмою. За можливостями розділення й аналізу багатокомпонентних сумішей хроматографія не має конкурентів. До числа переваг цього методу відноситься висока чутливість у поєднанні з малим об'ємом проби, що відбирається, порівняно високою точністю і малим часом аналізу.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5.5 Номенклатура давачів і приладів

Довідкові ресурси

Сайт Мікрол (Україна, Івано-Франківськ): <http://www.microl.ua/>

Сайт РАУТ-автоматік: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/>

[Emerson \(США\). Тематичний каталог «Анализаторы дымовых газов по месту \(In Situ\)»](#)

Classroom «Computer Integrated Manufacturing»

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B6R_5uxkifQKflpBakI5MllySUpmS1pWQmV5UkMzd1dYcDFtOHA3dVpFQTVpc3RNZlVsaXc

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Аналізатори.

Шлях: !ТВС лек лаб / Docs / pdf-файл Emerson Вимір Апаратура.

Гігрометри і термометри РАУТ-автоматік

- Датчики відносної вологості SH. Датчики відносної вологості і температури STH.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління).

Emerson

- Аналізатор кисню в димових газах Rosemount OХТ4А. Датчик на основі оксиду цирконію;
- Аналізатор кисню і недопалу в димових газах Rosemount ОСХ8800. Датчик кисню на основі оксиду цирконію. Датчик оксиду вуглецю на основі каталітичних пеллісторів;
- Аналізатор недопалу в димових газах Rosemount ССО5500. Датчик на основі інфрачервоної абсорбційної спектроскопії;
- Аналізатор пилу в димових газах Rosemount OPM3000, MIP LM 3086. Датчик з лазерним або LED випромінювачем «на просвіт»;
- Вторинна вимірювальна апаратура.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5.6 Монтаж і налагодження давачів і приладів

Індикаторні газові трубки

Для вимірювання концентрацій токсичних та інших газів застосовують індикаторні трубки. Головною областю застосування індикаторних трубок є контроль повітря робочої зони (наприклад, в шахтах) для виявлення шкідливих газів в діапазоні концентрацій, відповідних гранично допустимих значень для даної галузі промисловості. Індикаторна трубка являє собою ампулу з хімічним складом (реагентом), який вступає в хімічну реакцію з вимірюваним газом. В результаті цієї реакції змінюється колір реагенту в колбі. Індикаторні трубки забезпечені шкалою, нанесеною на скляну колбу. По довжині зміни забарвлення контролюють концентрацію вимірюваного газового компонента в повітрі. При візуальному зчитуванні показань індикаторної трубки слід враховувати повну довжину зміни забарвлення реагенту, тобто суму всіх кольорів, відмінних від початкового кольору хімічного реагенту. Індикаторні трубки працюють або в комплекті зі спеціальними насосами з примусовою прокачуванням повітря робочої зони через реагент, або за рахунок ефекту дифузії – насос при цьому не потрібно.

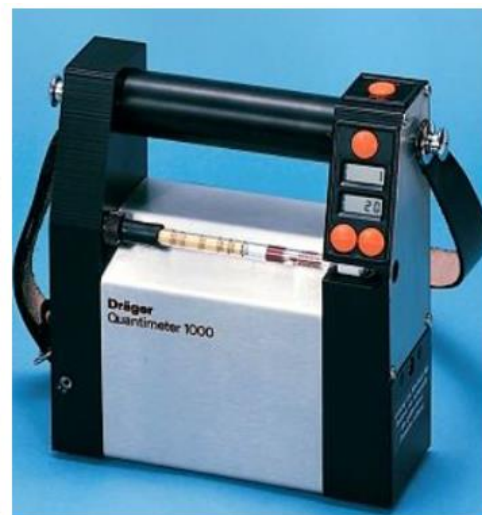


Рисунок 1.36 – Індикаторні газові трубки

Оксиметр (кислородомір)



Рисунок 1.37 – Rosemount Oxymitter з вбудованим (в зонд) електронним блоком



Рисунок 1.38 – Rosemount Oxymitter з виносним (поза зондом) електронним блоком

1.6 ВК дистанційного контролінгу

1.6.1 Датчики-реле і сигналізатори

Датчики-реле технологічних параметрів. Захисні функції і алармування

Реалізація захисних функцій АСУ

- Виключно в ПЛК або в HMI/SCADA-системах. Технологічні параметри вимірюються давачами. Алгоритми ПЛК або HMI/SCADA-системи аналізують виміряні параметри, фіксують аларми (тривоги) і формують дискретні команди сигналізації і аварійного управління;
- Автономними зовнішніми засобами вимірювання. Використовуються так звані датчики-реле і сигналізатори технологічних параметрів, які мають вбудовані технічні засоби алармування і формування дискретних команд сигналізації і аварійного управління. Датчики-реле можуть застосовуватись автономно, тобто без ПЛК;
- Спільно автономними датчиками-реле і засобами ПЛК і HMI/SCADA-системи. Дискретні виходи датчиків-реле підключаються до дискретних входів ПЛК. Алгоритми алармування реалізуються в ПЛК або в HMI/SCADA-системі.

Алармування сигналів і даних

- Алармування – процес фіксації алармів і формування дискретних команд сигналізації і аварійного управління. Аларм (тривога) – це подія, яка завжди пов’язана з певним технологічним параметром. Аларм – це нештатна ситуація. З нештатних ситуацій виділяють попереджувальну і аварійну сигналізацію. Основним типом алармів є так звані аларми за граничними значеннями. В загальному випадку задаються чотири граничні значення: Ні, Lo – технологічна (попереджувальна) сигналізація; НіНі, LoLo – аварійна сигналізація;

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Всі чотири граничні величини LoLo, Lo, Hi, HiHi використовуються засобами алармування в HMI/SCADA-системах або в ПЛК. Крім того, в HMI/SCADA-системах використовуються також інші типи алармів;
- В датчиках-реле в переважній більшості випадків використовуються або 1) тільки одна гранична величина LoLo або HiHi (датчик має одну контактну групу), або 2) дві граничні величини HiHi і LoLo (датчик має дві контактні групи).

Датчики-реле технологічних параметрів. Термостатування і пресостатування

Датчики-реле і сигналізатори – датчики режимних параметрів, які виконують як функцію вимірювання режимного параметру, так і функцію сигналізації (попереджувальної і/або аварійної). Функція вимірювання значення параметру реалізується чутливим елементом і внутрішнім первинним перетворювачем давача. Функція сигналізації реалізується вбудованим механічним, електромеханічним або твердотільним реле. Контакти реле спрацьовують (замикаються або розмикаються) при досягненні вимірюваним параметром заданих граничних значень.

В промисловості широко використовуються реле температури, реле тиску, реле перепаду тиску, реле рівня (сигналізатор рівня).

Датчик-реле температури також називають термостатом, датчик-реле тиску – пресостатом. Термін «стат» в назві підкреслює, що датчик-реле може бути використаний не тільки для сигналізації, але і для двопозиційного релейного регулювання. Якщо значення параметру більше або менше за граничне значення, спрацьовують контакти датчика-реле, відповідно через замкнені або розімкнені контакти пропускається або не пропускається постійний або змінний струм для управління відсічними клапанами, електричними тенами тощо. Таким чином, термостат або пресостат стабілізують на заданному значенні відповідно температуру або тиск. Особливістю перехідного процесу двопозиційного регулювання є те, що

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сталим режимом є так званий режим автоколивань, тобто негармонійних (несинусоїдальних) коливань певної амплітуди навколо заданого значення. Це нормальний режим роботи нелінійної релейної САР. Примітка. В лінійній САР з ПД(ПІ)-регулятором перехідний процес завжди такий, що асимптотично сходиться до завдання (гармонійні синусоїдальні коливання є поганою ознакою – САР знаходиться на границі сталості; при дрейфі параметрів об'єкту САР може стати несталою і перехідний процес стане таким, що розходиться, тобто амплітуда коливань з кожним напівперіодом неперервно збільшується).

Релейна техніка. Загальний огляд

Датчик-реле (сигналізатор) – механічний, електромеханічний або напівпровідниковий (твердотільний) пристрій, вихідний сигнал якого, в залежності від вимірюваного значення (вхідного сигналу), приймає два значення – «включено» і «виключено». Вихідним електричним сигналом реле є дискретний сигнал «логічний 0 – логічна 1», якому відповідають задані рівні електричного сигналу напруги.

Датчик-реле має чутливий елемент для вимірювання параметру і реле механічне, електромеханічне або твердотільне.

Механічне реле – механічний чутливий елемент, який під дією вимірюваного параметру змінює свій розмір або положення (дилатометрична пластина; біметалічна пластина; термобалон; мембрана; сильфон; плунжер; пружина, трубчастий елемент) і замикає або розмикає механічні контакти, через які пропускається електричний постійний або змінний струм.

Електромеханічне реле має електромагнітну котушку і механічні контакти, які спрацьовують (замикаються або розмикаються) при заструмленні котушки електричним постійним або змінним струмом. Механічні контакти називаються «сухими контактами», так як напруга до них підводиться від зовнішнього джерела напруги. Через сухі контакти може бути пропущений дискретний сигнал як постійного 0/24 В, так і змінного 0/220 В струму. Може комутуватись сигнал 24 В або 0 В, фаза 220 В або нейтраль 0 В.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Твердотільне реле (SSR – solid state relay) – електронний напівпровідниковий ключ, який має транзисторний вихід (а не механічний сухий контакт), який живиться від електронного ключа і спрацьовує при подачі на ключ управляючого сигналу напруги постійного струму. Якщо твердотільне реле є тиристором, то комутується дискретний сигнал 0/24 В постійного струму. Якщо твердотільне реле є симистором, то комутується дискретний сигнал 0/220 В змінного струму.

В промисловості в польових умовах переважно використовуються механічні реле з механічними контактами (сухими контактами). Контакти групуються в контактні групи. Датчик-реле може мати одну або декілька контактних груп (дві і більше). Кожна контактна група може мати один або декілька контактів (два і більше).

Датчик-реле з електромеханічним або твердотільним реле називають також електронним датчиком-реле, щоб підкреслити його більш просунуту функціональність (наявність шкали і цифрового дисплею, діалогове налагодження, двопозиційне регулювання з гістерезисом тощо) порівняно з механічним датчиком-реле.

Контакт реле може бути нормально розімкненим (замикаючим; NO – normally opened), нормально замкненим (розмикаючим; NC – normally closed) або перекидним (SPDT – «single pole – double throw» – «один полюс – подвійне спрямування» або «один полюс – два напрямки»; має два контакти, які мають спільну точку – полюс; завжди один з контактів – NO, другий контакт завжди – NC).

Контакти реле можуть бути змонтовані в герметичній капсулі з інертним газом (для запобігання іскріння і окислення); такі реле називаються герконові реле; або кажуть про реле з герконами (герметичними контактами). Якщо контакти в герметичній капсулі зволожені краплиною ртуті, такі реле називають ртутними або мокрими герконами (або герконами з мокрими контактами). Якщо в капсулі тільки інертний газ, такі реле називають сухими герконами (або герконами з сухими контактами). Герконові реле також

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

називають язичковими реле. В англomовній технічній літературі використовується термін reed relay.

За способом дії електричні реле підрозділяються на реле нейтральні, поляризовані (тригерні), імпульсні (бістабільні).

Нейтральні реле

Котушка реле живиться постійним або змінним струмом. При заструмленні котушки реле контакти реле замикаються (NO) або розмикаються (NC). При знеструмленні котушки реле контакти реле відповідно розмикаються (NO), або замикаються (NC). Стандартні реле. Більшість реле.

Поляризовані реле

Спрацювання контактів реле визначається напрямом струму через котушку реле. З цієї причини, котушка реле живиться тільки постійним струмом. При заструмленні котушки реле в прямому напрямку контакти реле замикаються (NO) або розмикаються (NC). При знеструмленні котушки реле контакти реле залишаються в тому самому положенні. При заструмленні котушки реле в зворотному напрямку контакти реле відповідно розмикаються (NO), або замикаються (NC). Використовуються в спеціальних випадках тоді, коли треба зберігати стан контактів реле при знеструмленій котушці або коли потрібно реалізувати функцію тригера (перекидання контактів реле в протилежний стан різними дискретними командами Set і Reset). В деяких конструкціях поляризованих реле є дві котушки з (фактично це одна котушка з різним напрямом протікання струму) з різними клемами (аналоги окремих входів Set і Reset в тригерах).

Імпульсні реле

Реле управляється імпульсами постійного або змінного струму. Контакти реле спрацьовують тільки за переднім фронтом напруги (зміні сигналу з нуля на високий рівень), поданої на котушку реле. При заструмленні котушки реле контакти реле замикаються (NO) або розмикаються (NC). При знеструмленні котушки реле контакти реле залишаються в тому самому

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

положенні. При новому заструмленні котушки реле (струмом того ж напрямку) контакти реле відповідно розмикаються (NO), або замикаються (NC). Використовуються в спеціальних випадках тоді, коли треба зберігати стан контактів реле при знеструмленій котушці або коли потрібно реалізувати перекидання контактів реле в протилежний стан одним і тим же самим дискретним сигналом (але поданим в різний час). В англomовній технічній літературі використовується термін toggle relay / contact.

Таймери

Реле часу або таймер в ПЛК. Таймер з затримкою на включення (дискретний вихід встановлюється через задану уставку часу за фронтом вхідного імпульсу). Таймер з затримкою на відключення (дискретний вихід скидається через задану уставку часу за фронтом вхідного імпульсу). Імпульсний таймер (на дискретному виході формується імпульс заданої тривалості за фронтом вхідного імпульсу). При досягненні заданої уставки часу таймер зупиняється і зберігає свій стан і свої значення; може бути обнулений примусово командою. Управління таймерами програмне, але самі таймери завжди апаратні (мікропрограмні) і працюють незалежно від скану і робочої програми ПЛК.

Лічильники

Апаратний лічильник або в ПЛК. Лічильники Up (рачує вхідні імпульси тільки в напрямку зростання виходу), Down (рачує вхідні імпульси тільки в напрямку зменшення виходу), UpDown (рачує вхідні імпульси в обох напрямках зміни виходу). Лічильники Up називають інкрементальними, лічильники Down – декрементальними, лічильники UpDown – двосторонніми. При досягненні заданого значення виходу (уставки) лічильник або зупиняється і зберігає свій стан і свої значення, або автоматично перезапускається і знову рачує вхідні імпульси до заданого значення виходу (уставки; в момент досягнення уставки такий лічильник формує вихідний імпульс, який може бути порохований іншим лічильником або використаний як дискретна команда). Управління низькошвидкісними лічильниками (менше

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

50 Гц) програмне і самі лічильники реалізовані програмно (машинне слово в пам'яті ПЛК). Лічильники високошвидкісних сигналів (від 50 Гц до 500 кГц) реалізовані апаратно (мікропрограмно) прямо в модулях вводу високошвидкісних сигналів; високошвидкісні лічильники управляються також самим модулем вводу незалежно від центрального процесору ПЛК; з центральним процесором ПЛК обмін даними здійснюється через спеціальну регістрову пам'ять ПЛК. Високошвидкісний лічильник може генерувати апаратне переривання, яке перериває програму, яку виконує центральний процесор, який викликає на виконання оброблювач переривань, який працює напрямую з модулем вводу; оброблювач переривань використовує команди миттєвого читання даних з модулів вводу і миттєвого запису даних в модулі виведення сигналів; така миттєва взаємодія центрального процесору з модулями ВВ реалізована не в скані (його тривалість стандартно 10-20 мілісекунд) і незалежно від робочої програми контролера (робоча програма контролера тимчасово на десятки або сотні мікросекунд перервана, тобто призупинена). Високошвидкісні лічильники в ПЛК широко використовуються для обрахування серій число-імпульсних сигналів від крокових двигунів (які самі по собі також управляються високошвидкісними вихідними дискретними сигналами контролера), датчиків кута повороту (інкрементальні енкодери), інтелектуальних лічильників витрати енергоносіїв.

