

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Навчально-науковий центр заочної форми навчання  
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Вимірювальна система для контролю  
кліматичних параметрів теплиці  
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи МВТ<sub>ЗМ</sub>-20-1

Курило В.Г.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 152 Метрологія та  
інформаційно-вимірювальна техніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Метрологія та  
вимірювальна техніка  
( повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Козлов Ю.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Захаров І.П.  
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Метрологія та вимірювальна техніка  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Курилу Віталію Григоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вимірювальна система для контролю кліматичних параметрів теплиці

затверджена наказом університету від 23 жовтня 2021 р. № 161 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 06 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

1. Розмір теплиці 80x30 метрів, висота стелі – 5 м, кількість контейнерів – 75.

2. Перелік вимірюваних параметрів: температура повітря, температура ґрунту, температура повітря зовні теплиці, вологість повітря, вологість ґрунту, рівень CO<sub>2</sub>.  
Перераховані параметри повинні вимірюватися безперервно.

3. Передача вимірювальної інформації в комп'ютер.

4. Захищеність від вологого середовища.

5. Максимально допустима похибка вимірювання температури повітря, ґрунту – 1 %, вологості повітря, ґрунту – 2,5%, освітленості – 5%, рівня CO<sub>2</sub> – ±100 ‰.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

1. Постановка задачі.

2. Розробка структурної схеми.

3. Проектування функціональних блоків.

4. Програмне забезпечення.

5. Метрологічне забезпечення.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_

1. Вихідні дані. 2. Структурна схема ІВС.

3. Датчики температури. 4. Датчики вологості.

5. Датчик CO<sub>2</sub>. 6. Датчик освітленості.

7. Схема алгоритму функціонування ІВС.

8. Метрологічне забезпечення. 9. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та методів її вирішення	25.10.2021 – 31.10.2021	
2	Розробка загальної структури вимірювальної системи	01.11.2021 – 07.11.2021	
3	Вибір елементної бази та компонентів	08.11.2021 – 14.11.2021	
4	Розробка питань метрологічного забезпечення	15.11.2021 – 21.11.2021	
5	Написання пояснювальної записки	22.11.2021 – 28.11.2021	
6	Виконання графічної частини	29.11.2021 – 05.12.2021	
7	Представлення закінченої кваліфікаційної роботи на кафедрі	06.12.2021	

Дата видачі завдання 25 жовтня 2021 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Козлов Ю.В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи містить 70 сторінок, 29 рисунків, 10 таблиць, перелік посилань з 29 назв.

Мета роботи – розробити інформаційно-вимірювальну систему для контролю кліматичних параметрів тепличних приміщень.

Розроблено узагальнену структурну схему автоматизованої вимірювальної системи, здійснено вибір елементної бази, розроблено алгоритм функціонування системи. Вимірювальна система реалізована на базі персонального комп'ютера з використанням інтерфейсів RS-485, контролера та вимірювальних датчиків.

Виконано апріорний аналіз похибок вимірювання проектованої системи та розглянуті основні принципи поелементної перевірки.

Запропонована інформаційно-вимірювальна система може застосовуватись в промислових теплицях.

ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕПЛИЦЯ, КЛІМАТ, ВИМІРЮВАННЯ, ІНТЕРФЕЙС, ДАТЧИК, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, КОНТРОЛЕР, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, РІВЕНЬ CO<sub>2</sub>, ОСВІТЛЕНІСТЬ

## ABSTRACT

The explanatory note for the master's qualification work contains 70 pages, 29 figures, 10 tables, a list of references from 29 names.

The purpose of the work is to develop an information-measuring system to control the climatic parameters of greenhouses.

The generalized structural scheme of the automated measuring system is developed, the choice of element base is carried out, the algorithm of functioning of system is developed. The measuring system is implemented on the basis of a personal computer using RS-485 interfaces, controller and measuring sensors.

An a priori analysis of measurement errors of the designed system is performed and the basic principles of element-by-element verification are considered.

The proposed information and measurement system can be used in industrial greenhouses.

MEASURING SYSTEM, AUTOMATION, GREENHOUSE, CLIMATE, MEASUREMENT, INTERFACE, SENSOR, SOFTWARE, CONTROLLER, TEMPERATURE, HUMIDITY, CO<sub>2</sub> LEVEL, LUMINOSITY

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП .....	10
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	12
1.1 Вимоги до вимірювальної системи .....	12
1.2 Вибір і обґрунтування методів, які будемо застосовувати.....	13
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	15
2.1 Типова схема автоматизованого вимірювального експерименту .....	15
2.2 Структурна схема вимірювальної системи .....	17
2.3 Інтерфейс RS-485 .....	19
3 ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ .....	27
3.1 Датчики температури.....	27
3.1.1 Види датчиків за принципом дії .....	27
3.1.2 Датчик температури повітря.....	31
3.1.3 Датчик температури ґрунту .....	33
3.2 Датчики вологості .....	35
3.2.1 Класифікація гігрометрів за принципом роботи.....	36
3.2.2 Датчик вологості повітря .....	40
3.2.3 Датчик вологості ґрунту.....	41
3.3 Датчики CO <sub>2</sub> .....	42
3.3.1 Види газоаналізаторів .....	43
3.3.2 Датчик вимірювання вмісту CO <sub>2</sub> .....	47
3.4 Датчик освітленості .....	49
3.5 Контролер.....	50
4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	53
4.1 Програмний пакет TechnologSoft .....	53
4.2 Алгоритм функціонування .....	55
5 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	58

5.1 Априорний аналіз похибок.....	59
5.2 Методи повірки .....	60
5.2.1 Комплектна та поелементна повірка.....	60
5.2.2 Вимірювачі температури повітря, ґрунту.....	64
5.2.3 Вимірювач вологості повітря.....	64
5.2.4 Вимірювач вологості ґрунту .....	64
5.2.5 Вимірювач вмісту CO <sub>2</sub> .....	64
5.2.6 Вимірювач освітленості.....	64
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	66
ДОДАТОК А. Відомість кваліфікаційної роботи.....	70

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АБС пластик – Акрилонитрилбутадиенстирол, ударостійка технічна термопластична смола на основі сополімера акрилонітрилу з бутадієном і стиролом;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач - пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал);

ВК – вимірювальний канал;

ВТ – вимірювальна техніка;

ГОСТ – міждержавний стандарт;

ДСТУ – національний стандарт України;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

ІВС – інформаційно-вимірювальна система;

МЗ – метрологічне забезпечення;

МХ – метрологічні характеристики;

НСХ – номінальна статична характеристика;

ПМЗ – програмно-математичне забезпечення;

Ступінь захисту IP – Система IP (Ingress Protection) встановлює ступінь захисту від проникнення сторонніх предметів, пилу та вологи;

ТО – термометр опору;

ТОМ – термометр опору мідний;

ЧЕ – чутливий елемент;

GSM – (англ. *Groupe Spécial Mobile*) міжнародний стандарт для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим ключем;

RS-232 – (англ. *Recommended Standard 232*), стандарт інтерфейсу обміну даними між пристроєм передачі інформації (модемом) і комп'ютером

шляхом послідовної передачі даних (асинхронний зв'язок), знаходить використання у послідовних портах комп'ютерів та інших пристроїв;

RS-485 – (англ. *Recommended Standard 485*), стандарт фізичного рівня для асинхронного інтерфейсу;

SMS – (англ. *Short Messaging Service*) технологія, що дозволяє здійснювати прийом і передачу коротких текстових повідомлень стільниковим телефоном;

TFT – (англ. *thin film transistor*) тип рідкокристалічного дисплея, заснований на активній матриці, керованій тонкоплівковими транзисторами;

USB – (англ. *Universal Serial Bus*) універсальна послідовна шина, призначена для з'єднання периферійних пристроїв;

ZigBee – бездротовий стандарт передачі даних. Підтримується і розвивається однойменним альянсом ZigBee™.

## ВСТУП

Теплична індустрія стала одним із найбільш перспективних напрямків сільського господарства. «Стале виробництво, безпека харчових продуктів, споживання місцевої продукції – ці тенденції стимулюють зростання інтересу до виробництва фруктів і овочів у теплицях. Все більше країн шукають інноваційні та надійні рішення в таких питаннях, як виробництво продуктів харчування, ощадливе використання джерел енергії та води. Значення цих рішень постійно зростає разом зі збільшенням чисельності населення у світі, особливо в містах. В Україні теплична індустрія стала одним з найбільш перспективних напрямків сільського господарства», – наголосив радник з питань сільського господарства Посольства Королівства Нідерландів в Україні Еверт Ян Краенбрінк під час Міжнародної виставки «Тепличне господарство 2013». Своєю чергою, президент асоціації «Теплиці України» Євгеній Чернишенко повідомив, що на сьогодні промислові теплиці України становлять близько 300 га овочів під склом. «Основним фактором виживання тепличних господарств є заходи зі зниження затрат енергоносіїв і будівництво нових комплексів з застосуванням енергозберігаючих технологій», – зазначив він.