Логічні функції в ПЛК

В ПЛК реалізовані стандартні логічні функції NOT (логічне НІ), AND (логічне І), OR (логічне АБО), XOR (логічне виключне АБО), які програмуються як мовою LD, так і іншими мовами, в тому числі мовою SFC. Логічні функції реалізуються як над бітами, так і над словами (так зване маскування бітів в словах – накладання і зняття бітових масок на машинні слова).

Рекомендації з вибору датчиків-реле

- Рекомендується використовувати в першу чергу механічні датчики-реле (без електричного живлення). В пожежонебезпечних

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зонах рекомендується використовувати пневматику, в тому числі пневматичні датчики-реле;

- Рекомендується використовувати механічні і електромеханічні термостати, пресостати і диференціальні реле тиску замість формування дискретних команд сигналізації в ПЛК після обробки підключених сигналів від давачів температури, тиску і витрати;
- Рекомендуються використовувати термостати, пресостати і диференціальні реле тиску від компаній Emerson, Siemens, Danfoss;
- Рекомендується використовувати п'єзореzonаторні сигналізатори рівня (відсутність струму в рідині; на роботу сигналізаторів практично не впливають зміни властивостей рідини). Бюджетне рішення – кондуктометричні сигналізатори рівня;
- Щодо вимірювання концентрацій, має сенс використовувати автономні датчики-реле (двопозиційні регулятори) вуглекислого газу CO_2 для запобігання загазованості житлових та промислових приміщень.

1.6.2 Схеми принципові електричні підключення

Сучасні засоби дистанційного контролінгу мають аналогові уніфіковані вихідні сигнали 0..10 В і 0/4..20 мА. Підключаються до вторинних показуючих приладів і до ПЛК за дво-, три- і чотирипроводними схемами.

Сучасні засоби дистанційного контролінгу мають дискретні уніфіковані вихідні сигнали 0/24 В. Підключаються до релейних схем і до ПЛК за схемами «source – джерело» (струм, який виходить з ПЛК) і «sink – стік» (струм, який входить в ПЛК) для «сухих контактів» і транзисторних виходів.

Відносно рідко використовуються дискретні сигнали змінного струму 0/220 В (для них не використовуються поняття джерело і стік; використовуються поняття нейтраль N і фаза L для однофазного струму, нейтраль N і фази L1, L2, L3 для трифазного струму).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики положення зазвичай підключаються за чотирипроводною схемою (два силові провідники і два сигнальні провідники). Є датчики положення з п'ятипроводною схемою підключення. П'ятий провід використовується як управляючий для конфігурування датчика положення.

Використовуються іскробезпечне обладнання і бар'єри іскрозахисту у вибухобезпечних зонах для захисту вибухонебезпечних зон від проникнення небезпечної електричної потужності з вибухобезпечної зони.

Уніфіковані вихідні дискретні сигнали 0/24 В. Dry contacts. Open drain (відкритий колектор на біполярних транзисторах npn, pnp). Push-pull (двотактний каскад на уніполярних польових транзисторах)

Датчик з релейним виходом (сухими контактами) має механічну гальванічну розв'язку кола живлення від комутованого кола. Якщо комутується плюс (24 В), то датчик є джерелом, а ПЛК – стоком струму. Якщо комутується мінус (0 В), то ПЛК є джерелом, а датчик – стоком струму.

Датчик з npn-транзисторним виходом має на виході npn-транзистор, який здійснює комутацію плюсового проводу з ПЛК. Датчик є джерелом, а ПЛК (на схемі – Load) – стоком струму.

Датчик з pnp-транзисторним виходом має на виході pnp-транзистор, який здійснює комутацію мінусового проводу з ПЛК. ПЛК (на схемі – Load) є джерелом, датчик – стоком струму.

Датчик з push-pull двотактним каскадом має на виході push-pull двотактний транзисторний каскад з npn-транзисторним виходом і pnp-транзисторним виходом (завжди замикається тільки один з них). Може підключатись з комутацією відповідно як плюсу (датчик – джерело, ПЛК – стік), так і мінусу (ПЛК – джерело, датчик – стік).

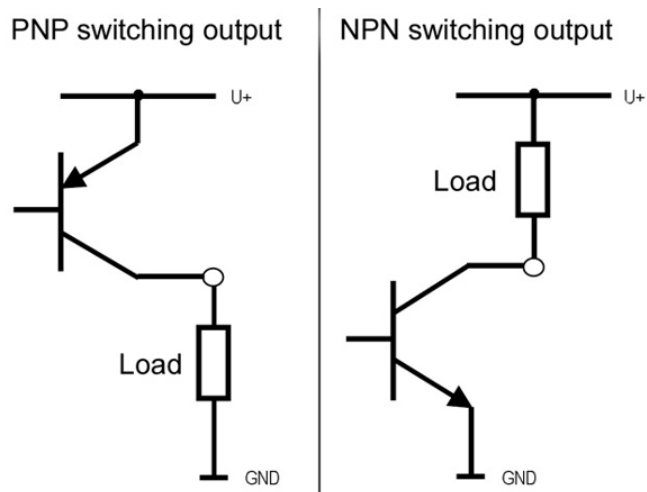


Рисунок 1.39 – PNP та NPN виходи

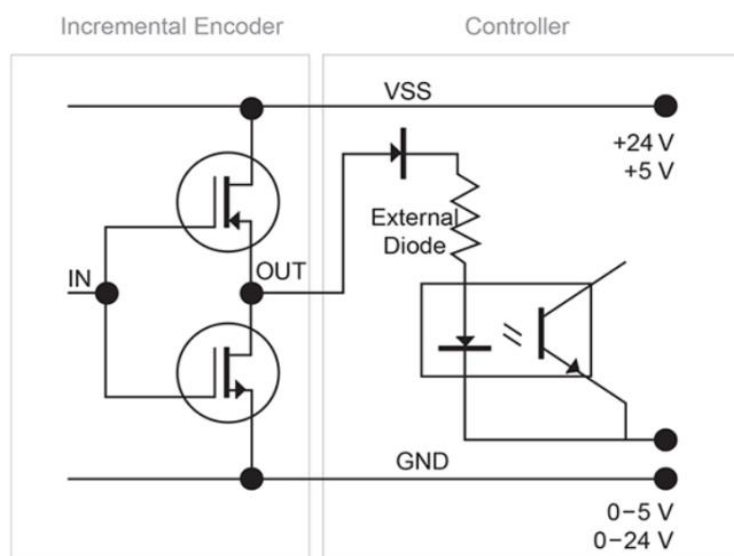


Рисунок 1.40 – Енкодер з PNP виходом

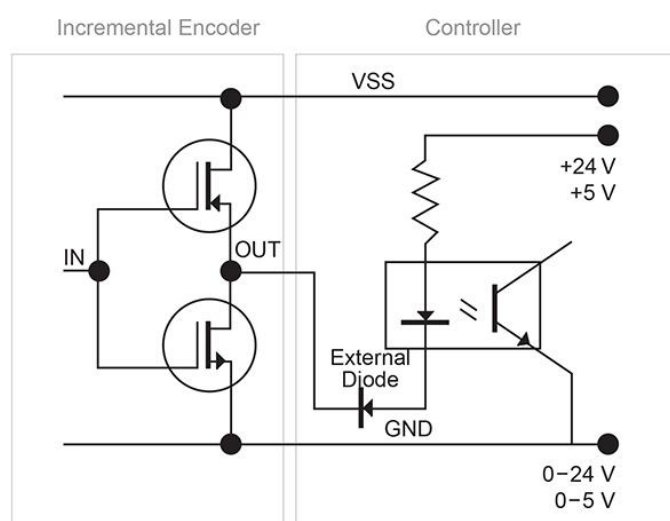


Рисунок 1.41 – Енкодер з NPN виходом

Уніфіковані вихідні дискретні струмові сигнали. Стандарт NAMUR: вхід NAMUR; контакт NAMUR

При застосуванні в датчиках-реле і датчиках положення звичайних контактів (сухих контактів) виникає проблема неможливості логічного розпізнавання типових пошкоджень лінії – обриву і короткого замикання. Застосування контактів NAMUR і входу (приймача) сигналів NAMUR вирішує дану проблему відповідно до стандарту IEC60947-5-6. Вхід NAMUR підтримує двопровідне підключення як звичайних контактів (механічних або їх електронних еквівалентів – оптореле), так і спеціального перемикаючого контакту NAMUR (звичайних контактів з додатковою парою резисторів або перемикаючого підсилювача, що виконує роль електронного контакту, в тому числі, з гальваноразв'язкою). На малюнку показані еквівалентні електричні схеми входу NAMUR і зовнішнього контакту NAMUR. Активний вхід NAMUR живить коло сигналізації внутрішнім джерелом напруги +8,2 В через внутрішній резистор 1 кОм і вимірює струм в колі (не напругу!). Якщо стандартний дискретний сигнал – це сигнал напруги 0/24 В, то дискретний сигнал NAMUR – це струмовий сигнал 2/6 мА з двома додатковими аварійними станами $I < 0.2 \text{ мА}$ та $I > 6 \text{ мА}$.

Таблиця 1.3 – Розпізнавання стану струму у ланцюгу

Діагностика	Стан	Струм у ланцюгу
Норма	Контакт розімкнуто	Від 0,2 до 2,1 мА
	Контакт замкнутий	Від 2,1 до 6,5 мА
Відмова	Обрив лінії	Менше 0,2 мА
	Замикання лінії	Більше 6,5 мА

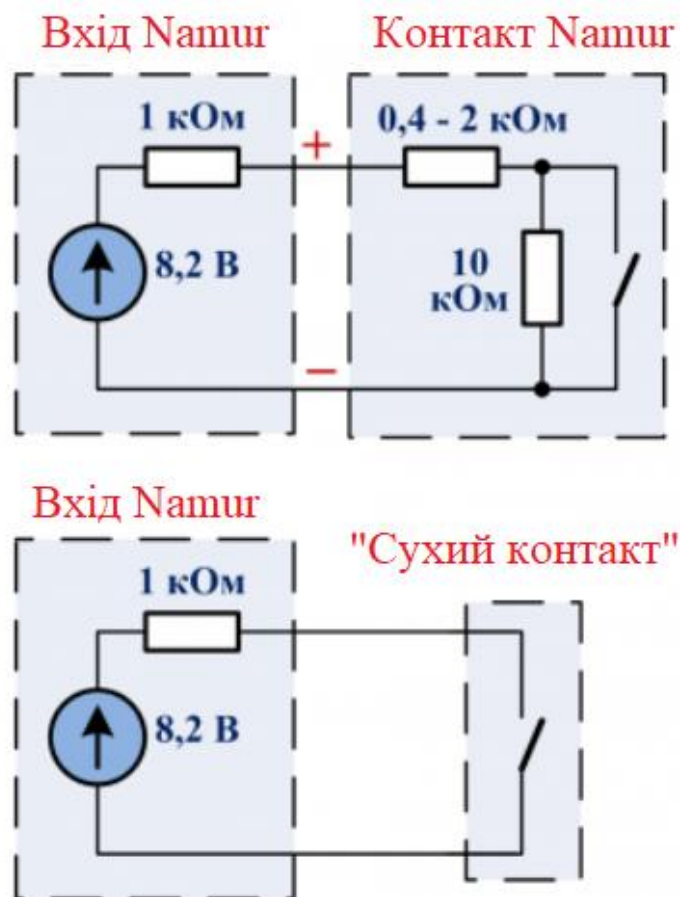


Рисунок 1.42 – Застосування контактів NAMUR і входу (приймача) сигналів NAMUR

Якщо контакт NAMUR є перемикаючим підсилювачем, то він, отримуючи живлення від лінії, здійснює ті ж функції, що і показаний на верхній схемі контакт NAMUR, що використовує пару резисторів. У випадку підключення до входу Namur звичайного контакту (нижній малюнок), будуть ідентифіковані тільки два стани з струмом через замкнений контакт 8,2 мА і струмом 0 мА через розімкнений контакт. Дискретний низькорівневий струмовий сигнал 2/6 мА використовується замість дискретного високорівневого сигналу напруги 0/24 В у вибухонебезпечних зонах.

1.6.3 Номенклатура давачів і приладів

Датчики-реле Danfoss

- Сигналізатори рівня. Термостати. Пресостати. Диференціальні реле тиску. Реле концентрації вуглецевого газу. Самостійний пошук в інтернеті.

Датчики-реле Siemens

- Сигналізатори рівня. Термостати. Пресостати. Диференціальні реле тиску. Реле концентрації вуглецевого газу. Самостійний пошук в інтернеті.

Мікрол

- Вторинна вимірювальна апаратура (+ індикатори, блоки ручного управління). Аналоговий двопозиційний регулятор температури МИК-1-400. Регулятор-сигналізатор рівня кондуктометричний РСУ-31.

Emerson

- Сигналізатор рівня п'єзрезонаторний Emerson 2100;
- Термостат Emerson Alco Controls TS1. Самостійний пошук в інтернеті;
- Пресостат Emerson Alco Controls PS3. Самостійний пошук в інтернеті;
- Диференціальне реле тиску Emerson Alco Controls FD113. Самостійний пошук в інтернеті;
- Реле концентрації вуглецевого газу. Самостійний пошук в інтернеті;
- Вторинна вимірювальна апаратура.

1.6.4 Монтаж і налагодження давачів і приладів

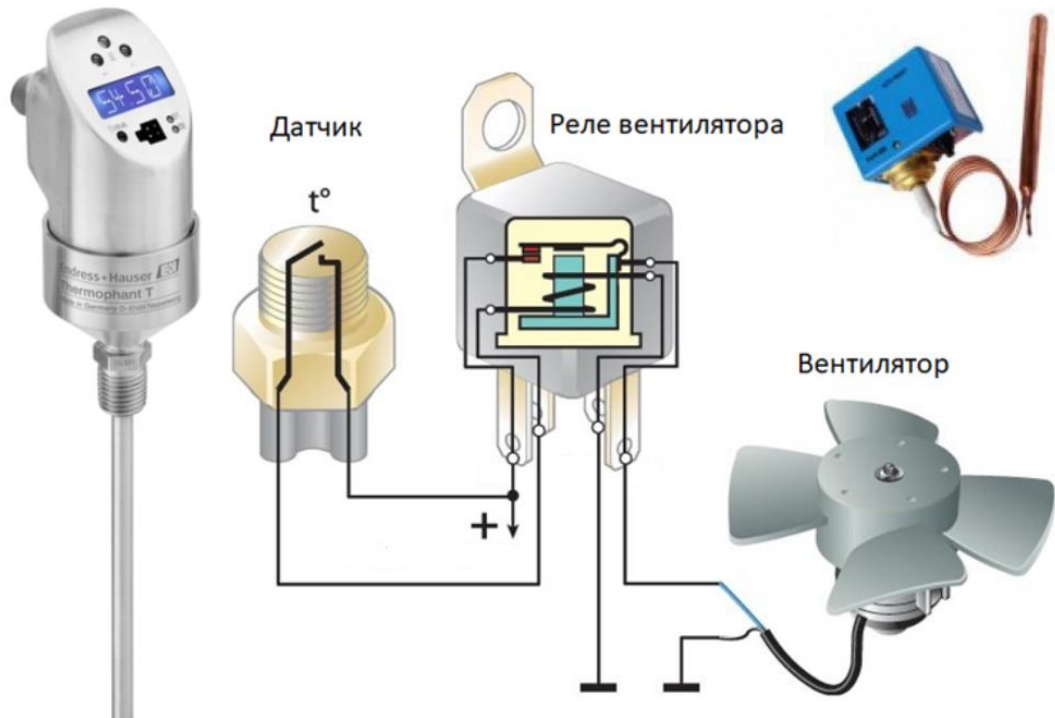


Рисунок 1.43 – Датчик-реле температури (термостат). Терморезисторні. Біметалічні. Манометричні. Контроль температури середовища

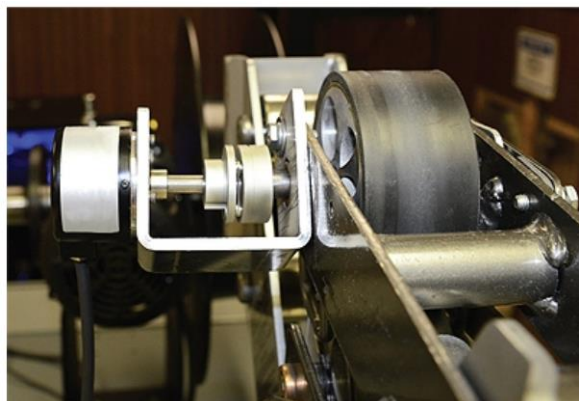


Рисунок 1.44 – Монтаж енкодерів на двигуні

1.7 Типові інженерні розрахунки в АСУТП

Задача розрахунків АСУ – забезпечити відповідність показників функціонування АСУ вимогам ТЗ. На стадії техно-робочого проектування (найважливіша стадія створення АСУ) виконуються наступні розрахунки:

- Розрахунок вимірювальних каналів САР. Метою цих розрахунків є розробка структури вимірювальних каналів, що забезпечує відповідність метрологічних характеристик каналів вимогам до інформаційного забезпечення АСУТП.