Сучасна автоматика для теплиці являє собою складну систему з безліччю обладнання, що відслідковує параметри мікроклімату, а також виконує управління різними технологічними процесами, необхідними для повноцінної і ефективної діяльності подібного виробництва. Як правило, обладнання для теплиць управляється з єдиного центру, а зв'язок з пристроями автоматизації процесів здійснюється за допомогою кабельних або бездротових ліній. Завдяки подібній автоматичній в теплицях в потрібний час і на необхідний період відкриваються фрамуги, включається вентиляційна система, зволожувачі повітря, освітлення та система поливу, а також виконуються інші, не менш складні і не менш важливі завдання.

Правильно вибрана технологія підтримки мікроклімату – одна з найважливіших складових, що дозволяють підвищити врожайність, зменшити трудові затрати та затрати на енергоресурси. Сучасна автоматизована система управління мікрокліматом вирішує поставлені задачі, що дозволяє істотно зменшити собівартість виробленої продукції. Для її правильної роботи потрібна добре організована вимірювальна система параметрів мікроклімату в приміщеннях теплиць. Основними параметрами які необхідно контролювати є температура повітря, ґрунту; вологість повітря та ґрунту; рівень вуглекислого газу; освітленість.

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Вимоги до вимірювальної системи

Вимірювальна система для контролю кліматичних параметрів тепличних приміщень повинна вичерпно визначати стан середовища в теплиці для вирощування полуниць. В приміщенні встановлена система вентиляції, яка керує температурою повітря, вологістю повітря, та вмістом CO<sub>2</sub>. Встановлена система поливу у вигляді дренажу, яка впливає на вологість та температуру ґрунту. Система освітлення підтримує заданий час світлового дня. Ці системи керуються з центрального пункту управління. Вони мають внутрішні датчики параметрів, наприклад датчики рівня та температури в резервуарах води для поливу, але в даній роботі не розглядаються. Розмір теплиці 80х30 метрів, висота стелі – 5 м. Полуниця вирощується в підвішених до стелі, на висоті 1,5 м контейнерах-грядках. Відстань між контейнерами – 1 м. Кількість контейнерів – 75.

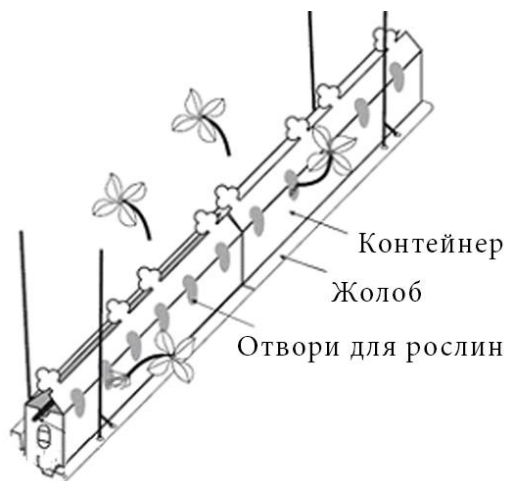


Рисунок 1.1 – Контейнер з рослинами

Перелік вимірюваних параметрів:

- температура повітря;

- температура ґрунту;
- температура повітря зовні теплиці;
- вологість повітря;
- вологість ґрунту;
- рівень CO<sub>2</sub>;
- освітленість.

Перераховані параметри повинні вимірюватися безперервно для підтримки правильної роботи систем управління теплицею. Вся вимірювальна інформація передається на ЕОМ, де обробляється.

Датчики повинні мати захищеність від вологого середовища.

Для ведення технологічного процесу основна похибка вимірювання параметрів не повинна перевищувати: для температури повітря, ґрунту – 1%, вологості повітря, ґрунту – 2,5%, освітленості – 5%, рівня CO<sub>2</sub> –  $\pm 100$  ‰.

## 1.2 Вибір і обґрунтування методів, які будемо застосовувати

Для виконання поставленої задачі створимо систему з вимірювальних датчиків вологості, температури, освітленості, та рівня CO<sub>2</sub>, що будуть передавати вимірювальний сигнал на блок комутації, а він в свою чергу на ЕОМ та систему контролю. Програмне забезпечення ЕОМ виконуватиме функції відображення трендів зміни вимірюваних параметрів, фіксації виходу параметрів за межі заданих допусків, ведення статистики, архівації даних та ін.

Кількість датчиків обираю таким чином щоб мати інформацію про загальний стан параметрів. Виходячи з цього, враховуючи розміри теплиці, розраховано наступну кількість датчиків для кожного з параметрів:

– кількість датчиків температури повітря – 2. Датчики розташовують рівномірно в центральній частині теплиці на висоті 2 м під непрозорим білим ковпаком, таким чином щоб на них не потрапляли сонячні промені;

– кількість датчиків температури ґрунту – 5. Датчики розташовуються в кожному п'ятнадцятому контейнері;

– кількість датчиків температури повітря зовні теплиці – 2. Датчики розташовують під непрозорим білим ковпаком, таким чином щоб на них не потрапляли сонячні промені. Один датчик робочий, другий резервний;

– кількість датчиків вологості повітря – 2. Датчики розташовують в центральній частині теплиці на висоті 2 м під непрозорим білим ковпаком, разом з датчиками температури;

– кількість датчиків вологості ґрунту – 5. Датчик вологості ґрунту встановлюється в центральній частині кожного п'ятнадцятого контейнера;

– кількість датчиків рівня CO<sub>2</sub> – 2. Розташовуються разом з датчиками температури та вологості;

– кількість датчиків освітленості – 2. Розташовуються в центральній частині теплиці, на висоті 1,7 м.

Сильна розбіжність в показаннях датчиків з однієї групи розпізнається системою як поломка. Архітектура розроблюваної системи матиме два рівні: нижній – підсистема вимірювання та передачі (датчики та Контролер), та верхній – пост оператора (персональний комп'ютер з програмним забезпеченням). Зв'язок між рівнями забезпечуватиметься інтерфейсом RS-485.

Головним параметром при виборі датчиків виступає вологозахищеність.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

### 2.1 Типова схема автоматизованого вимірювального експерименту

Ефективне застосування засобів вимірювання в сучасному промисловому виробництві, їхнє метрологічне обслуговування можливі за умови автоматизації вимірювань і функціонального контролю. Тільки на цьому шляху можна домогтися істотного зниження трудомісткості вимірювань, підвищення продуктивності праці при проведенні вимірювань, у тому числі при проведенні метрологічних досліджень і в повірочних роботах.

Автоматизація – один з магістральних напрямів підвищення ефективності метрологічних робіт, покликаний забезпечити високі темпи науково-технічного прогресу в приладобудуванні та машинобудуванні за рахунок:

- підвищення якості досліджень на основі уточнення моделей досліджуваних об'єктів, явищ, процесів;
- одержання більш повних даних про досліджувані засоби вимірювань;
- скорочення строків метрологічних досліджень і зниження витрат на основі зменшення трудомісткості вимірювань, прискорення експериментів, зменшення помилок;
- оптимізації вимірювального експерименту, підвищення точності вимірювань.

Типова схема автоматизованого вимірювального експерименту наведена на рис. 2.1.

Канал вимірювання включає набір датчиків, необхідних для перетворення вимірюваних фізичних величин в електричні сигнали, комутатор, що дозволяє підключати потрібний аналоговий сигнал до входу АЦП, сам аналого-цифровий перетворювач, що виконує перетворення аналогового сигналу в цифровий двійковий код [1].

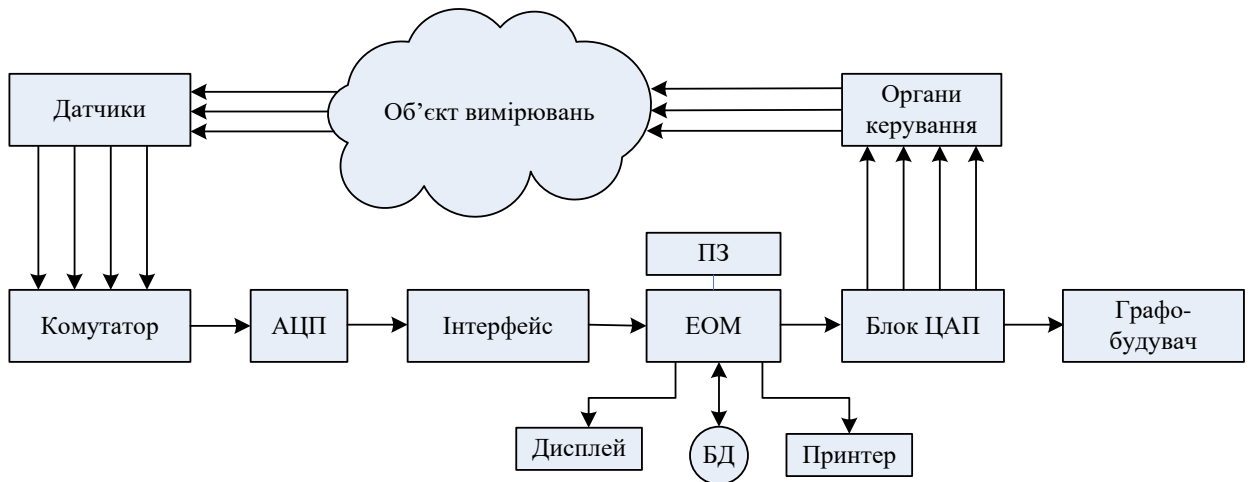


Рисунок 2.1 – Типова схема автоматизованого вимірювального експерименту

Інтерфейс служить для сполучення вимірювальної частини системи з керуючою ЕОМ і реалізує функції обміну інформацією в інформаційно-вимірювальній системі (ІВС).