- Розрахунок виконавчих каналів САР. Метою розрахунку є вибір регулюючого органу і виконавчого механізму таких, які відповідають вимогам до керуючих функцій АСУТП.
- Розрахунок і моделювання динаміки САР. Метою розрахунку є вибір структури контурів регулювання, які забезпечують реалізацію вимог до керуючих функцій; розрахунок перехідних характеристик об'єкта управління, розрахунок параметрів регуляторів, моделювання замкнутої САР, перевірка САР на грубість.
- Розрахунок надійності реалізації інформаційних, керуючих і захисних функцій САР. Метою розрахунку є розробка структурних схем надійності таких, які забезпечують відповідність вимогам до керуючих та інформаційних і захисних функцій АСУТП.
- Техніко-економічний розрахунок. Метою розрахунку є підтвердження відповідності ефективності АСУТП вимогам технічного завдання. Суттєвою складовою розрахунку є перевірка статистичної гіпотези про суттєву різницю результатів до автоматизації та після автоматизації.

Моделювання в системі комп'ютерної математики (СКМ) MatLab і тестування функцій первинної обробки даних в софтПЛК CoDeSys – важливий і ефективний сучасний спосіб налагодження промислових САР.

1.8 Похибки вимірювання постійні і стохастичні

Похибка вимірювання – це кількісне значення точності вимірювання. Це характеристика ступеня відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень похибки, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності відповідних вимірювань. Чим більше похибка вимірювання, тем менше точність; чим менша похибка, тим вища точність вимірювання.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В лінійних системах всі абсолютні похибки є **адитивними**, тобто додаються (зі знаком + або –) до істинного значення величини, так як вони однакові у всьому діапазоні вимірювання (тобто, не залежать від абсолютного значення вимірюваного параметру і від абсолютного значення перешкоди). Постійність похибки (і, як наслідок, її адитивність) в усьому діапазоні вимірювання є наслідком принципу суперпозиції для лінійних систем.

Похибки вимірювання залежать від **перешкод** процесу вимірювання. Похибку вимірювання класифікують за 1) джерелом походження перешкоди вимірювання і 2) способом походження перешкоди вимірювання.

За джерелом походження перешкоди вирізняють внутрішню (інструментальну) і зовнішню (методичну) похибки вимірювання

1. **Внутрішня похибка вимірювання** – це похибка самих компонентів ВК і залежить від типу і якості компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.
2. **Зовнішня похибка вимірювання** – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх перешкод і способу (методу) монтажу компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

За способом походження перешкоди вимірювання вирізняють постійну (систематичну) і стохастичну (випадкову) похибки вимірювання

3. **Постійна похибка вимірювання (ППВ)** – це постійне відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.
4. **Стохастична похибка вимірювання (СПВ)** – це випадкове відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

Стохастична похибка вимірювання (СПВ)

Теоретичні відомості

З позицій теорії ймовірності і математичної статистики СПВ є результатом дії багатьох випадкових чинників. В цьому випадку розподілення значень вимірювання підкоряється нормальному закону розподілення Гауса. Тому результат випадкового розподілення значень вимірювання характеризується двома детермінованими показниками – математичним очікуванням і дисперсією.

Математичне очікування – це середнє арифметичне всіх значень вимірювання в генеральній сукупності (велика кількість вимірювань). Це і є значення вимірюваної величини. Реальна сукупність вимірювань має кінцеву кількість вимірювань і називається вибіркою вимірювань. Середнє арифметичне вибірки відрізняється від математичного очікування і характеризується дисперсією.

Дисперсія – це середнє значення квадратів відхилення результатів вимірювання від середнього арифметичного вимірювань, тобто від вимірюваного значення величини (примітка: квадрат відхилення береться тому, щоб відхилення з різними знаками не компенсували один одного). Корінь квадратний із дисперсії називається середньоквадратичним відхиленням (СКВ) або стандартним відхиленням (стандартно позначається як σ – грецька сигма).

Достовірність вимірювання характеризується довірчим інтервалом вимірювання ДІВ. Саме в цьому діапазоні з достовірністю не менше 99.7 % знаходяться значення нормально розподіленої випадкової величини вимірювання. Половина ДІВ – це так звана межа похибки вимірювання (МПВ).
$$\text{ДІВ} = 2 \times \text{МПВ} = \pm \text{МПВ}.$$

Правило 3-х сигм для нормального розподілення:

$\text{МПВ} = 3 \times \text{СКВ}$ (тобто, $\text{МПВ} = 3\sigma$). $\text{ДІВ} = \pm 3 \times \text{СКВ}$ (тобто, $\text{ДІВ} = \pm 3\sigma$).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення Параметру = Результат Вимірювання $\pm$ МПВ, одиниці вимірювання.

Внутрішня СПВ вимірювального приладу

Відносна межа похибки вимірювання, приведена до діапазону вимірювання, називається класом точності вимірювального приладу (КТП). Розмірність КТП – %, хоча завжди вказується числом без процентів (число в колі на панелі приладу).

$$\text{МПВ} = \frac{\text{КТП}}{100} \times \text{Діапазон Вимірювання, одиниці вимірювання. ДІВ} = \pm \frac{\text{КТП}}{100} \times \text{Діапазон Вимірювання, одиниці вимірювання.}$$

$$\text{Значення Параметру} = \text{Результат Вимірювання} \pm \frac{\text{КТП}}{100} \times \text{Діапазон Вимірювання, одиниці вимірювання.}$$

Похибки вимірювання компоненту ВК

- Внутрішня ППВ компоненту ВК виникає внаслідок несправності компоненту.
- Зовнішня ППВ компоненту ВК виникає внаслідок неправильного монтажу і неправильної експлуатації компоненту, електростатичного наведення і неправильного заземлення (виникає додаткова різниця потенціалів, тобто напруга).
- Внутрішня СПВ компоненту ВК характеризується класом точності компонента. Клас точності визначає значення ДІВ цього компоненту. Наприклад, ВК виміряв значення температури 30 градусів. МПВ, обчислена на основі класу точності ВК, є, наприклад, 5 градусів (тобто, ДІВ = ± 5 градусів, тобто 10 градусів). Це означає, що виміряний параметр з ймовірністю 99.7 % знаходиться в діапазоні 30 ± 5 градусів, тобто в діапазоні 25..35 градусів.
- Зовнішня СПВ – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх стохастичних перешкод внаслідок, в основному, електромагнітного наведення від силових кабелів і потужного електротехнічного

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання (яке працює під великим струмом, так як «наводить струм, а не напруга»).

Так як внутрішня СПВ і, відповідно, ДІВ однакові в усьому діапазоні вимірювання, треба уникати вимірювання таких значень фізичної величини, які співставні з похибкою. **Емпіричне правило № 1** – діапазон вимірювального приладу треба вибирати таким, щоб номінальне значення вимірюваного параметру знаходилась в верхній третині шкали вимірювального приладу.

Шкали вимірювальних приладів мають бути оцифровані відповідно до класу точності вимірювального приладу. **Емпіричне правило № 2** – ціна поділки (значення найменшої поділки) приладу повинна бути рівною ДІВ, тобто двом МПВ.

Пригнічення похибки (= пригнічення перешкоди = пригнічення впливу перешкоди) – зменшення похибки до прийняттого рівня, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності засобів і алгоритмів пригнічення похибки.

- Пригнічення внутрішньої ППВ компоненту ВК полягає в усуненні джерела виникнення ППВ, тобто в ремонті або заміні компоненту ВК. Примітка. Не кажуть «внутрішня постійна перешкода».
- Пригнічення зовнішньої ППВ компоненту ВК полягає в усуненні джерела виникнення ППВ, тобто в правильному монтажі і правильній експлуатації компоненту ВК, ліквідації електростатичного наведення і правильного заземлення.

Примітка. Не кажуть «зовнішня постійна перешкода».

Радикальний спосіб пригнічення ППВ – коректування похибки адитивним зміщенням на величину похибки вимірюваного значення параметру або заданого значення вимірюваного регульованого параметру. Легше всього це зробити в ПЛК, можливо зробити в багатоканальному реєстраторі. Але це хибний шлях і виправданий тільки як тимчасовий засіб.

- Внутрішня СПВ компоненту ВК (внутрішня стохастична перешкода) не має і не може бути пригнічена, вона може бути тільки врахована при визначенні МПВ (ДІВ) всього ВК. МПВ (ДІВ) ВК розраховується на основі паспортних МПВ (класів точності) компонентів ВК.
- Зовнішня СПВ компоненту ВК пригнічується фільтрацією вхідних (вимірних) сигналів. Використовуються фільтри низьких частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ) і фільтри смуги частот (ФСЧ). Пригнічення зовнішньої СПВ – це пригнічення зовнішньої стохастичної перешкоди (в загальному випадку – високочастотної і/або низькочастотної).

Наслідком принципу суперпозиції для лінійних систем є теорема лінійності в теорії фільтрації: в лінійних САР можливо окремо реалізувати фільтрацію (спочатку) і регулювання (ПД-регулювання потім). В нелінійних САР окрема реалізація фільтрації і регулювання неможлива, це має бути єдиний алгоритм фільтрації і регулювання.

ФНЧ пропускає з входу на вихід сигнали низьких частот, а пригнічує сигнали високих частот. Пригнічення високих частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. Приклади ФНЧ 1-го і 2-го порядків – аперіодичні ланки 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається так званою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФВЧ пропускає з входу на вихід сигнали високих частот, а пригнічує сигнали низьких частот. Пригнічення низьких частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. Приклади ФВЧ 1-го і 2-го порядків – ланки реального диференціювання 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

так званою частотою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, нижче якої потужність (квадрат амплітуди) вихідного сигналу фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФСЧ пропускає з входу на вихід сигнали смуги частот f_1 і f_2 , а пригнічує сигнали нижчих за f_1 частот і вищих за f_2 частот. Пригнічення низьких і високих частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. ФСЧ є послідовним з'єднанням: або ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот) і ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот); або ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот) і ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот). Частоти відфільтрованого і пригніченого сигналів визначаються так званими частотами зрізу. Частоти зрізу – це дві частоти, нижче якої і вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

Вплив ППВ і СПВ на роботу САР

- ППВ є найбільш небезпечною похибкою. ППВ можливо пригнітити 2-ма способами: 1) усунути джерело похибки; 2) відкоректувати значення задавача на величину похибки (наприклад, якщо справжня температура 30 градусів, а давач показує 25 градусів, то в САР потрібно задавати значення 25 градусів, «тримаючи в умі», що насправді це 30 градусів; так само з виведенням значення на ПП/РП – треба «тримати в умі», що насправді показуються не 25, а 30 градусів). Крім того, ППВ важко, а в багатьох випадках неможливо виявити.
- Внутрішня СПВ компоненту ВК враховується при визначенні ДІВ всього ВК на основі класів точності компонентів ВК.

ППВ і внутрішня СПВ по різному (навіть протилежно) впливають на якість регулювання, тобто на якість перехідних процесів в САР.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ППВ не впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу).

Внутрішня СПВ впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але не впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу).

- Зовнішня СПВ має бути пригнічена фільтрацією. Розрізняють зовнішню і внутрішню фільтрацію ВК. Зовнішня фільтрація – це використання зовнішніх до ВК і ПЛК фільтрів. Внутрішня фільтрація – це програмна фільтрація вимірних сигналів в РП або ПЛК.

Зовнішня фільтрація

- Екранування компонентів ВК і ПЛК від електромагнітних наведень шляхом встановлення в спеціалізовані металеві шафи з їх заземленням. Це запобігає проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.
- Прокладання сигнальних кабелів (постійного струму 0...100 мВ, Ом, 4...20 мА, 0..10 В) окремо від силових кабелів (змінного струму 220/380 В), тобто в окремих кабельних каналах і в окремих металевих трубах. Це запобігає електромагнітному наведенню і, відповідно, проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.
- Використання скручених пар (біфілярні провідники – розташовані один біля одного провідники; біфілярна скручена або вита пара – twisted pair – скручені навколо один одного два провідники) для:
1) зменшення площі електромагнітного наведення за рахунок біфілярності провідників і, відповідно, зменшення електромагнітного наведення паразитних струмів; 2) додаткової

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємної компенсації наведених паразитних струмів в плюсовому і мінусовому провідниках за рахунок взаємно-протилежних напрямів струмів в плюсовому і мінусовому провідниках внаслідок різнополярності плюсового і мінусового провідників.

- Заземлення екранів кабелів. Заземлення металевих труб, в яких прокладені сигнальні кабелі. Електромагнітно наведені паразитні струми «стікають в землю» і не проникають в електричні кола компонентів ВК.
- Правильне заземлення – заземлення системи в одній точці; тобто точки заземлення всіх приладів повинні бути індивідуально підключені до єдиної спільної заземленої точки заземлення системи (бажано до металевого шасі шафи). Фізичне заземлення в одній фізичній точці заземлення запобігає виникненню паразитних струмів в провідниках між заземленими точками заземлення.

Внутрішня фільтрація – програмна фільтрація в ПЛК

Програмна фільтрація в ПЛК здійснюється або функціональними блоками (графічна мова ПЛК), або різницеvими рівняннями (текстова мова ПЛК) ФНЧ – аперіодичними ланками 1-го або 2-го порядків. ФВЧ і ФСЧ в ПЛК не використовуються, так як 1) корисний сигнал завжди низькочастотний (тобто він може пригнічуватись), 2) сам «тепловий» ОУ (ТОУ з процесами тепломасообміну і гідрогазодинаміки) і сама САР є ФНЧ (тобто сам ОУ і сама САР пригнічує високочастотні перешкоди), 3) програмно ФВЧ і ФСЧ (відповідно програмний реальний диференціатор і програмна інтегро-диференціальна ланка) в ПЛК реалізується неефективно (неефективною є реалізація саме операції ідеального диференціювання).