Канал керування дозволяє активно впливати на об'єкт (мінати температурний режим, деформувати і т.п.), стежачи одночасно за реакцією на цей вплив. Така можливість значно збагачує вимірювальний експеримент.

Наявність ЕОМ в експерименті при відповідному математичному забезпеченні дозволяє проводити ще й обчислювальний експеримент, тобто використовувати імітаційне моделювання замість натурного.

За функціональним призначенням розроблювана система вимірювання відноситься до вимірювальних ІВС та ІВС автоматичного контролю, бо призначені для встановлення відповідності між станом об'єкта контролю і заданою нормою.

Найбільш перспективним методом проектування ІВС на сьогоднішній день є принцип агрегатно-модульної побудови різних систем з порівняно обмеженого набору уніфікованих вузлів, що випускаються промисловістю. Агрегатно-модульний принцип побудови ІВС передбачає застосування стандартних інтерфейсів, під якими розуміють як сукупність правил,

протоколів і програмного забезпечення процесу обміну інформацією, так і технічні засоби сполучення модулів у системі.

Залежно від способу організації передачі інформації між функціональними вузлами, що є приймачами і передавачами інформації, розрізняють три типи структури:

- а) послідовну (ланцюжкову);
- б) радіальну;
- в) магістральну структуру.

## 2.2 Структурна схема вимірювальної системи

Вимірювальна схема ІВС для теплиці складена по принципу магістрально-радіальної схеми. Кожна група датчиків з'єднується зі своєю магістраллю. Магістралі з'єднані з контролером радіальною схемою. Достоїнства такої структури: можливість розширення вимірюваної системи шляхом збільшення кількості датчиків.

Структурна схема вимірювальної системи зображена на рисунку 2.2.

Структурна схема контрольно-вимірювальної системи для теплиць містить датчики температури, вологості, освітленості та вмісту CO<sub>2</sub>, контролер та ЕОМ. Всі зв'язки реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Канал вимірювання включає набір датчиків, необхідних для перетворення вимірюваних фізичних величин в електричні сигнали, в кожному датчику вбудований аналого-цифровий перетворювач, що виконує перетворення аналогового сигналу в цифровий двійковий код, що передається через інтерфейс RS-485 до контролера.

Контролер служить для сполучення вимірювальної частини системи з керуючою ЕОМ і реалізує функції: обміну інформацією, діагностики роботи датчиків, аварійної сигналізації відхилень вимірюваних параметрів.

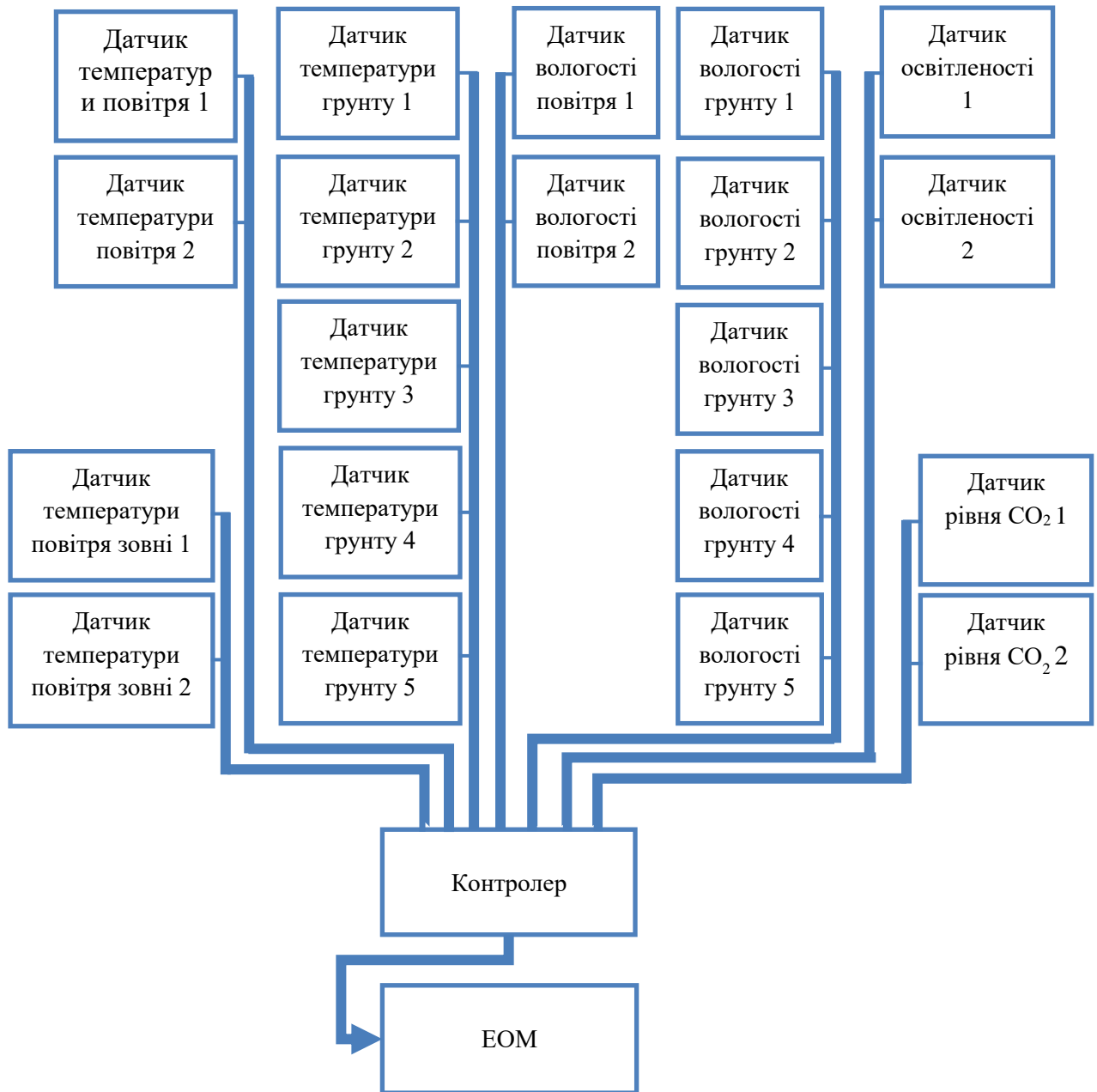


Рисунок 2.2 – Структурна схема автоматизованої вимірювальної системи

За допомогою ЕОМ здійснюється управління процесом збору первинної вимірювальної інформації шляхом подачі відповідних команд на контролер, обробка первинної вимірювальної інформації, моніторинг та управління приладами в режимі реального часу, архівування даних і генерація звітів, графіків, таблиць та ін.

Блоки управління та впливу на ті чи інші параметри в схему не включені та в даній роботі не розглядаються.

### 2.3 Інтерфейс RS-485

Стандарт RS-485 був спільно розроблений двома асоціаціями виробників: Асоціацією електронної промисловості (EIA – Electronics Industries Association) і Асоціацією промисловості засобів зв'язку (TIA – Telecommunications Industry Association). EIA колись маркувала всі свої стандарти префіксом «RS» (рекомендований стандарт). Багато інженерів продовжують використовувати це позначення, однак EIA/TIA офіційно замінив «RS» на «EIA/TIA» з метою полегшити ідентифікацію походження своїх стандартів. На сьогоднішній день, різні розширення стандарту RS-485 охоплюють широке коло додатків.

Інтерфейс RS-485 – один з найпоширеніших стандартів фізичного рівня зв'язку моделі взаємодії відкритих систем OSI.

Мережа, побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою приймачі-передавачі, з'єднані за допомогою скрученої пари – двох скручених проводів. В основі інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної (балансової) передачі даних. Суть його полягає в передачі одного сигналу по двох проводах. Причому по одному провіднику (умовно А) іде оригінальний сигнал, а по іншому (умовно В) – його інверсна копія. Інакше кажучи, якщо на одному проводі "1", то на іншому "0" і навпаки. Таким чином, між двома проводами скрученої пари завжди є різниця потенціалів: при "1" вона позитивна, при "0" – негативна.