Задача внутрішньої фільтрації сигналу в ПЛК – відфільтрувати корисний сигнал (значення регульованого параметру) і пригнітити перешкоду. Корисний сигнал завжди низькочастотний. Корисний сигнал є результатом реального збурення в ОУ (як правило, низькочастотного).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо сигнал перешкоди високочастотний, то треба: або 1) використовувати ФНЧ, і це може бути реалізовано (аперіодична ланка), але це погіршує якість регулювання, так як вводиться додаткова інерційність в замкнений контур регулювання; або 2) взагалі не використовувати фільтрацію, так як ОУ і САР самі є ФНЧ і «не бояться» високочастотної перешкоди, так як просто «не встигають зреагувати» на неї (крім того, не погіршується якість регулювання, так як не вводиться додаткова інерційність в замкнений контур регулювання).

Якщо сигнал перешкоди нижчої частоти, ніж корисний, то треба використовувати ФВЧ, що не може бути реалізовано (реальна диференціальна ланка). Якщо сигнал перешкоди такої ж частоти, як і корисний, то взагалі фільтрація буде зайвою (ФНЧ буде пропускати перешкоду разом з корисним сигналом; ФВЧ пригнітить перешкоду разом з корисним сигналом). Саме тому зовнішні фільтри мають не пропускати на вхід САР саме низькочастотну перешкоду (високочастотної перешкоди САР «не боїться», так як вона її «навіть не помітить»), так як вона буде фактично однакової частоти з корисним сигналом (в цьому випадку САР буде реагувати на перешкоду як на корисний сигнал хибним регулюванням, що неприпустимо). Саме тому зовнішні фільтри для САР мали б бути ФВЧ (але це неможливо, так як зовнішні апаратні фільтри – екрани, заземлення тощо – принципово не можуть бути диференціаторами, навіть реальними). Примітка. В радіоприладах (смартфонах) ефективно використовувати внутрішні ФНЧ, які пригнічують високочастотну перешкоду (атмосферні електромагнітні наведення) і пропускають (фільтрують) низькочастотний корисний сигнал (голосовий сигнал).

Слід розрізняти ВК з виходом на ПП або РП (ВК-ПРП) і ВК з виходом на регулятор в ПЛК (ВК-РЕГ).

Для ВК-ПРП внутрішня програмна фільтрація засобами ФНЧ є ефективною, так як відфільтрований сигнал без високочастотних перешкод краще візуалізується.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ВК-РЕГ внутрішня програмна фільтрація засобами ФНЧ є неефективною, так як це означає введення в зворотний зв'язок додаткової аперіодичної ланки 1-го порядку, тобто послідовне підключення до ОУ додаткової аперіодичної ланки 1-го порядку (тобто ускладнення ОУ – він стає більш інерційним – і погіршення якості регулювання). Сам ОУ і сама САР вже є ФНЧ.

Фільтрацію засобами ФНЧ в ПЛК використовувати тільки для ВК з виходом на ПП/РП, але не використовувати для фільтрації в контурі регулювання.

Висновки щодо зовнішньої і внутрішньої фільтрації в АСУТП / САР

Висновки щодо зовнішньої фільтрації

1. Зовнішні фільтри з позиції покращення якості регулювання в САР мають бути ФВЧ – пригнічувати низькочастотну перешкоду (співставну з низькочастотним корисним сигналом від низькочастотного збурення) і пропускати високочастотну перешкоду (яка не є шкідливою для ОУ і САР, так як вони самі є ФНЧ). Але ФВЧ не можуть бути реалізованими, тим більш апаратно (а всі зовнішні фільтри – апаратні).
2. Зовнішні фільтри з позиції убезпечення схемотехніки ПЛК і приладів в САР мають бути ФНЧ – пригнічувати високочастотну перешкоду (вона є високоенергетичними імпульсами і може випалити електричні кола і електронні схеми апаратури) і пропускати низькочастотну перешкоду (вона є низькоенергетичними імпульсами і не може випалити електричні кола і електронні схеми апаратури).
3. Зовнішні ФНЧ ефективні для візуалізації сигналів (в реєстраторах) і даних (в HMI/SCADA-системах), так як візуалізується тільки низькочастотний сигнал без високочастотних шумів.

Резюме

Треба використовувати зовнішні фільтри у вигляді електромагнітних екранів, скручених пар, сучасної кабельної системи, сучасної системи заземлення. Ці фільтри є фільтрами низьких частот (ФНЧ), тобто зовнішня фільтрація (фільтрація екрануванням і заземленням) є низькочастотною фільтрацією. Задача зовнішньої фільтрації – запобігання вигорання електроніки приладів і покращення візуалізації сигналів (реєстратори) і даних (HMI/SCADA-системи), але не покращення якості регулювання (так як не пригнічується низькочастотна перешкода).

Висновки щодо внутрішньої фільтрації

1. Внутрішні фільтри не мають бути ФВЧ (не має сенсу пригнічувати корисний низькочастотний сигнал від збурення; не має сенсу пропускати високочастотну перешкоду, хоча ОУ і САР, як самі ФНЧ, не реагують на високочастотну перешкоду); крім того, ФВЧ практично неможливо реалізувати програмно.
2. Введення додаткових внутрішніх ФНЧ у замкнений контур регулювання погіршує якість регулювання (вводить інерційність в контур регулювання, що аналогічно більшій інерційності ОУ), тому використання ФНЧ в замкненому контурі регулювання є неефективним.
3. Внутрішні ФНЧ ефективні для візуалізації сигналів (в реєстраторах) і даних (в HMI/SCADA-системах), так як візуалізується тільки низькочастотний сигнал без високочастотних шумів.

Резюме

Треба використовувати в ПЛК програмні ФНЧ (аперіодичні ланки першого або другого порядку) для відфільтровування низькочастотного сигналу і пригнічення високочастотних шумів перед візуалізацією вимірних параметрів як сигналів в реєстраторах і даних в в HMI/SCADA-системах.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фільтрація в інформаційно-вимірювальних системах

В загальному випадку, найбільш шкідливими для інформаційних систем є середньочастотні перешкоди частотою 50 Гц, продюзовані електромагнітним наведенням. Задача ФНЧ зовнішньої і внутрішньої фільтрації для інформаційних систем – пригнітити відносно високочастотну перешкоду 50 Гц і відфільтрувати (пропустити на вихід) корисний відносно низькочастотний сигнал (частотою, меншою за 50 Гц). Так як АСУ є як автоматичною, так і інформаційною системою (включає в себе як ІВС в складі САР, так і автономні ІВС), то зовнішня і внутрішня низькочастотна фільтрація є необхідною для АСУ (саме для автономних ІВС, які є невід’ємною частиною АСУ; автономні інформаційні функції навіть важливіші, ніж управляючі і захисні функції).

Загальні висновки щодо фільтрації

Фінансові вкладення в кошовну зовнішню низькочастотну фільтрацію і програмна реалізація внутрішньої низькочастотної фільтрації (зовнішні і внутрішні ФНЧ) є ефективними і рекомендованими, так як зменшують загальну вартість володіння (ТСО – total cost of ownership) АСУТП за період життєвого циклу ТОУ.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ВК КАСКАДНОЇ САР ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ

Для прикладу інженерних розрахунків використовується припливна система вентиляції яка має каскадну САР температури повітря в приміщенні.

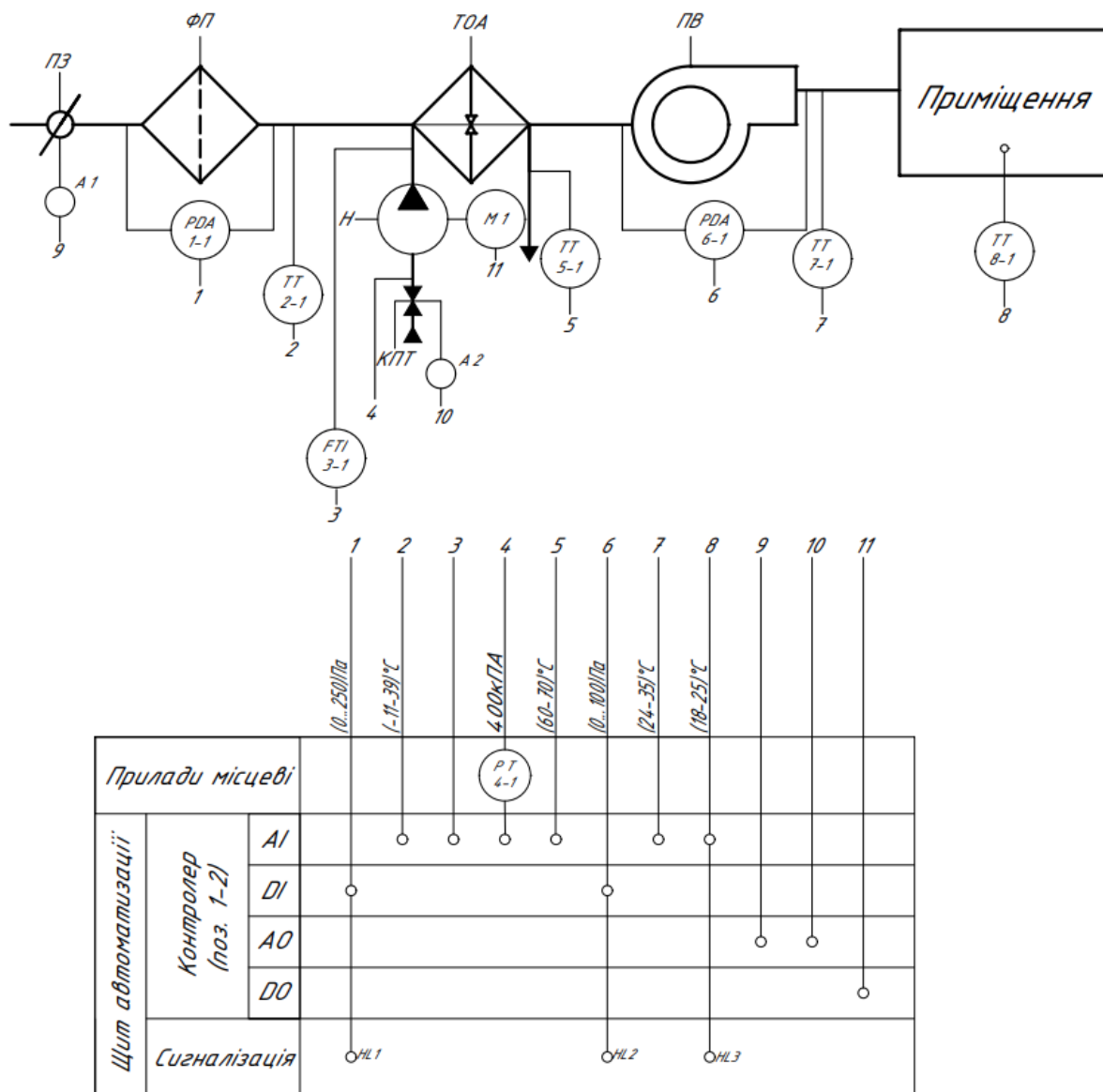


Рисунок 2.1 – Схема функціональна автоматизації припливної системи
вентиляції

Припливна система використовується для подачі чистого повітря в обмін на видалене. При необхідності припливне повітря обробляється (обігрів, зволоження, фільтрація тощо). Основними завданнями системи ВК є нагрівання/охолодження повітря. Регульованими параметром є температура.

Повітря затыгаючись вентилятором з навколишнього середовища потрапляє в фільтр. Після цього воно проходить через водяний калорифер, де за допомогою теплообміну здійснюється нагрівання повітря, далі повітря проходить через вентилятор де нагрівається ще на декілька градусів, після чого тяга вентилятора переміщує повітря у приміщення.

Повітря яке надходить до системи перед теплообмінником вимірюється датчиком температури (2-1). Після цього температура повітря вимірюється в приміщенні (8-1).

На вентиляторі (6-1) та на фільтрі (1-1) вимірюється перепад тиску на вході та виході з агрегатів .

Для захисту теплоносія в калорифері від замерзання на виході встановлений термоперетворювач опору (5-1). На трубі подачі прямої води стоїть манометр (4-1) для запобігання сухого ходу насосу, та витратомір (3-1).

Насос подачі гарячої води М1 регулюється дискретним виходом контролера. Регулюючі органи А1 та А2 підключаються до аналогового виходу контролеру.

2.1 Перелік ВК ІВС АСУТП припливної системи вентиляції

1. ВК температури повітря в приміщенні;
2. ВК температури повітря в повітропроводі;
3. ВК температури зворотної води;
4. ВК перепаду тиску в повітропроводі;
5. ВК тиску прямої води;
6. ВК витрати прямої води.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Опис схем структурних ВК САР температури повітря в приміщенні

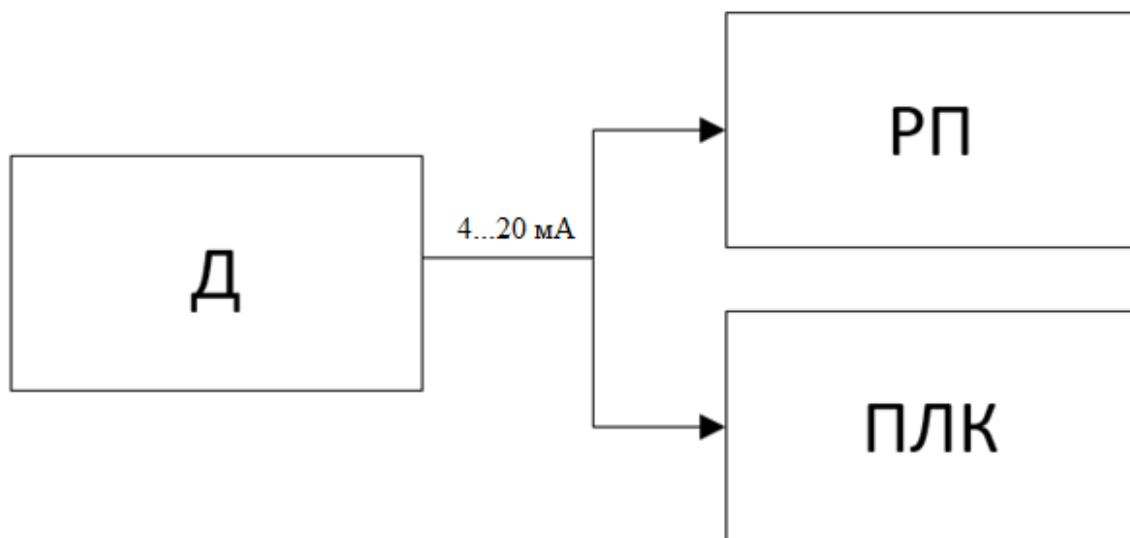


Рисунок 2.2 – Структурна схема ВК САР температури повітря в приміщенні

Д – термометр опору Pt1000 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА.

РП – реєструючий вторинний прилад.

ПЛК – програмований логічний контролер.

2.3 Опис схем функціональних ВК САР температури повітря в приміщенні

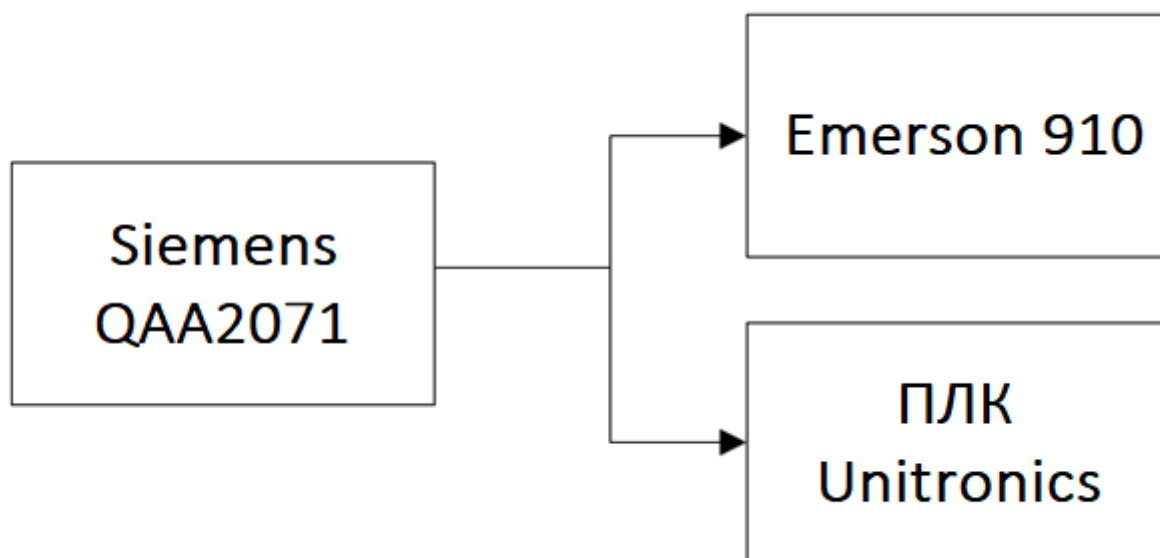


Рисунок 2.3 – Схема функціональна САР температури повітря в приміщенні

Для вимірювання температури в приміщенні був обраний датчик температури повітря з уніфікованим вихідним сигналом Siemens QAA2071:

- Вихідний сигнал: 4...20 мА;
- Діапазон перетворення температур: 0...50 °С;
- Клас точності: 0.5;
- Час напрацювання на відмову: 70 000 год.

Вторинним вимірювальним приладом обираємо багатоканальний реєстратор Emerson 910:

- Аналогових каналів: 8;
- Дискретних входів: 4;
- Дискретних виходів: 8;
- Діапазони вимірювань сили постійного струму: 0...5, 0...20, 4...20 мА;
- Клас точності: 0.1;
- Час напрацювання на відмову: 40 000 год.

Вибираємо ПЛК Unitronics Unistream:

- Клас точності: 0.1;
- Час напрацювання на відмову: 360 000 год.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Опис схем принципів електричних ВК САР температури повітря в приміщенні

Оскільки давач температури в приміщенні – Siemens QAA2071 має уніфікований сигнал 4..20мА, тому підключення до контролера здійснюється за двопровідною схемою (див. рис. 2.4). У схемі використовуються діоди Зенера (стабілітрони), які застосовуються для збереження електричного кола при відключенні РП або ПЛК.

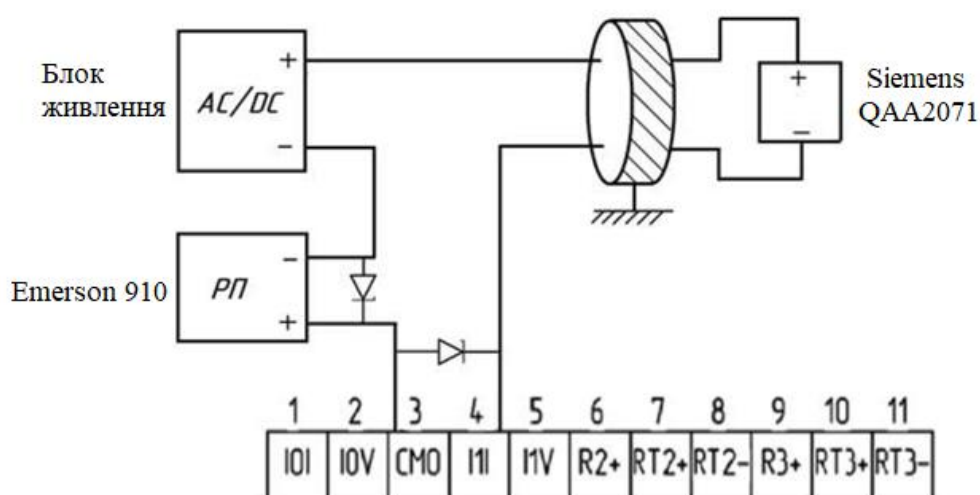


Рисунок 2.4 - Схема принципово електрична ВК САР температури повітря в приміщенні

- контакт «+» блока живлення підключається до контакту «+» давача екранованим кабелем;
- контакт «-» давача підключається до плюсової струмової клеми контролера;
- контакт «-» контролера підключається до контакту «+» реєстратора;
- контакт «-» блока живлення підключається до контакту «-» реєстратору.

2.5 Опис схем монтажу технічних засобів ВК САР температури повітря в приміщенні



Рисунок 2.5 – Датчик температури в приміщенні Siemens QAA2071
Вибраний датчик (див. рис. 2.5) кріпиться на стіну (див. рис. 2.6).

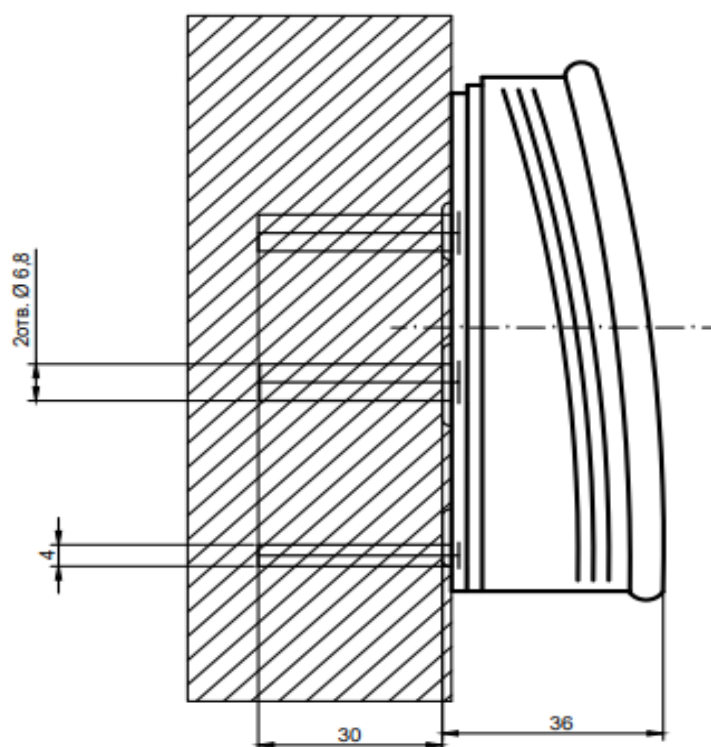


Рисунок 2.6 – Установка датчика температури в приміщенні на стіну

2.6 Опис схем структурних надійності ВК САР температури повітря в приміщенні

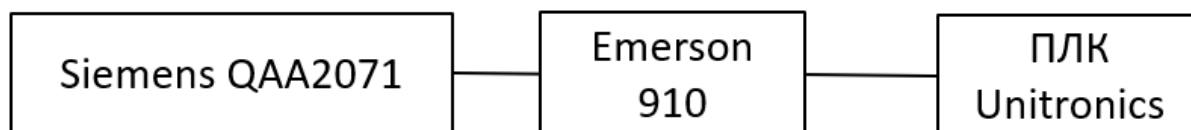


Рисунок 2.7 – Структурна схема надійності

2.7 Метрологічні розрахунки ВК САР температури повітря в приміщенні

ВК повинен забезпечити вимірювання з похибкою не гірше ніж $\pm 1^\circ\text{C}$. Розрахунок ВК ІВС для температури повітря в приміщенні. Класи точності приладів беруться з їх паспортів. Для засобів вимірювання **клас точності** являє собою межу основної допустимої похибки вимірювання.

Клас точності – це межа основної допустимої похибки вимірювання. Межа – це термін що вказує на те що з ймовірністю 0,999 всі випадкові похибки вимірювальної величини будуть знаходитись у заданому довірчому діапазоні вимірювання. Термін основна вказує на те, що клас точності нормує похибку для нормальних умов експлуатації (тобто коли задовольняються вимоги до температури, вологості і тиску навколишнього середовища і вимоги до живлення приладів). Якщо вказані технічні вимоги не виконуються, з'являється додаткова похибка і сумарна похибка перевищує клас точності приладу.

Межа основної допустимої приведенної похибки ВК САР температури повітря в приміщенні розраховується на основі класів точності давача ε_D та реєстратора ε_{RP} :

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_D^2 + \varepsilon_{RP}^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.1^2} = 0.5 \%$$

Межа абсолютної похибки:

$$\Delta = \varepsilon_D \cdot (X_{\max} - X_{\min}) \cdot \frac{1}{100} = 0.5 \cdot (50 - 0) \cdot \frac{1}{100} \approx 0.2^\circ\text{C}$$

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результат розрахунків:

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахована похибка для каналу Д-РП буде дорівнювати похибці Д-ПЛК.

Розрахований ВК задовольняє поставлену задачу в забезпеченні вимірювання з похибкою не гірше ніж $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.8 Розрахунки ВК САР температури повітря в приміщенні

Задамо середній час напрацювання на відмову $T_{\text{ср}}^* = 20\,000$ год та коефіцієнт готовності $K_{\text{гот}}^* = 0.9995$.

Середній час напрацювання на відмову приладів $T_{\text{ср}}^{\text{ПЛК}} = 360\,000$ год,
 $T_{\text{ср}}^{\text{Siemens QAA2071}} = 70\,000$ год, $T_{\text{ср}}^{\text{Emerson 910}} = 40\,000$ год.

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \frac{1}{360\,000} + \frac{1}{70\,000} + \frac{1}{40\,000} = 0.000042 \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000042} = 23\,809 \text{ год}$$

$T_{\text{ср}} > T_{\text{ср}}^*$, отже структура вимірювальних каналів коректна.

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 2160$ год:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\lambda \cdot \tau} \approx 1 - \frac{\tau}{T_{\text{ср}}} \approx 1 - \lambda \cdot \tau = 1 - 0.000042 \cdot 2160 = 0.9$$

Середній час відновлення працездатності ВК:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} \rightarrow T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}^*} - T_{\text{ср}} = \frac{23\,809}{0.9995} - 23\,809 = 12 \text{ год}$$

2.9 Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних вимірювання в САР температури повітря в приміщенні в СКМ Matlab Simulink

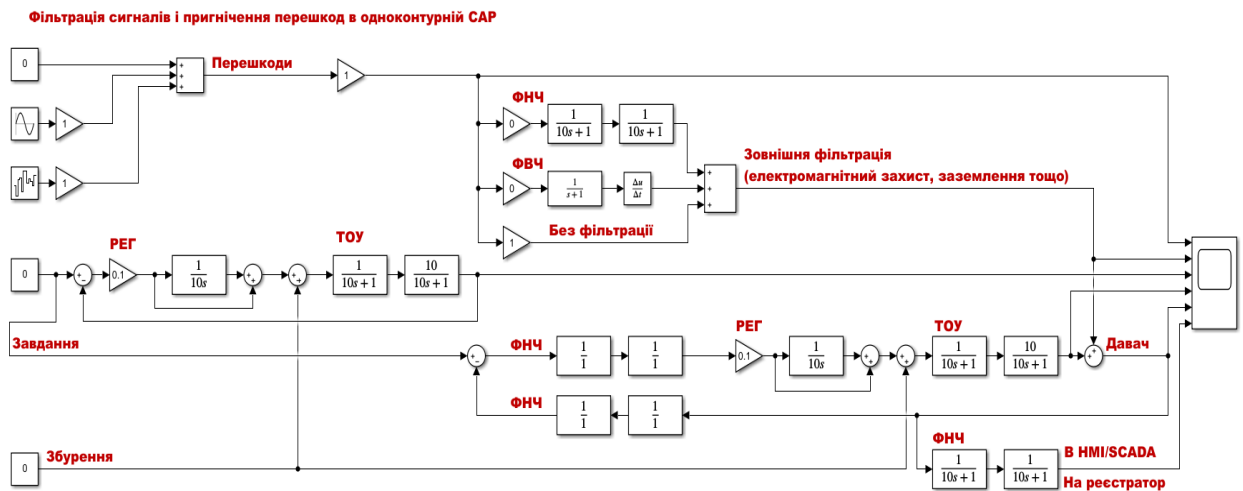


Рисунок 2.8 – Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних

Зовнішній фільтр має бути ФВЧ, який пригнічує зовнішню низькочастотну перешкоду; високочастотний сигнал з перешкоди фактично не впливає на об'єкт, так як сам об'єкт є ФНЧ і фактично не реагує на високочастотну перешкоду. Якщо зовнішній фільтр є ФНЧ, то він пропускає на ТОУ низькочастотну перешкоду, яку регулятор сприймає як низькочастотні коливання режимного параметра і помилково врегульовує їх.

Внутрішній ФНЧ для замкнутого контуру регулювання є шкідливим, так як він фактично вносить додаткову інерційність в ОУ. Внутрішній ФНЧ є ефективним для фільтрації сигналу, який передається для візуалізації на реєструючий прилад або в HMI/SCADA-систему; дані візуалізації не мають бути зашумленими, оператор має спостерігати тільки низькочастотний сигнал. ФВЧ для контуру регулювання і для візуалізації є шкідливим.

Примітка. ФВЧ, як зовнішній так і внутрішній, практично не можливо реалізувати, так як він містить ланку реального диференціатору.

2.10 Перелік функцій первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Типові функції первинної обробки даних в ПЛК:

Фільтрація – ФНЧ 1-го порядку (аперіодична ланка 1-го порядку) в ВК з виходом на ПП/РП.

Апроксимація – кусочно-лінійна апроксимація. Лінеаризація нелінійної характеристики вимірювання. Обмеження мінімального і максимального значень (нелінійність типу насичення).

Масштабування – лінійне перетворення діапазону (шкали) вимірювання.

Сповільнення – обмеження швидкості зміни параметру (нелінійність типу насичення).

Порівняння – порівняння з уставкою. РІВНО, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, ДІАПАЗОН. Обмеження значення (нелінійність типу насичення).

Гістерезис – реалізація зони нечутливості і зони повернення (двопозиційна нелінійність; релейне регулювання).

Алармування – формування події тривоги (аларму) технологічної (попереджувальної) або аварійної.

Аналітика – статистичний аналіз. Виділення найменшого, найбільшого і середнього значень. Розрахунок дисперсії.

Інтегрування – лінійне інтегрування параметру (площа під графіком зміни параметру).

Лічильник – математична інкрементація і декрементація. Обрахування дискретних подій до уставки лічильника.

Таймер – реалізація часових затримок на величину уставки таймеру.

NOT – логічна операція НІ. Значення виходу протилежне значенню входу.

AND – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.

OR – логічна операція АБО. Вихід = 1, якщо хоча б один з входів = 1.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

XOR – логічна операція виключного АБО. Вихід = 1, якщо тільки один з входів = 1.

Генератор – генерація аналогових і дискретних даних константних і періодичних.

Перетворення типів даних – вимушене явне перетворення типів даних, як правило, REAL>INT.

Типовий порядок первинної обробки аналогових сигналів (INT, REAL) в ПЛК: Сигнал > Фільтрація – Апроксимація – Масштабування – Сповільнення – Порівняння, Аналітика, Алармування > Дані.

Порядок обробки дискретних сигналів (BOOL) в ПЛК – залежить від логіки обробки і не може бути типовим.

2.11 Реалізація функцій первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

На рисунку 2.9 реалізовані всі функції, які були перераховані в п. 2.1.10.