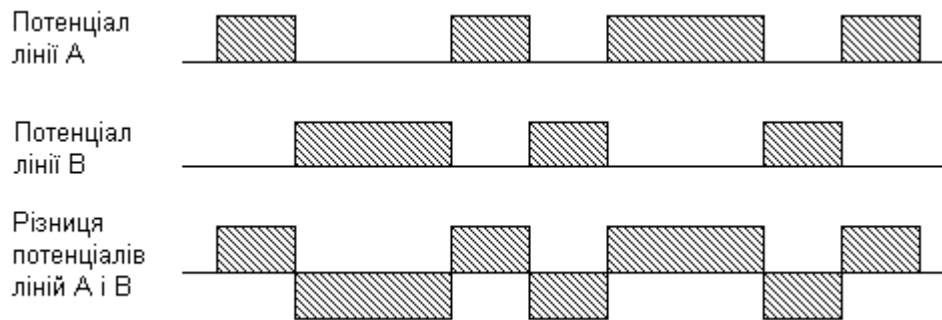


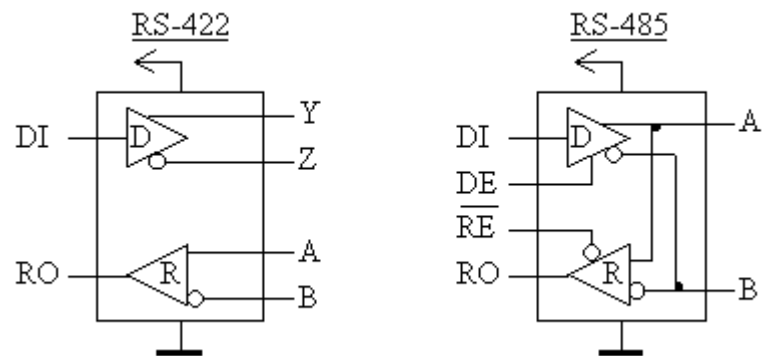
Рисунок 2.3 – Сигнали на лініях інтерфейсу RS-485

Саме цією різницею потенціалів і передається сигнал. Такий спосіб передачі забезпечує високу стійкість до синфазної завади. Синфазною називають заваду, що діє на обидва проводи лінії однаково. Приміром, електромагнітна хвиля, проходячи через ділянку лінії зв'язку, наводить в обох проводах потенціал. Якщо сигнал передається потенціалом в одному проводі відносно загального, як в RS-232, то наведення на цей провід може спотворити сигнал відносно добре поглинаючого наведення загального («землі»). Крім того, на опорі довгого загального проводу буде падати різниця потенціалів земель – додаткове джерело спотворень. А при диференціальній передачі спотворення не відбувається. Справді, якщо два проводи пролягають близько один до одного, так ще скручені, то наведення на обидва проводи однакові. Потенціал в обох однаково навантажених проводах змінюється однаково, при цьому інформативна різниця потенціалів залишається без змін.

Апаратна реалізація інтерфейсу – мікросхеми приймачів-передавачів з диференціальними входами/виходами (до лінії) і цифровими портами (до портів UART контролера). Існують два варіанти такого інтерфейсу: RS-422 і RS-485.

RS-422 – повнодуплексний інтерфейс. Приймання і передавання йдуть по двох окремих парах проводів. На кожній парі проводів може бути тільки по одному передавачі.

RS-485 – напівдуплексний інтерфейс. Приймання і передавання йдуть по одній парі проводів з розділенням у часі. У мережі може бути багато передавачів, тому що вони можуть відключатися в режимі прийому.



D (driver) – передавач;  
 R (receiver) – приймач;  
 DI (driver input) – цифровий вхід передавача;  
 RO (receiver output) – цифровий вихід приймача;  
 DE (driver enable) – дозвіл роботи передавача;  
 RE (receiver enable) – дозвіл роботи приймача;  
 A – прямий диференціальний вхід/вихід;  
 B – інверсний диференціальний вхід/вихід;  
 Y – прямий диференціальний вихід (RS-422);  
 Z – інверсний диференціальний вихід (RS-422).

Рисунок 2.4 – Приймачі-передавачі інтерфейсів RS-422 і RS-485

Зупинимося детальніше на приймачі-передавачі RS-485. Цифровий вихід приймача (RO) підключається до порту приймача UART (RX), а цифровий вхід передавача (DI) до порту передавача UART (TX). Оскільки на диференціальній стороні приймач і передавач з'єднані, то під час приймання потрібно відключати передавач, а під час передавання – приймач. Для цього служать керуючі входи – дозвіл приймача (RE) і дозвіл передавача (DE). Оскільки вхід RE інверсний, те його можна з'єднати з DE і перемикати

приймач і передавач одним сигналом з будь-якого порту контролера. При рівні "0" – робота на приймання, при "1" – на передавання.

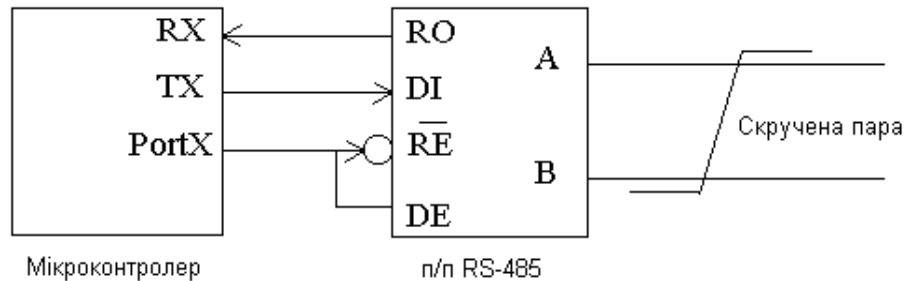


Рисунок 2.5 – Підключення приймача-передавача RS-485 до UART

Приймач, одержуючи на диференціальних входах (АВ) різницю потенціалів ( $U_{AB}$ ), переводить їх у цифровий сигнал на виході RO. Чутливість приймача може бути різною, але гарантований граничний діапазон розпізнавання сигналу виробники мікросхем приймачів-передавачів пишуть у документації. Зазвичай ці пороги становлять  $\pm 200$  мВ. Тобто, коли  $U_{AB} > +200$  мВ – приймач визначає "1", коли  $U_{AB} < -200$  мВ – приймач визначає "0". Якщо різниця потенціалів у лінії настільки мала, що не виходить за граничні значення – правильне розпізнавання сигналу не гарантується. Крім того, у лінії можуть бути і не синфазні завади, які спотворять настільки слабкий сигнал.

Всі пристрої підключаються до однієї скрученої пари однаково: прямі виходи (А) до одного проводу, інверсні (В) – до іншого.

Вхідний опір приймача з боку лінії ( $R_{AB}$ ) зазвичай становить 12 кОм. Оскільки потужність передавача не безмежна, це створює обмеження на кількість приймачів, підключених до лінії. Відповідно до специфікації RS-485 з урахуванням узгоджувальних резисторів передавач може вести до 32 приймачів. Однак є ряд мікросхем з підвищеним вхідним опором, що дозволяє підключити до лінії значно більше 32 пристроїв.

Максимальна швидкість зв'язку по специфікації RS-485 може досягати 10 Мбод/сек. Максимальна відстань – 1200 м. Якщо необхідно організувати зв'язок на відстані, більшій ніж 1200 м або підключити більше пристроїв, ніж допускає навантажувальна здатність передавача – застосовують спеціальні повторювачі (репітери).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики інтерфейсів RS-422 і RS-485

Стандартні параметри інтерфейсів	RS-422	RS-485
Припустиме число передавачів / приймачів	1/10	32/32
Максимальна довжина кабелю	1200 м	1200 м
Максимальна швидкість зв'язку	10 Мбіт/с	10 Мбіт/с
Діапазон напруг "1" передавача	+2...+10 В	+1.5...+6 В
Діапазон напруг "0" передавача	-2...-10 В	-1.5...-6 В
Діапазон синфазної напруги передавача	-3...+3 В	-1...+3 В
Припустимий діапазон напруг приймача	-7...+7 В	-7...+12 В
Граничний діапазон чутливості приймача	±200 мВ	±200 мВ
Максимальний струм короткого замикання передавача	150 мА	250 мА
Припустимий опір навантаження передавача	100 Ом	54 Ом
Вхідний опір приймача	4 кОм	12 кОм
Максимальний час наростання сигналу передавача	10% біта	30% біта

При великих відстанях між пристроями, зв'язаними по скрученій парі, і високих швидкостях передачі починають проявлятися так звані ефекти довгих ліній. Причина цьому – кінцева швидкість поширення електромагнітних хвиль у провідниках. Швидкість ця істотно менше швидкості світла у вакуумі й становить трохи більше 200 мм/нс. Електричний сигнал має також властивість відбиватися від відкритих кінців лінії передачі і її відгалужень. Для коротких ліній і малих швидкостей передачі цей процес відбувається так швидко, що залишається непоміченим. Однак, час реакції приймачів – десятки-сотні нс. У такому масштабі часу кілька десятків метрів електричний

сигнал проходить аж ніяк не миттєво. І якщо відстань досить велика, фронт сигналу, що відбився наприкінці лінії і повернувся назад, може спотворити поточний або наступний сигнал. У таких випадках потрібно якимось чином приглушувати ефект відбиття.

Електротехніка пропонує рішення цієї проблеми. У будь-якої лінії зв'язку є такий параметр, як хвильовий опір  $Z_v$ . Він залежить від характеристик використовуваного кабелю, але не від довжини. Для звичайно застосовуваних у лініях зв'язку скручених пар  $Z_v = 120$  Ом. Виявляється, що якщо на віддаленому кінці лінії між провідниками скрученої пари включити резистор з номіналом, що дорівнює хвильовому опорі лінії, то електромагнітна хвиля, яка дійшла до «тупика», поглинається на такому резисторі. Звідси його назва – резистор узгодження або «термінатор».

Великий мінус узгодження на резисторах – підвищене споживання струму від передавача, адже в лінію включається низькоомне навантаження. Тому рекомендується включати передавач тільки на час відправлення послідовки. Є способи зменшити споживання струму, включаючи послідовно з резистором узгодження конденсатор для розв'язки по постійному струму. Однак, такий спосіб має свої недоліки. Для коротких ліній (кілька десятків метрів) і низьких швидкостей (менше 38400 бод) узгодження можна взагалі не робити.

Ефект відбиття і необхідність правильного узгодження накладають обмеження на конфігурацію лінії зв'язку. Лінія зв'язку повинна являти собою один кабель скрученої пари, до якого приєднуються всі приймачі і передавачі. Відстань від лінії до мікросхем інтерфейсу RS-485 повинна бути як можна коротше, тому що довгі відгалуження вносять неузгодженість і викликають відбиття.

В обоє найбільш віддалені кінці кабелю ( $Z_v = 120$  Ом) включають резистори узгодження  $R_t$  по 120 Ом. Якщо в системі тільки один передавач і

він перебуває на кінці лінії, то досить одного резистора узгодження на протилежному кінці лінії.

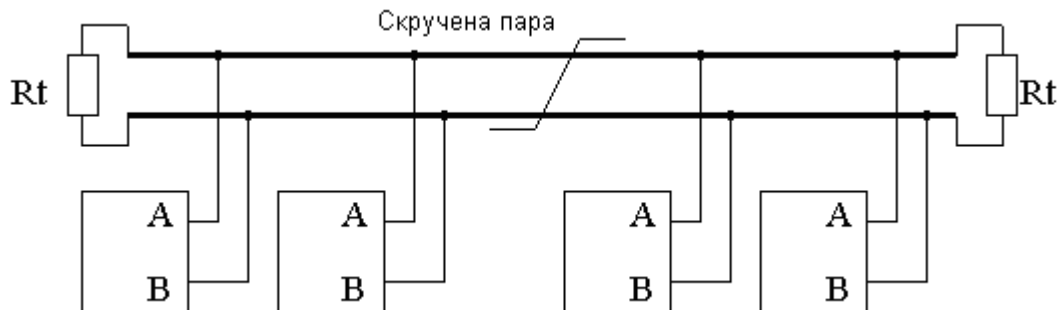


Рисунок 2.6 – Узгодження лінії зв'язку RS-485

На фізичному рівні лінія зв'язку готова до роботи, однак, потрібний ще й протокол – домовленість між пристроями системи про формат посилок.

По природі інтерфейсу RS-485 пристрої не можуть передавати одночасно – буде конфлікт передавачів. Отже, потрібно розподілити між пристроями право на передачу. Звідси основний розподіл: централізований обмін і децентралізований.

У централізованій мережі один пристрій завжди ведучий (master). Він генерує запити і команди іншим (веденим, slave) пристроям. Ведені пристрої можуть передавати тільки по команді ведучого. Як правило, обмін між веденими йде тільки через ведучого, хоча для прискорення обміну можна організувати передачу даних від одного веденого до іншого по команді ведучого.

У децентралізованій мережі роль ведучого може передаватися від пристрою до пристрою або за деяким алгоритмом черговості, або по команді поточного ведучого до наступного (передача маркера ведучого). При цьому ведений пристрій може у своїй відповіді ведучому передати запит на перехід у режим ведучого й очікувати дозволу або заборони.

Послідовний канал за мірками контролера – штука повільна. На швидкості 9600 бод передача одного символу займає більше мілісекунди. Тому, коли контролер щільно завантажений обчисленнями і не повинен їх зупиняти на час обміну по UART, потрібно використовувати переривання по завершенню прийому і передачі символу. Можна виділити місце в пам'яті для формування посилки на передачу й збереження прийнятої посилки (буфер посилки), а також покажчики на позицію поточного символу. Переривання по завершенню прийому або передачі символу викликають відповідні підпрограми, які передають або зберігають черговий символ зі зрушенням покажчика і перевіркою ознаки кінця повідомлення, після чого повертають керування основній програмі до наступного переривання. По завершенню відправлення або прийому всієї посилки або формується користувальницький прапор, що відпрацьовується в основному циклі програми, або відразу викликається підпрограма обробки повідомлення.

У загальному випадку посилка по послідовному каналу складається з керуючих байтів (синхронізації посилки, адрес відправника і одержувача, контрольної суми та ін.) і власне байтів даних.

Основне завдання в організації протоколу – змусити всі пристрої розрізняти керуючі байти і байти даних. Приміром, ведений пристрій, одержуючи по лінії потік байтів, повинен розуміти, де початок посилки, де кінець і кому вона адресована.

Протоколів існує безліч і можна придумати ще більше, але краще користуватися найбільш уживаними з них. Одним зі стандартних протоколів послідовної передачі є Modbus, його підтримку забезпечують багато виробників промислових контролерів.

## 3 ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ

### 3.1 Датчики температури

#### 3.1.1 Види датчиків за принципом дії

##### 3.1.1.1 Терморезистивні датчики

Терморезистивні термодатчики працюють по принципу зміни електричного опору (напівпровідника або провідника) при зміні температури. Розроблені вони були вперше для океанографічних досліджень. Основним елементом є терморезистор – елемент, який змінює свій опір залежно від температури навколишнього середовища. Безперечні переваги термодатчиків цього типу – це довготривала стабільність, висока чутливість, а також простота створення інтерфейсних схем [2].

На рис. 3.1 зображено датчик 702-101ВВВ-А00, діапазон вимірювання якого від  $-50$  до  $+130$  °С. Цей датчик відноситься до групи крем'яних резистивних датчиків і має мініатюрні розміри.

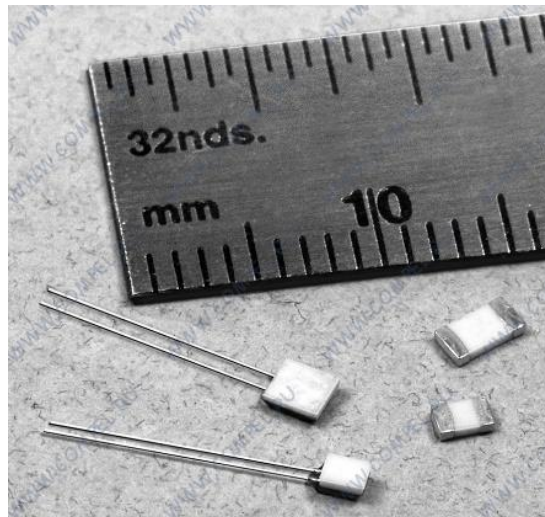


Рисунок 3.1 – Термодатчики 702-101ВВВ-А00

В залежності від матеріалів, використовуваних для виробництва терморезистивних датчиків, розрізняють:



використані будь які діоди або біполярні транзистори. Пропорційна залежність напруги на транзисторах від абсолютної температури (в Кельвінах) дає можливість реалізувати досить точний датчик.

Переваги таких датчиків – простота і низька вартість, лінійність характеристик, мала похибка. Крім того, ці датчики можна формувати прямо на крем'яній підкладці. Все це робить напівпровідникові датчики дуже поширеними.

### 3.1.1.3 Термоелектричні датчики (термопари)

Вони діють за принципом термоелектричного ефекту, тобто завдяки тому, що в будь-якому замкнутому контурі (з двох різнорідних напівпровідників або провідників) виникне електричний струм, у разі якщо місця спаїв відрізняються за температурою. Термопари – це відносні датчики і вихідна напруга буде залежати від різниці температур двох частин і майже не буде залежати від абсолютних їх значень. Виглядати термопара може так, як показано на рис. 3.3. Це термопара ДТПКХХ4, вона вимірює температуру в межах від  $-40$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ . Виробляє його російська компанія Овен.