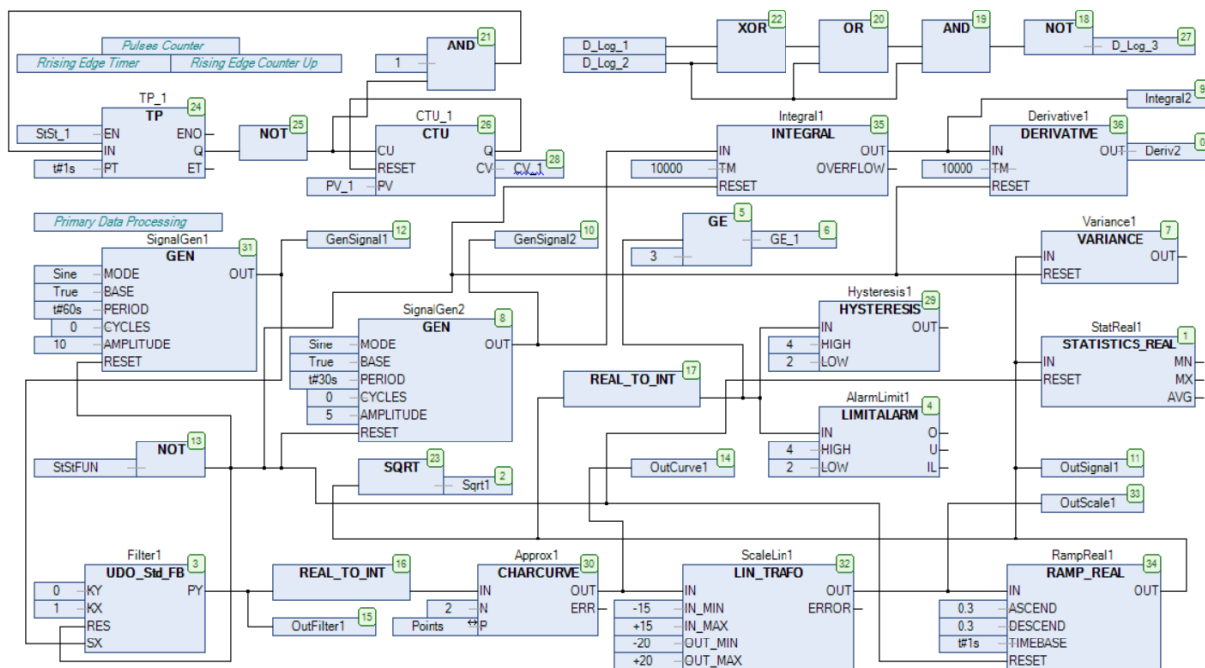


Рисунок 2.9 – CFC-діаграма первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

2.12 Висновки про роботоздатність ВС САР температури повітря в приміщенні

Вимірювальний канал є роботоздатним, так як він точний, оскільки, розрахункова похибка менша за максимально можливу. Виходячи з того, що розрахований середній час напрацювань на відмови більше зазначеного, можна сказати, що вимірювальний канал є надійними. Використання фільтра нижніх частот є ефективним для фільтрації сигналу, що передається для візуалізації на записуючий пристрій або в систему HMI/SCADA але неефективним для замкнутого контуру регулювання.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТИПОВИХ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК

3.1 Схема структурна полігону імітаційного HIL-моделювання АТК

Імітаційне моделювання АТК – це програмно-технічне моделювання контролерної і супервізорної функціональності АСУ з використанням програмних (не фізичних і не математичних) моделей (цифрових двійників) ТОУ. Функціональне імітаційне моделювання динамічної системи – імітаційне моделювання функцій динамічної системи. Структурне імітаційне моделювання динамічної системи – моделювання взаємодії структурних частин динамічної системи. Імітаційне моделювання АТК є ефективним інструментарієм для перевірки роботоздатності і налагодження АСУ за відсутності доступу до реального фізичного ТОУ і неможливості розрахунку динаміки систем автоматичного регулювання з використанням складних математичних моделей ТОУ. Імітаційне моделювання АТК використовується на стадіях проєктування (розробки і програмування), впровадження, тиражування і модернізації АСУ.

ТОУ моделюється або в системі комп'ютерної математики (СКМ), або прямо в самому ПЛК. Реалізація людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) – зовнішня SCADA-система або HMI-панель самого ПЛК. Реалізація ПЛК – хардПЛК (реальний фізичний ПЛК) або софтПЛК (програмно реалізований в комп'ютері ПЛК).

Вирізняють: **імітаційне SIL-моделювання АТК** (Software-In-the-Loop: софтПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована в СКМ; ЛМІ – зовнішня SCADA-система); **імітаційне HIL-моделювання АТК** (Hardware-In-the-Loop: хардПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована прямо в хардПЛК; ЛМІ – HMI-панель самого хардПЛК); **імітаційне VIL-моделювання АТК** (Viewer-In-the-Loop: модель ТОУ, ПЛК і ЛМІ реалізовані в HMI/SCADA-системі).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу лабораторії входять: 1) стаціонарний лабораторний стенд на платформі хардПЛК Unitronics OPLC Vision; 2) мобільні лабораторні стенди на платформі хардПЛК Unitronics OPLC UniStream; 3) віртуальні (комп'ютерні) лабораторні стенди на платформі софтПЛК 3S-Smart Software Solutions CoDeSys 3.5.

Кожний стенд (стаціонарний, мобільні, віртуальні) є програмно-технічним симулятором одного або декількох АТК (КФС; КЕС). Кожний програмно-технічний симулятор є програмно-технічним тренажером інженера АСУ, який розроблює і налагоджує АСУ на імітаційній (програмній) моделі (цифровому двійнику) ТОУ (модель реалізована або в СКМ, або прямо в ПЛК). Кожний програмно-технічний тренажер інженера АСУ реалізує структурне імітаційне моделювання АТК.

Стаціонарний лабораторний стенд і мобільні лабораторні стенди є програмно-технічними HIL-симуляторами АТК (ТОУ моделюється і контролерна функціональність реалізується в хардПЛК Unitronics; супервізорна функціональність – HMI-панель самого ПЛК).

Віртуальні (комп'ютерні) лабораторні стенди є програмно-технічними SIL-симуляторами АТК (ТОУ моделюється в СКМ MatLab Simulink; контролерна функціональність реалізується в софтПЛК CoDeSys; супервізорна функціональність – зовнішня SCADA-система Indusoft WebStudio).

Функціональне імітаційне моделювання – моделювання функціональності замкнених САР в СКМ Matlab Simulink.

Структурне імітаційне моделювання – моделювання структурних компонентів АСУТП на полігоні імітаційного SIL-моделювання на платформі СКМ Matlab Simulink – софтПЛК CoDeSys – HMI/SCADA-система WebStudio.

Нижче на рис. 3.1 наведені схеми структурні полігонів імітаційного моделювання АТК – SIL, HIL і VIL.

Розроблений полігон імітаційного моделювання реалізований як полігон імітаційного HIL-моделювання (схема Б на рис. 3.1).

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						134
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лабораторний комплекс ІМ АТК фізично розташований в лабораторії АСУ і в лабораторії ІВС кафедри АЕП НН ІАТЕ.

Лабораторний комплекс ІМ АТК призначений для імітаційного моделювання теплоенергетичних кібер-фізичних систем (кібер-енергетичних систем). В лабораторіях виконуються лабораторні роботи з вимірювання, автоматизації технологічних процесів, програмування контролерної і супервізорної функціональності автоматизованих систем управління. Лабораторний комплекс використовується студентами і аспірантами для дослідження і розробки систем автоматизації технологічних процесів і виробництв в енергетиці і промисловості в процесі роботи над курсовими проектами, дипломними проектами бакалавра, магістерськими дисертаціями, кандидатськими дисертаціями.

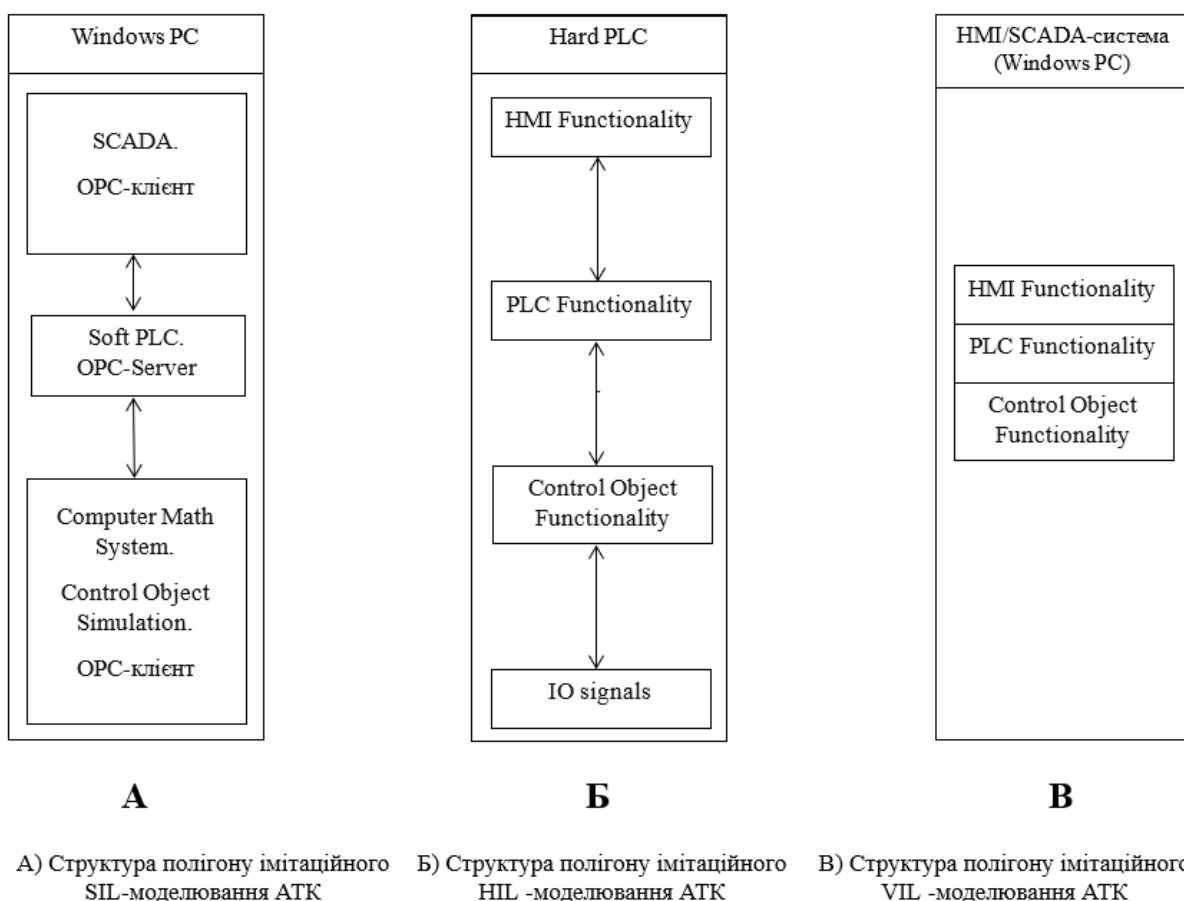


Рисунок 3.1 – Схеми структурні полігонів імітаційного моделювання

3.2 Структура програмного забезпечення полігону імітаційного HIL-моделювання АТК

Програмний проєкт HIL-ImitModelCPS полігону розроблений в системі програмування Unitronics UniLogic для ПЛК Unitronics OPLC UniStream. Програмне забезпечення складається з бізнес-логіки (Ladder) і операторських візуалізацій (HMI). Архітектура ПЗ – модульна система з мікроядром.

Модульна структура ПЗ проєкту

1. Модуль «Базовий». Головний модуль. Запускає на виконання функціональні модулі.
2. Модуль «Метрологія». Функціональний модуль. Реалізує HIL-моделювання теплоенергетичних ІВС.
3. Модуль «Автоматизація». Функціональний модуль. Реалізує HIL-моделювання теплоенергетичних САР.
4. Модуль «Контролінг». Функціональний модуль. Реалізує HIL-моделювання теплоенергетичних систем програмно-логічного управління (СПЛУ).

Склад і функціональність головного модуля «Базовий»

Модуль Ladder 0.FunBasic:

1. Функція B0.Engine. Головне мікроядро (головна функція), яке запускає на виконання функціональні мікроядра (головні функції) функціональних модулів.

Модуль HMI 0.VisBasic:

1. Вікно B0.Home. Стартове вікно модуля. Представлене на рис. 3.2.
2. Вікно B1.InstrPDF. Функціональне вікно модуля. Візуалізація текстової інструкції користувача.
3. Вікно B2.InstrVideo. Функціональне вікно модуля. Візуалізація відео інструкції користувача.

Дії користувача на стартовому вікні B0.Home (рис. 3.2)

1. Перехід (кнопка «B1.InstrPDF») на функціональне вікно текстового інструктажу B1.InstrPDF (з наступним поверненням на стартове вікно).
2. Перехід (кнопка «B2.InstrVideo») на функціональне вікно відео інструктажу B2.InstrVideo (з наступним поверненням на стартове вікно).
3. Запустити (кнопка «Запустити / Зупинити») виконання функціональних мікроядер функціональних модулів в головному мікроядрі B0.Engine (в головній функції модуля «Базовий»). Реалізується через EN/ENO функціональних блоків.
4. Перехід на стартове вікно M0.Home модуля «Метрологія».
5. Перехід на стартове вікно A0.Home модуля «Автоматизація».
6. Перехід на стартове вікно C0.Home модуля «Контролінг»,

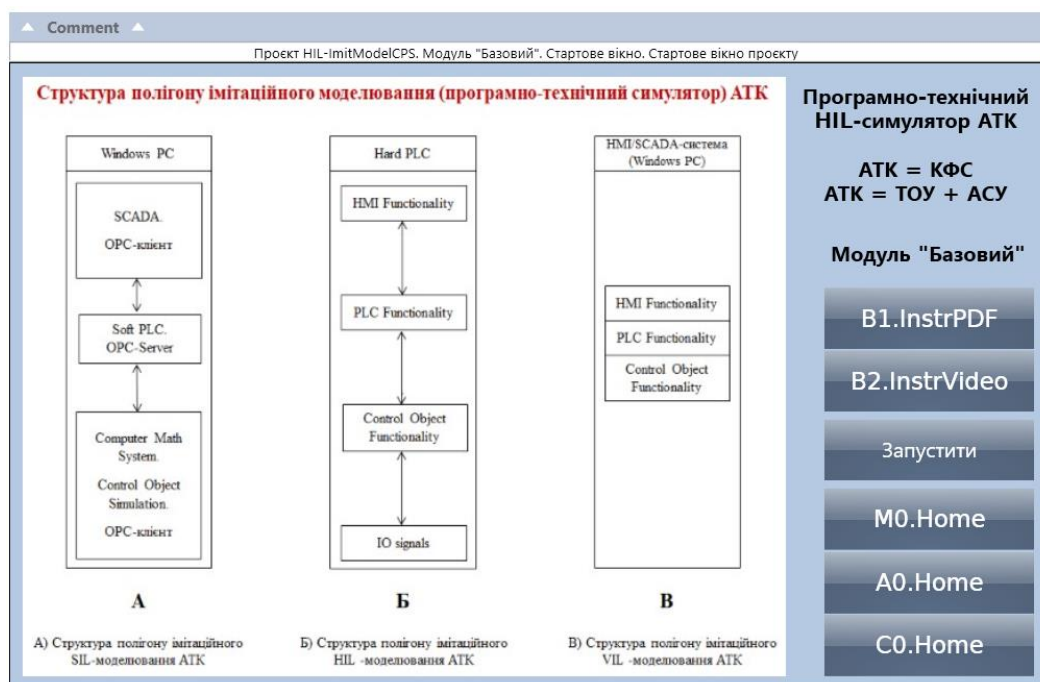


Рисунок 3.2 – Програмний модуль «Базовий». Стартове вікно B0.Home

3.3 Опис функціонального модуля «Метрологія»

Функціональний модуль «Метрологія» реалізує HIL-моделювання теплоенергетичних САР, а саме – моделювання типових алгоритмів первинної обробки сигналів (ПОС) в ПЛК. Архітектура ПЗ – модульна система з мікроядром. Функціональне мікроядро (головна функція модуля) запускає на виконання робочі функції модуля.