Рисунок 3.3 – Термопара ДТПКХХ4

Діапазон вимірюваних з їх допомогою температур, від  $-200$  до  $+2200^{\circ}\text{C}$ , і прямо залежить від використовуваних в них матеріалів. Наприклад, термопари з неблагородних металів – до  $1100^{\circ}\text{C}$ . Термопари із благородних металів (платинова група) – від  $1100$  до  $1600$  градусів. Якщо необхідно провести вимірювання більш високих температур, використовуються жаростійкі сплави (основою служить вольфрам). Як правило

використовується в комплекті з мілівольтметром, а вільний кінець (конструктивно виведений на голівку) віддалений від вимірюваного середовища за допомогою подовжуючого дроту. Одним з недоліків термопар є досить велика похибка. Найбільш поширеним способом застосування термопар є електронні термометри.

#### 3.1.1.4 П'єзоелектричні термодатчики

У датчиках цього типу головним елементом є кварцовий п'єзорезонатор.

Як відомо п'єзоматеріал змінює свої розміри при впливі струму (прямий п'єзоэффект). На цей п'єзоматеріал поперемінно передається напруга різного знака, від чого він починає коливатися. Це і є п'єзорезонатор. З'ясовано, що частота коливань цього резонатора залежить від температури, це явище і покладено в основу п'єзоелектричного датчика температури.

Отже, виходячи з вищесказаного, обираємо найбільш підходящий тип датчика, враховуючи наступне:

- температурний діапазон;
- можливість занурювати датчик у вимірюване середовище або об'єкт;
- умови вимірювань. Якщо використовується агресивне середовище, то необхідно використовувати або датчики в корозійнозахисних корпусах, або використовувати безконтактні датчики. Крім того, необхідно передбачити інші умови: вологість, тиск і т.д.;

- тривалість функціонування датчика без заміни та калібрування. Деякі типи датчиків мають відносно низьку довготривалу стабільність, наприклад термістори;

- необхідний тип вихідного сигналу;

- інші технічні параметри, такі як: час спрацьовування, напруга живлення, допуск датчиків і похибка. Для напівпровідникових датчиків, важливим також є тип корпусу.

### 3.1.2 Датчик температури повітря

Для вимірювання температури повітря використаємо повітряний перетворювач. Чутливий елемент – терморезистор мідний. Особливостями його є: лінійна характеристика, невисока термостабільність, чутливі елементи (ЧЕ) схильні до ефекту "старіння", найнижча вартість. Однак для заданих цілей він добре підходить. Оптимальне поєднання класу допуску та ціни мають термометри опору В, використовувані в промисловості практично повсюдно, (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики датчика температури повітря

Тип та номінальна статична характеристика	Термометр опору мідний , 50М
Клас допуску, похибка	В ( $\pm(0.3 + 0.005 t )$ )
Схема з'єднання чутливого елемента	4-х дротова
Тип головки	Пластик (до 60 °С)
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т
Діапазон температур, °С	-40 ... +60
Показник інерції	8...10

Зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.4.

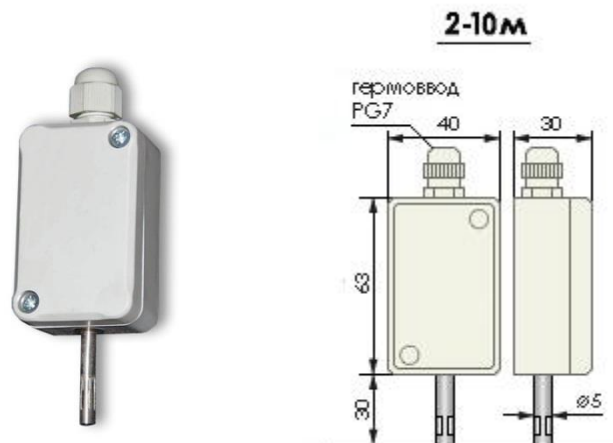


Рисунок 3.4 – Датчик температури повітря, модель 2-10м

Конструктивні особливості: являє собою головку з АБС пластику, гермовводами для під'єднання кабелю і нержавіючої трубки, на кінці якої знаходиться відкритий мідний чутливий елемент. 2-10м кріпиться на місцях експлуатації за допомогою гвинтів або шурупів [3].

Для перетворення сигналу використовуються вбудовувані перетворювачі 4-20 мА і RS-485 для даного типу корпусу [4].

Призначення: призначені для перетворення аналогових сигналів термоопорів, термісторів, і перетворювачів вологості в уніфіковані аналогові сигнали 4-20 мА або в цифровий сигнал по інтерфейсу RS-485. Виконані у вигляді плати, вбудованої в пластиковий корпус (табл. 3.2).

Функціональні можливості перетворення:

- термоопору – струм 4-20 мА;
- термоопору – RS-485;
- термістор – RS-485;
- перетворювачі вологості – струм 4-20 мА;
- перетворювачі вологості – RS-485.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювача

Робочий діапазон вимірювання вологості	0 ... 100%
Тип і НСХ	ТОМ (50М, 100М), ТОП (Pt100, Pt500, Pt1000, 50П, 100П), ТОТ (10k NTC)
Клас точності	0,2 (для ТО) 3,0 (для датчиків вологості)
Схема з'єднання ЧЕ	4-х провідна
Тип головки	склопластикові (до 250 °С)
Струм споживання	30 мА (для перетворювачів 4-20 мА) 25 мА (для перетворювачів RS-485)
Напруга живлення	12 ... 36 В (для перетворювачів 4-20 мА) 9 ... 12 В (для перетворювачів RS-485)
Робоча температура навколишнього середовища	-40 ... +70 °С
Ступінь захисту	IP54

Зовнішній вигляд перетворювача зображено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Перетворювач RS-485

### 3.1.3 Датчик температури ґрунту

Для вимірювання температури ґрунту використаємо занурювальний перетворювач. Чутливий елемент – термометр опору мідний. Технічні характеристики наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики датчика температури ґрунту

Тип та номінальна статична характеристика	Термометр опору мідний , 50М
Кількість чутливих елементів	1
Клас допуску, похибка	B ( $\pm(0.3 + 0.005 t )$ )
Схема з'єднання чутливого елемента	4-х дротова
Тип головки	Склопластик (до 250 °С)
Матеріал захисної арматури	сталь 12X18Н10Т
Діапазон температур	-50 ... +150 °С
Показник інерції	25
Максимальний тиск	0,4 МПа

Зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.6.

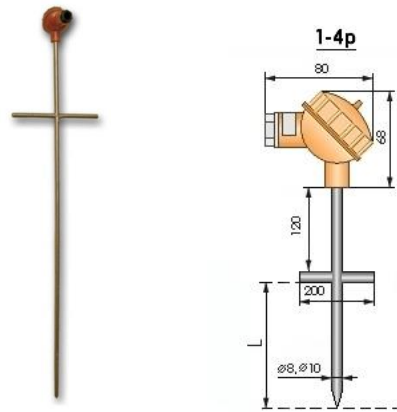


Рисунок 3.6 – Датчик температури ґрунту, модель 1-4р

Конструктивні особливості: є різновидом моделі 1-4 з загостреним кінцем і ручкою для зручного витягання з ґрунту, компосту і т.д. [5]

Для перетворення сигналу термоопору використовуються вбудовувані перетворювачі 4-20 мА і RS-485 для даного типу корпусу.

Призначення: призначені для перетворення аналогових сигналів термоопорів і термопар в уніфіковані аналогові сигнали 4-20 мА або в цифровий сигнал по інтерфейсу RS-485. Перетворювачі призначені для установки в склопластикову головку (тип Д) датчика [6]. Технічні характеристики наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики перетворювачів

Тип і НСХ	ТОМ (50М, 100М), ТОП (Pt100, Pt500, Pt1000, 50П, 100П)
Кількість ЧЕ	1 або 2
Клас точності	0,2 (для ТО)
Схема з'єднання ЧЕ	4-дротова,
Тип спаю для термопар	ізольований
Тип головки	склопластикові (до 250 °С)
Струм споживання	30 мА (для перетворювачів 4-20 мА) 25 мА (для перетворювачів RS-485)

Продовження табл. 3.4

Напруга живлення	12 ... 36 В (для перетворювачів 4-20 мА) 9 ... 12 В (для перетворювачів RS-485)
Робоча температура	-40 ... +70 °С (для ТО)
Ступінь захисту	IP54

Функціональні можливості перетворення:

- термоопору – струм 4-20 мА;
- термоопору – RS-485.

Зовнішній вигляд перетворювача зображено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Перетворювач RS-485

### 3.2 Датчики вологості

У вологості є кілька можливих величин вимірювання:

а) якщо вимірюється вологість газів або повітря, то тут вологість може вимірюватися або в  $\text{г/м}^3$  якщо мова йде про абсолютну вологість, або в RH якщо мова йде про відносну вологість[7];

б) якщо вимірюється вологість рідини або твердого тіла, то в даному випадку вона визначається у відсотках від загальної маси досліджуваного зразка;

в) якщо визначається вологість в рідинах що погано змішуються, то одиницею вимірювання буде ppm (кількість частин води на мільйон частин ваги).

### 3.2.1 Класифікація гігрометрів за принципом роботи

#### 3.2.1.1 Ємнісні датчики вологості

У простому випадку ємнісні гігрометри – це просто звичайні конденсатори з повітряним зазором (рис. 3.8). Діелектрична проникність повітря залежить від вологості, і її зміна призведе до зміни ємності.

У більш складному випадку повітряний зазор може бути замінений діелектриком, діелектрична проникність якого сильно змінюється під дією вологості [8]. Такий підхід дозволяє поліпшити якості датчика. Крім того, цей підхід може використаний для вимірювання вмісту вологи в твердих речовинах. Між обкладками конденсатора кладеться вимірюваний об'єкт, наприклад таблетка, конденсатор підключається до генератора і LC коливального контуру, лічильник буде вимірювати частоту контуру, по цій частоті можна говорити про вологість. Цей метод має деякі недоліки: при вологості нижче 0,5% він неточний, також вимагає очищення зразка від частинок з високою діелектричною проникністю, крім того важлива форма зразка під час проведення випробувань, вона не повинна змінюватися.

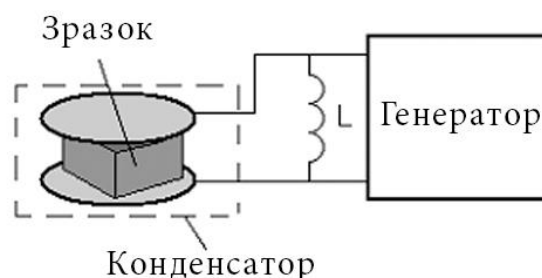


Рисунок 3.8 – Ємнісний гігрометр

Тонкоплівковий ємнісний гігрометр складається з підкладки, на яку нанесено два електроди, що мають гребінчасту форму (рис. 3.9). Ці два

електроди і будуть відігравати роль обкладок конденсатора. Для додаткової термокомпенсації в датчики такого типу вводять два датчики температури.

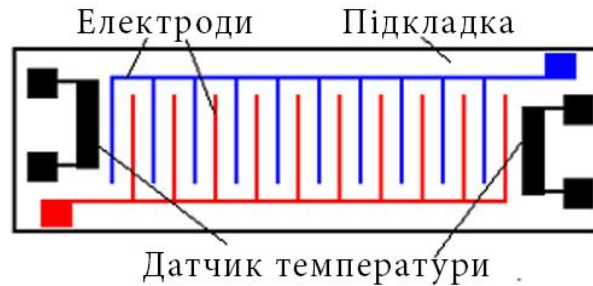


Рисунок 3.9 – Тонкоплівковий гігрометр

### 3.2.1.2 Резистивні датчики вологості

Цей датчик складається з двох електродів, нанесених на підкладку, а зверху цих електродів наноситься шар матеріалу з досить низьким опором (рис. 3.10), але цей опір дуже сильно залежить від вологості. Таким матеріалом може бути оксид алюмінію. Цей матеріал добре поглинає воду з навколишнього середовища, від чого змінюється його питомий опір. У підсумку загальний опір цього датчика буде залежати від вологості, а по величині протікаючого струму роблять висновок про рівень вологості. Головна перевага цих датчиків – їх мала вартість.

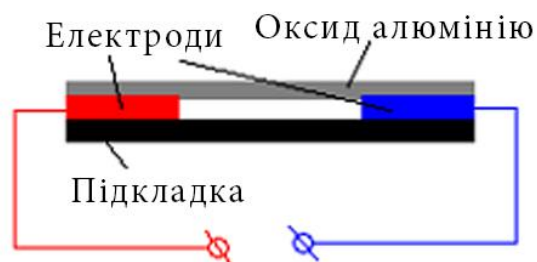


Рисунок 3.10 – Резистивний гігрометр

### 3.2.1.3 Термісторні датчики

Термісторні гігрометри складаються з двох термісторів. Один з цих термісторів поміщають у герметичну камеру з сухим повітрям. А другий в

камеру з отвором, через яке надходить повітря з невідомою вологістю. Ці термістори з'єднують в мостову схему (рис. 3.11). В одну діагональ моста падають напругу, а в іншій знімають результати. Якщо вихідна напруга дорівнює нулю, це означає, що температура обох термісторів однакова, а значить і однакова вологість. Відповідно, якщо на виході з'являється напруга, то значить вологості в сухій і вимірюваної камері різні, по величині і знаку напруги можна судити про величину вологості.

Чому ж температура терморезистора змінюється при взаємодії на нього вологого повітря? Справа в тому, що при підвищеній вологості на терморезисторі починає випаровуватися волога, а при випаровуванні температура зменшується. Чим вище вологість, тим інтенсивніше йде випаровування і тим сильніше холодне терморезистор.

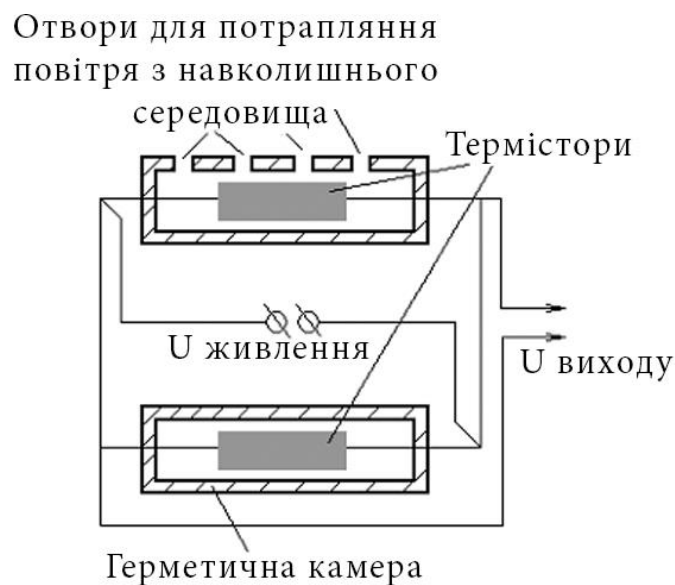


Рисунок 3.11 – Термісторний гігрометр

#### 3.2.1.4 Оптичний гігрометр

Найточніший вид гігрометрів. В основу роботи цього типу датчиків вологості закладено поняття точки роси. Точка роси – це температура, при якій рідка і газоподібна фази знаходяться в термодинамічній рівновазі. Якщо

взяти скло, помістити його в газоподібне середовище при температурі вище точки роси і почати охолоджувати, то при певній температурі на склі будуть виступати краплі води. Температура, при якій почнуть з'являтися ці краплі, і буде точкою роси. Точка роси залежить від двох параметрів: тиску і вологості навколишнього середовища. У підсумку, якщо ми зможемо виміряти точку роси і тиск, то зможемо з легкістю визначити характеристики вологості. Цей принцип і закладений в оптичних датчиках вологості.

На рисунку 3.12 зображено спрощену схему оптичного гігрометра. Він складається з діода, який світить на дзеркало. Дзеркало в свою чергу відображає світло на фотодетектор. Дзеркало може підігріватися або охолоджуватися спеціальним високоточним пристроєм регулювання температури. В якості такого пристрою часто використовується термоелектричний насос. На дзеркалі встановлений датчик вимірювання температури. На початку вимірювання температура дзеркала виставляється на рівень вище точки роси. Потім відбуватиметься його поступове охолодження. Як тільки температура перетинає точку роси, на дзеркалі починають з'являтися краплі і промінь світла заломлюючись від них, розсіюється, що спричиняє зменшення струму на виході фотодетектора. Фотодетектор з допомогою зворотного зв'язку з'єднаний з пристроєм регулювання температури дзеркала. Це пристрій за допомогою сигналів від фотодетектора буде утримувати температуру, яка дорівнює точці роси, не більше і не менше, а термодатчик видасть сигнал, що відповідає цій температурі. При відомому тиску з цієї інформації можна буде визначити всі показники вологості (RH, тиск пари та інші).