Склад і функціональність функціонального модуля «Метрологія»

Модуль Ladder 1.FunMetrology:

1. Функція M0.Engine. Функціональне мікроядро (головна функція), яке запускає на виконання робочі функції модуля.
2. Функція M1.FunLoop. Робоча функція модуля. Реалізація типового алгоритму ПОС «датчик – регулятор», що включає лінеаризацію сигналу, масштабування (приведення до шкали) сигналу і алармування сигналу.
3. Функція M2.FunRegister. Робоча функція модуля. Реалізація типового алгоритму ПОС «датчик – реєстратор», що включає лінеаризацію сигналу, масштабування (приведення до шкали) сигналу і фільтрацію сигналу.

Модуль HMI 1.VisMetrology:

1. Вікно M0.Home. Стартове вікно модуля. Представлене на рис. 3.3.
2. Вікно M1.VisLoop. Функціональне вікно модуля. Візуалізація алгоритму ПОС «датчик – регулятор». Представлене на рис. 3.4.
3. Вікно M2.VisRegister. Функціональне вікно модуля. Візуалізація алгоритму ПОС «датчик – реєстратор». Представлене на рис. 3.5.

Дії користувача на стартовому вікні M0.Home (рис. 3.3)

1. Повернення (кнопка «B0.Home») на стартове вікно B0.Home.
2. Перехід (кнопка «M1.VisLoop») на функціональне вікно візуалізації алгоритму ПОС «датчик – регулятор» M1.VisLoop.
3. Перехід (кнопка «M2.VisRegister») на функціональне вікно візуалізації алгоритму ПОС «датчик – реєстратор» M2.VisRegister.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						138
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Конфігурування (кнопка «Сенсор / Імітатор») джерела сигналу ВК ІВС. Може бути використаний як сигнал від зовнішнього апаратного сенсору, так і сигнал (дані) від внутрішнього програмного імітатору.
5. Параметризація алгоритму ПОС «датчик – регулятор». Використовуються текстові поля з введенням даних в розділі «Алгоритм ПОС «датчик – регулятор»» вікна. Для масштабування задаються значення: вхідних сигналів X_{min} і X_{max} (відповідно початок і кінець шкали); вихідних сигналів Y_{min} і Y_{max} (відповідно початок і кінець шкали). Для алармування задаються значення: технологічні границі Lo і Hi (відповідно нижня і верхня); аварійні границі $LoLo$ і $HiHi$ (відповідна нижня і верхня границі).
6. Параметризація алгоритму ПОС «датчик – реєстратор». Використовуються текстові поля з введенням даних в розділі «Алгоритм ПОС «датчик – реєстратор»» вікна. Для масштабування задаються значення: вхідних сигналів X_{min} і X_{max} (відповідно початок і кінець шкали); вихідних сигналів Y_{min} і Y_{max} (відповідно початок і кінець шкали). Для фільтрації задаються значення: стала часу фільтру T_f ; період квантування (період скану ПЛК) T_0 . В якості фільтру використовується фільтр низьких частот (ФНЧ). ФНЧ практично не пригнічує амплітуду вхідних низькочастотних сигналів («пропускає» із входу на вихід низькі частоти) і суттєво (на порядки) пригнічує амплітуду вхідних високочастотних сигналів («не пропускає» із входу на вихід високі частоти).

Дії користувача на функціональному вікні M1.VisLoop (рис. 3.4)

1. Повернення (кнопка «M0.Home») на стартове вікно M0.Home.
2. Дозволити (кнопка «Дозволити / Заборонити») виконання робочої функції M1.FunLoop в функціональному мікроядрі M0.Engine (в

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						139
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головній функції модуля «Метрологія»). Реалізується через EN/ENO функціональних блоків.

3. Запустити (кнопка «Запустити / Зупинити») виконання робочої функції M1.FunLoop. Реалізується через Set/Reset функціональних блоків.
4. Контроль параметрів алгоритму ПОС «датчик – регулятор». Використовуються пени тренду і текстові поля «тільки читання»: Signal – поточне значення сигналу від джерела сигналу (від сенсору або від імітатора); Linear – лінеаризований сигнал; Scale – масштабований (приведений до шкали) сигнал; Alarm – алармований сигнал (аларми – не значення сигналу, а нештатні події).

Дії користувача на функціональному вікні M2.VisRegister (рис. 3.5)

1. Повернення (кнопка «M0.Home») на стартове вікно M0.Home.
2. Дозволити (кнопка «Дозволити / Заборонити») виконання робочої функції M2.FunRegister в функціональному мікроядрі M0.Engine (в головній функції модуля «Метрологія»). Реалізується через EN/ENO функціональних блоків.
3. Запустити (кнопка «Запустити / Зупинити») виконання робочої функції M2.FunRegister. Реалізується через Set/Reset функціональних блоків.
4. Контроль параметрів алгоритму ПОС «датчик – реєстратор». Використовуються пени тренду і текстові поля «тільки читання»: Signal – поточне значення сигналу від джерела сигналу (від сенсору або від імітатора); Linear – лінеаризований сигнал; Scale – масштабований (приведений до шкали) сигнал; Filter – фільтрований сигнал.

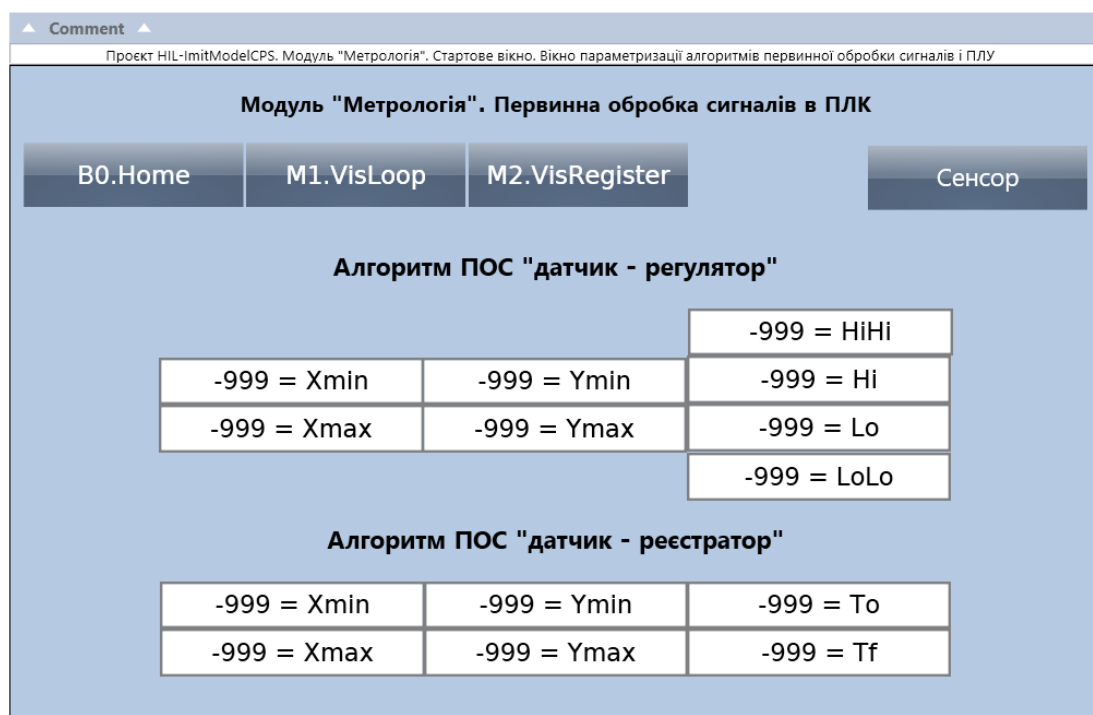


Рисунок 3.3 – Програмний модуль «Метрологія». Стартове вікно M0.Home

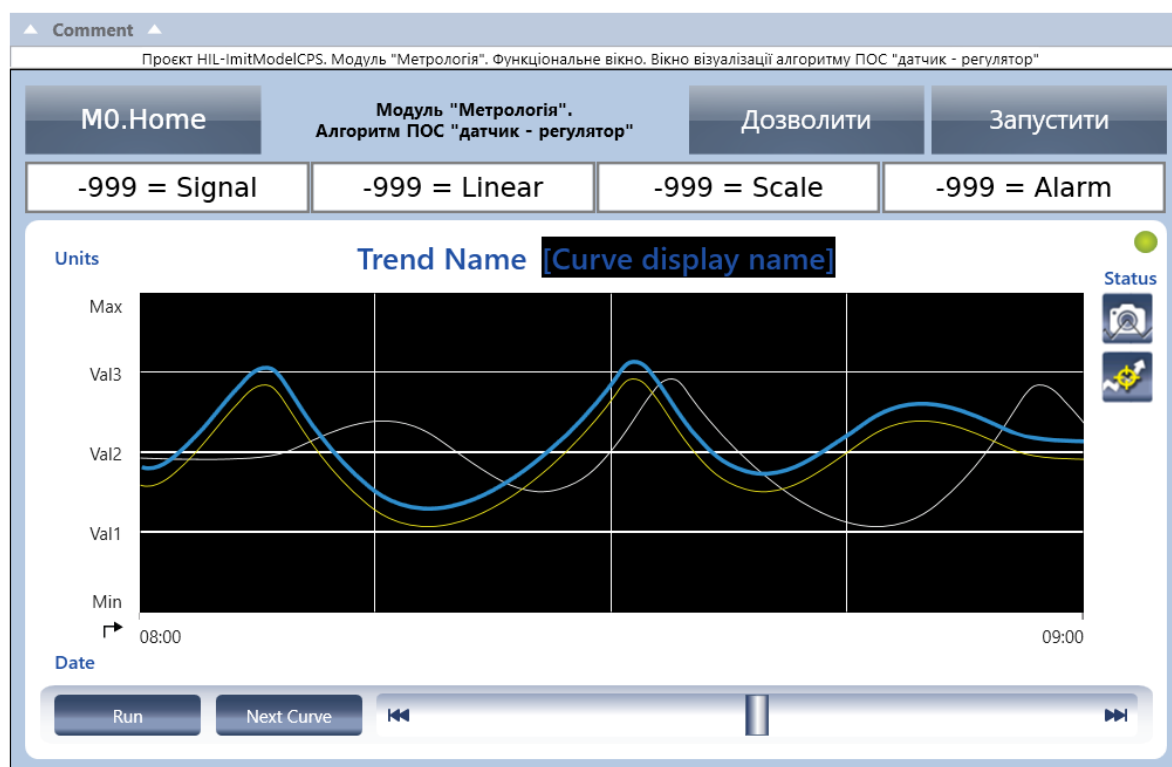


Рисунок 3.4 – Програмний модуль «Метрологія». Функціональне вікно M1.VisLoop. Візуалізація алгоритму ПОС «датчик – регулятор»

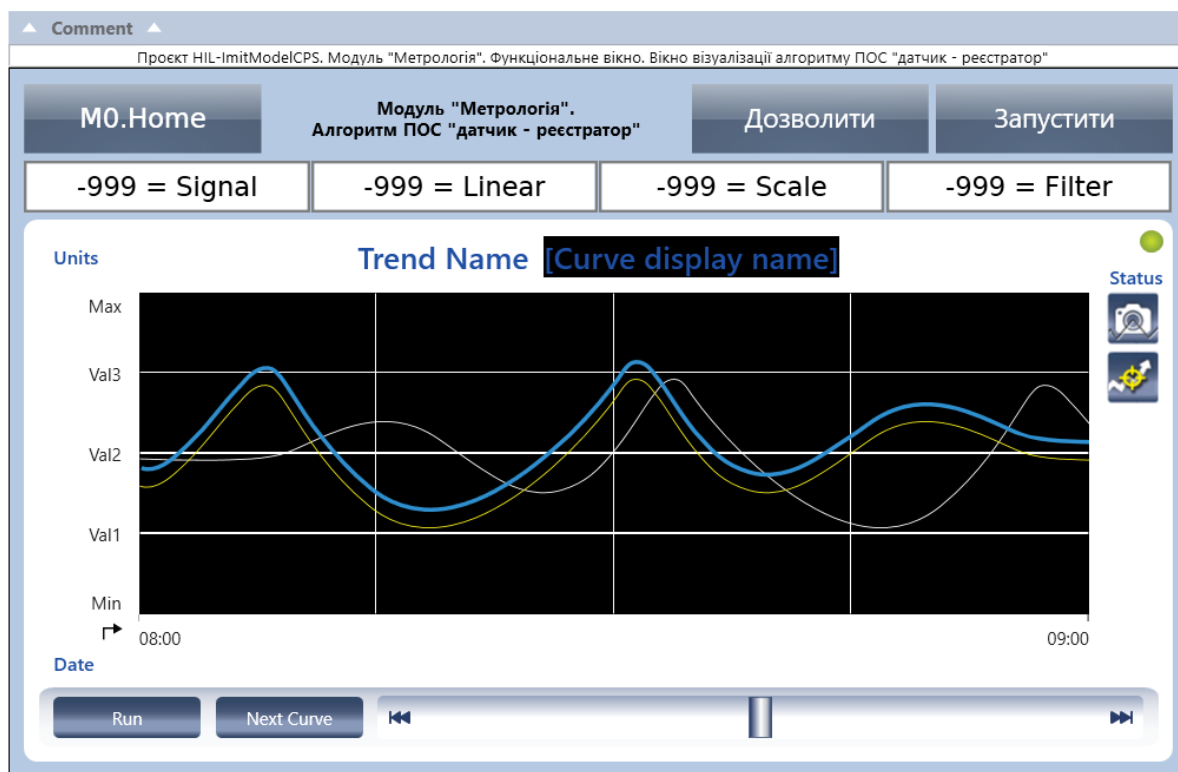


Рисунок 3.5 – Програмний модуль «Метрологія». Функціональне вікно M2.VisRegister. Візуалізація алгоритму ПОС «датчик – реєстратор»

РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНА ЛАБОРАТОРНА РОБОТА НА ПОЛІГОНІ ІМІТАЦІЙНОГО HiL-МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ІВС

Комплексна лабораторна робота (КЛР) на полігоні імітаційного моделювання теплоенергетичних ІВС – комп’ютеризована лабораторна робота з використанням ПЛК Unitronics OPLC UniStream.

Полігон імітаційного моделювання теплоенергетичних ІВС підтримує виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інформаційно-вимірювальні системи».

Порядок виконання лабораторних робіт і порядок звітності визначається робочим зошитом до посібника з імітаційного моделювання теплоенергетичних ІВС.

Перспективність використання полігону імітаційного моделювання теплоенергетичних ІВС в навчальному процесі полягає в тому, що він дає можливість:

- дослідити і вивчити фізичну реалізацію двопровідникового підключення уніфікованого сигналу постійного струму 4-20 мА і чотирипровідникового підключення уніфікованого сигналу напруги 0-10 В;
- дослідити і вивчити статичні характеристики температурних датчиків;
- дослідити і вивчити універсальний алгоритм первинної обробки сигналів (ПОС) в ПЛК.

Склад КЛР на полігоні імітаційного HiL-моделювання теплоенергетичних ІВС

1. Лабораторна робота №1.

Дослідження схем електричних підключення природних сигналів до ПЛК.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		143

2. Лабораторна робота №2.

Дослідження схем електричних підключення уніфікованих сигналів до ПЛК.

3. Лабораторна робота №3.

Дослідження номінальних статичних характеристик теплоенергетичних давачів.

4. Лабораторна робота №4.

Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – регулятор».

5. Лабораторна робота №5.

Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – реєстратор».

4.1 Перелік завдань до лабораторної роботи №1 «Дослідження схем електричних підключення природних сигналів до ПЛК»

Дослідження виконувати у порядку, викладеному в робочому зошиті. Результати роботи і дослідження занести у робочий зошит. Відповіді на контрольні питання надати в робочому зошиті.

1. Підключити міст опорів до ПЛК. Дослідити схеми підключення і показання. Відредагувати робочий зошит.
2. Підключити джерело мілівольтів до ПЛК. Дослідити схеми підключення і показання. Відредагувати робочий зошит.

4.2 Перелік завдань до лабораторної роботи №2 «Дослідження схем електричних підключення уніфікованих сигналів до ПЛК»

Дослідження виконувати у порядку, викладеному в робочому зошиті. Результати роботи і дослідження занести у робочий зошит. Відповіді на контрольні питання надати в робочому зошиті.

1. Підключити уніфікований сигнал напруги 0-10 В до ПЛК. Дослідити схеми підключення і показання. Відредагувати робочий зошит.

2. Підключити уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА до ПЛК. Дослідити схеми підключення і показання. Відредагувати робочий зошит.

4.3 Перелік завдань до лабораторної роботи №3 «Дослідження номінальних статичних характеристик теплоенергетичних давачів»

Дослідження виконувати у порядку, викладеному в робочому зошиті. Результати роботи і дослідження занести у робочий зошит. Відповіді на контрольні питання надати в робочому зошиті.

1. Підключити міст опорів до ПЛК. Дослідити номінальну статичну характеристику термометрів опору. Відредагувати робочий зошит.
2. Підключити джерело мілівольтів до ПЛК. Дослідити номінальні статичні характеристики термоелектричних перетворювачів. Відредагувати робочий зошит.

4.4 Перелік завдань до лабораторної роботи №4 «Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – регулятор» (як послідовності алгоритмів «лінеаризація – масштабування – алармування»)»

Дослідження виконувати у порядку, викладеному в робочому зошиті. Результати роботи і дослідження занести у робочий зошит. Відповіді на контрольні питання надати в робочому зошиті.

1. Параметризувати алгоритм «лінеаризація». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.
2. Параметризувати алгоритм «масштабування». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.
3. Параметризувати алгоритм «алармування». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.

4.5 Перелік завдань до лабораторної роботи №5 «Дослідження універсального алгоритму ПОС «датчик – реєстратор» (як послідовності алгоритмів «лінеаризація – масштабування – фільтрація»)»

Дослідження виконувати у порядку, викладеному в робочому зошиті. Результати роботи і дослідження занести у робочий зошит. Відповіді на контрольні питання надати в робочому зошиті.

1. Параметризувати алгоритм «лінеаризація». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.
2. Параметризувати алгоритм «масштабування». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.
3. Параметризувати алгоритм «фільтрація». Дослідити ІВС. Відредагувати робочий зошит.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ПОЛІГОНОМ ІМІТАЦІЙНОГО НІЛ-МОДЕЛЮВАННЯ ІВС ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АТК

5.1 Охорона праці

Враховуючі той факт, що дана дипломна робота має суто теоретичний характер і виконувалась із використанням засобів обчислювальної техніки (ВДТ ПЕОМ), то у цьому розділі розглядаються питання, які пов'язані із забезпеченням комфортних і безпечних умов праці на робочих місцях користувачів ВДТ ПЕОМ під час роботи з полігоном імітаційного НІЛ-моделювання ІВС теплоенергетичних АТК.

В першу чергу, визначені основні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які виникають під час експлуатації комп'ютерних відеодисплейних терміналів (ВДТ), а також вплив цих факторів на користувачів ВДТ.

З урахуванням діючих вимог ДСанПіН 3.3.2-007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», та Положення «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» запропоновані необхідні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також визначенні основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

5.2 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи

Оскільки дана робота ґрунтується на наукових дослідженнях з використанням електронно-обчислювальних машин (ВДТ ПЕОМ), то основними небезпеками є можливі ураження електричним струмом при роботі з електрообладнанням та негативний вплив електромагнітного випромінювання від ВДТ ПЕОМ. Основні потенційні небезпеки та шкідливі виробничі фактори, що виникають при проведенні наукових досліджень:

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						147
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Небезпека ураження електричним струмом;
- Негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ;
- Недостатнє освітлення робочого місця;
- Підвищений рівень шуму;
- Несприятливі умови мікроклімату;
- Комплекс психофізіологічних факторів: фізичні та психологічні перевантаження;
- Можливість виникнення пожежі тощо.

5.3 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи

Електробезпека

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 основне електрообладнання у приміщенні науково-дослідної лабораторії за електрозахистом відноситься до I класу (крім ВДТ ПЕОМ – II клас), оскільки має робочу ізоляцію та використовує трьох контактну вилку, один із контактів якої підключається до затискача заземлення. Підключення електрообладнання до електромережі виконано у відповідності до вимог ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.21-98.

Приміщення нежарке і сухе і відноситься до категорії приміщень, без підвищеного ризику ураження персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не перевищує 35°C, відсутні хімічні впливи. агресивне середовище (ПУЕ-2017), відсутня можливість одночасного дотику до струмопровідних частин електрообладнання з одного боку та до металевих конструкцій будівлі і технологічного обладнання, що контактують із землею, з іншого боку.

Електроприлади живляться від 5-ти провідної трифазної мережі із заземленою нейтраллю з робочою напругою 220/380 В, частотою 50 Гц та системою захисного заземлення типу TN-S. Також для захисту ЕУ застосована запобіжна система максимального струмового захисту.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						148
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження значення напруги дотику і відповідного йому значення струму як при нормальному, так і при аварійному режимі роботи електрообладнання можливо додатково виконати повторне заземлення РЕ-провідника.

Виконаємо розрахунок електромережі на вимикаючу здатність автоматів максимального струмового захисту при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Розрахунок вимикаючої здатності автоматів максимального струмового захисту передбачає, в першу чергу, визначення величини струму К.З. при аварійній роботі електрообладнання (руйнування робочої ізоляції). Вихідні дані для розрахунку:

- а) $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – фазова напруга;
- б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній ($\rho = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$);
- в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 100 м;
- г) номінальний струм спрацьовування автомату максимального струмового захисту ($I_{\text{ном}}$) = 20 А.

Струм однофазного К.З. визначається за формулою:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Z_m}{3}} = \frac{220}{1,9 + 2,0 + 0,15} = 54,3 \text{ А}$$

де:

$R_{\phi} = 1,9 \text{ Ом}$ – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 2,0 \text{ Ом}$ – активний опір РЕ-провідника;

$\frac{Z_m}{3} = 0,15 \text{ Ом}$ – розрахунковий опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Для надійної роботи автомату максимального струмового захисту кратність струму однофазного короткого замикання стосовно номінального струму спрацьовування даного автомату повинна відповідати наступній умові.

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ном}}} > 1,4$$

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						149
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{к.з.}$ – струм короткого замикання (54,3 А); $I_{ном.}$ – номінальний струм спрацювання автомату максимального струмового захисту (20 А).

У нашому випадку:

$$K_M > 2,715$$

Як бачимо, дана вимога виконується.

Максимальне значення напруги на корпусах ЕУ щодо землі при однофазних К.З. буде складати :

$$U_{max} = I_{к.з.} \cdot R_0 = 54,3 \cdot 2,0 = 108,6 \text{ В}$$

Ця напруга менша $U_{доп} = 500 \text{ В}$ ($t_{дії} < 0,1 \text{ сек}$) згідно з ПУЕ-2017 (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Допустимі значення напруг на корпусах ЕУ в залежності від часу спрацювання захисних пристроїв (ПУЕ-2017)

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	> 1 сек. до 5 сек.
$U_{доп}$ (В)	500	400	200	130	100	65

5.4 Ергономічні та гігієнічні вимоги і правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин

Правила безпеки при експлуатації комп'ютерного ВДТ ЕОМ регламентуються ДСанПіН 3.3.2.007–98 та чинним нормативним документом «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Користувачі та працівники, які обслуговують, ремонтують і налагоджують комп'ютери, а також ті, хто працює з комп'ютерами, повинні враховувати положення міжнародних норм. Законодавчі акти з цих питань (Директиви Ради Європейського Союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, МРПІІ).

5.5 Вимоги щодо організації робочих місць користувачів ЕОМ

Облаштування робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно виконуватись з урахуванням вимог:

- ДСТУ ISO 9241-3-2001_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 3. Вимоги до відеотерміналів (ISO 9241-31992, IDT);
- ДСТУ ISO 9241-62004_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища;
- ДСанПін 3.3.2.007-98_Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин;
- Положення «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Відповідно до «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» площа майданчика розраховується не менше 6 м^2 на одне робоче місце, об'єм має бути не менше 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості людей, які одночасно працюють в одну зміну. Ділянка являє собою кімнату розміром $6 \times 6 \text{ м}$, висотою 4 м і шириною дверного отвору $1,5 \text{ м}$.

Площа й об'єм приміщення знаходимо по формулах:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a – довжина, b – ширина, h – висота приміщення.

Підставляємо відомі значення та отримуємо наступне:

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2, V = 36 \cdot 4 = 144 \text{ м}^3$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 5.2.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						151
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Параметри приміщення

Назва характеристики	Нормативне	Фактичне
Площа приміщення з розрахунку на 1 чоловік	>6 м ²	36 м ²
Об'єм приміщення з розрахунку на 1 чоловік	>20 м ³	144 м ³
Висота приміщення	3,5 – 4 м	4 м
Розміри дверей	≥1,1x1.8м	1,5x2 м
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	≥1м	1,5 м

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що параметри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

За розміщенням робочих місць з ВДТ, ЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м.

Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран і клавіатуру ВДТ слід розташовувати на оптимальній відстані не більше 600 мм від очей користувача з урахуванням розміру буквено-цифрових символів і символів. Розташування екрана ВДТ повинно забезпечувати комфортне візуальне спостереження у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ до лінії зору оператора.

Усі перераховані вище вимоги виконуються на робочому місці, де проводилися дослідження.

5.6 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» приміщення з ЗОТ обладнуються системами опалення та кондиціонування з роздільним регулюванням температури та об'єму припливного повітря згідно ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Робота за ВДТ ПЕОМ виконується в положенні сидячи і не вимагає фізичних рухів. Таким чином, їх можна віднести до категорії Іа, яка включає діяльність із споживанням енергії до 120 ккал/год.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату виробничих приміщень» регламентованими параметрами мікроклімату є: температура повітря (t , $^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість (W , %), швидкість руху повітря (V , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$). Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для розглянутих умов (категорія робіт і сезон) наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Параметри мікроклімату

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t , $^{\circ}\text{C}$	W , %	V , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	t , $^{\circ}\text{C}$	W , %	V , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

5.7 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин

Приміщення з комп'ютерною технікою потребують природного та штучного освітлення згідно з ДБН В 2.5-28-2018. Природне світло повинно мати коефіцієнт природного освітлення не менше 1,5%. Для регулювання рівня освітленості робочих місць приміщення з ВДТ та ЕОМ повинні бути обладнані жалюзі, шторами та зовнішніми екранами. Штучне освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп ЛБ-40.

Всі вимоги до освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ виконуються.

5.8 Виробничий шум

Допустимий рівень шуму на робочих місцях визначається згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

У таблиці 5.4 наведені допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку в залежності від характеру виконуваної роботи.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньо геометричними значеннями									Допустимий рівень звуку (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер лабораторія	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в робочому приміщенні, є вентилятори охолодження (вентилятор блоку живлення, кулер процесора, відеокарти) і кондиціонер внутрішньої системи комп'ютера.

Очікувані рівні звуку, що відповідають шумовим характеристикам цих джерел:

- Рівень звуку, створюваного внутрішніми елементами комп'ютера, становить 35 дБА;
- рівень звуку системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБА.

Ці рівні звуку не перевищують допустимих норм, а акустичні умови у робочому приміщенні повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

5.9 Пожежна безпека та профілактика

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою» робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В за вибухопожежною небезпекою. Відповідно до ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії за пожежонебезпекою – П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

- ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.;
- строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях;
- відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане автоматичною системою пожежної сигналізації до складу якої входить чотири димових датчиків типу СПД (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м²), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБН В.2.5-56-2014. Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007 для гасіння пожежі в лабораторних приміщеннях (клас пожежі «Е» – наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ВВБ-3. При виборі засобів пожежогасіння враховується, що електрообладнання під напругою може спалахнути.

Тому кількість, розміщення та вміст первинних засобів пожежогасіння повністю відповідають усім вимогам ISO 3941-2007.

Виконано всі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 щодо вогнестійкості будівлі, ширини шляхів евакуації та виходів з приміщень назовні. У таблиці 5.5 наведені значення основних параметрів шляхів евакуації.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						155
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5 – Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

Також є два пожежних гідранти та пісочниця в коридорі.

На роботі дотримувались усіх заходів пожежної безпеки згідно вимог НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки України».

РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

Було розроблено полігон імітаційного HIL-моделювання ІВС АТК.

Полігон імітаційного HIL-моделювання ІВС АТК має на меті тестування, валідацію та оптимізацію роботи цих комплексів. Використання HIL-моделювання дозволяє інтегрувати віртуальні моделі з реальними компонентами АТК, створюючи середовище для взаємодії між ними.

Полігон імітаційного HIL-моделювання використовується для перевірки працездатності системи та алгоритмів керування, а також для виявлення й відлагодження проблем і потенційних уразливостей. Він також дозволяє проводити реалістичні тести безпеки та досліджувати реакцію системи на різні збої та умови. HIL-моделювання також може бути використане для прогнозування роботи системи в майбутніх сценаріях.

Склад полігону імітаційного HIL-моделювання ІВС АТК:

1. Посібник «Порядок роботи з полігоном імітаційного HIL-моделювання теплоенергетичних ІВС» з результатами розрахунків, імітаційного функціонального і структурного моделювання універсальної каскадної ІВС;
2. Параметризовані моделі типових теплоенергетичних ІВС – файл проєкту функціонального моделювання універсальної теплоенергетичної ІВС в СКМ Matlab Simulink;
3. Сконфігурований програмно-технічний HIL-симулятор – папка проєкту Unitronics OPLC UniStream з структурним імітаційним моделюванням HMI/SCADA-функціональності універсальної теплоенергетичної ІВС.

Полігон імітаційного HIL-моделювання ІВС теплоенергетичних АТК
призначений для:

1. Використання в навчальному процесі кафедри АЕП;
2. Використання в якості програмно-технічного симулятора при проєктуванні, модернізації і тиражуванні теплоенергетичних АСУТП.

Інженерний розрахунок АСУТП – це спрощений (арифметичні дії) і комплексний (метрологічний розрахунок; розрахунок надійності; вибір РО; розрахунок і функціональне моделювання динаміки) швидкий формульний розрахунок основних показників роботоздатності САР в складі АСУТП, на основі якого приймаються рішення щодо експлуатації САР.

Інженерний розрахунок і моделювання показали, що розроблена каскадна САР температури повітря в приміщенні забезпечує високоточне вимірювання, високоточне і малочутливе до параметричних збурень регулювання.

Студенти при виконанні лабораторних робіт будуть орієнтуватись на виконаний інженерний розрахунок і моделювання розробленої каскадної САР температури повітря в приміщенні.

					ТА-91387.0005.001.АТХ.П	Арк.
						158
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		