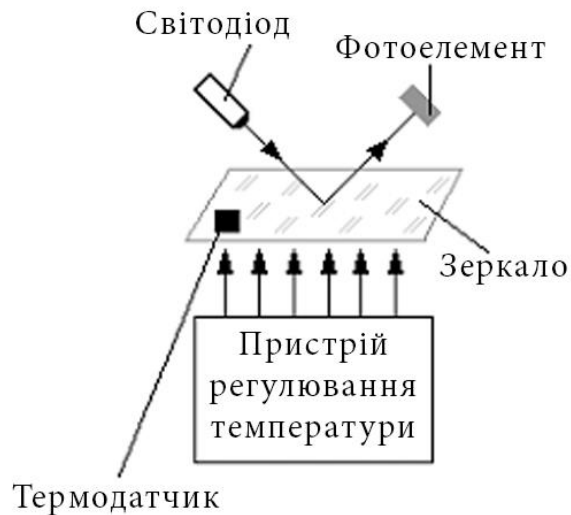


Рисунок 3.12 – Оптичний гігрометр

Цей тип датчиків має як незаперечну перевагу найвищу точність, недосяжну іншими типами датчиків, і відсутність гістерезису. Так і недоліки – найвища вартість, велике споживання електроенергії і іноді може виникати необхідність чищення дзеркала.

### 3.2.2 Датчик вологості повітря

Для вимірювання відносної вологості повітря, в якості ЧЕ використаємо ємнісний елемент. Технічні характеристики наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики датчика вологості

Тип	Датчик вологості
Кількість ЧЕ	1
Клас точності	2
Схема зеднання чутливого елемента	4-х дротова
Діапазон вологості	0...100 (без конденсату)
Температура експлуатації	-20...+60 °С
Показник інерції без руху повітря	2 – без фільтра, 3,5 – з фільтром

Зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.13.

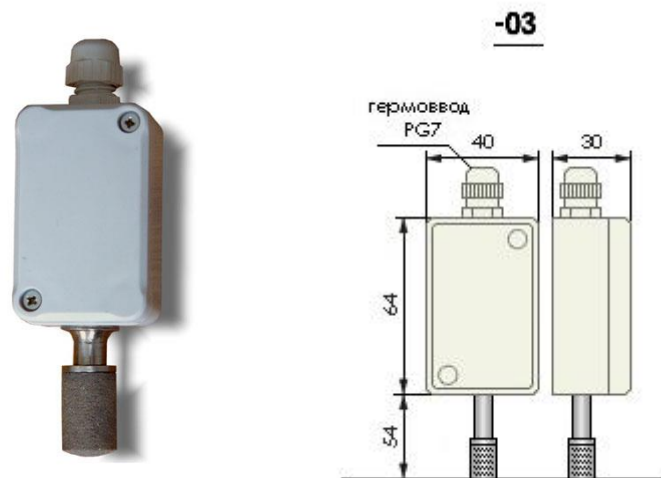


Рисунок 3.13 – Датчик відносної вологості повітря, модель -03

Конструктивні особливості: настінна модель. Ємнісний чутливий елемент захищений мікропористим повітропроникним фільтром і не вимагає обслуговування. Плата перетворення в сигнал RS-485 вбудована в пластиковий корпус Z65 [9].

### 3.2.3 Датчик вологості ґрунту

Для вимірювання вологості ґрунту використовується діелектричний датчик. Датчик вологості ґрунту 10HS дозволяє вимірювати об'ємний вміст води у великому обсязі вибірки ґрунту – 1 л. Він працює на частоті 70 МГц, що дозволяє йому безпомилково виміряти вологість будь-якого типу ґрунту [10].

Плата АЦП вбудована в пластиковий корпус Z65.

Зовнішній вигляд датчика зображено на рисунку 3.14. Технічні характеристики наведені в таблиці 3.7.



Рисунок 3.14 – Датчик вологості ґрунту 10HS

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики датчика вимірювання вологості ґрунту

Діапазон значень діелектричної постійної	1 ... 50
Точність вимірювання діелектричної постійної	± 0,5 для ε від 2 до 10; ± 2,5 для ε від 10 до 50
Діапазон значень вологості ґрунту	0-100
Точність вимірювання вологості ґрунту	1. Використовуючи стандартне рівняння калібрування: ± 3% для мінеральних типів ґрунтів 2. Використовуючи спеціальне калібрування: ± 2% для будь-яких типів ґрунтів
Чутливість	0,2 (0,08%)
Температура	-40 °C ... +50 °C
Водонепроникність	Допускається повне занурення
Живлення	від 3 VDC@12 мА до 15 VDC@15 мА

### 3.3 Датчики CO<sub>2</sub>

Газоаналізаторам властива хороша вибіркова здатність у відношенні аналізованого компонента, причому для досягнення такого ефекту використовуються різні фізичні явища, назви яких вживаються в найменуванні газоаналізаторів [11].

### 3.3.1 Види газоаналізаторів

Нижче розглянуті способи використання цих явищ, параметри яких перетворюються в електричний сигнал в конструкціях:

- оптичних газоаналізаторів;
- термокондуктометричних газоаналізаторів;
- термoxiмічних датчиків концентрації;
- кондуктометрів.

#### 3.3.1.1 Оптичні газоаналізатори

В основу роботи оптичного газоаналізатора покладено властивість селективного поглинання різними газами потоку випромінювання. Зазвичай вимірювання селективного поглинання здійснюється в інфрачервоній частині спектру – в цій області особливо різко проявляється селективність поглинання окремими газами певної частини інфрачервоного випромінювання пропорційно його об'ємному вмісту.

У загальному випадку схема газоаналізатора, що працює на цьому принципі, зображена на рис. 3.15. Схема містить джерело інфрачервоного випромінювання, потік якого надходить у камери двох оптичних каналів. Обидва канали ідентичні в конструктивному виконанні, але відрізняються за «внутрішнім змістом». Порівняльна камера (лівий канал) заповнена чистим повітрям, а через обсяг робочої камери постійно продувається контрольована газова суміш.

Проходячи через об'єм робочої камери, потік випромінювання втрачає частину енергії, що відповідає лініям поглинання контрольованого компонента (червоний потік) і частина енергії, що відповідає лініям поглинання невимірюваних компонентів (зелений потік). Через порівняльну камеру з чистим повітрям потік випромінювання проходить без втрат енергії. Потім обидва потоки випромінювання надходять в фільтрувальні камери, які заповнені невимірюваними компонентами газової суміші і де повністю поглинається енергія, що відповідає їх спектру.

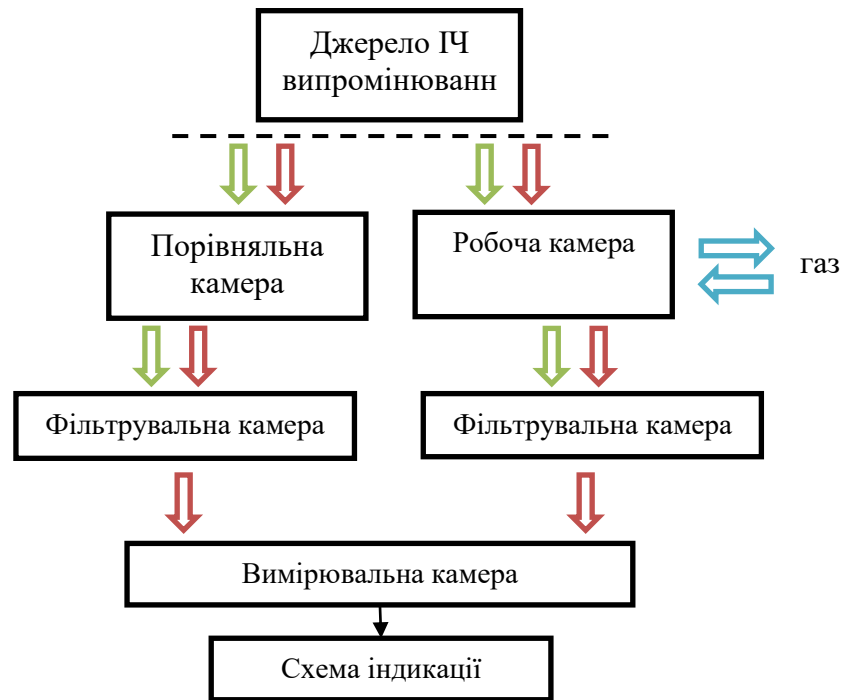


Рисунок 3.15 – Принципова схема оптичного газоаналізатора

Таким чином, у вимірювальну камеру одночасно надходить два потоки випромінювання, результат віднімання енергій яких пропорційний концентрації визначуваного компонента.

### 3.3.1.2 Термокондуктометричні датчики

Робота термокондуктометричних газоаналізаторів заснована на залежності теплопровідності газової суміші від наявності різних компонентів, що входять до її складу. Вимірювальний осередок датчика являє зазвичай циліндричний канал, що заповнюється аналізованим газом і виконаний з матеріалу що добре проводить тепло. Усередині каналу розташовується нагрівальний елемент, що працює від джерела напруги.

При заповненні осередку повітрям і при стабільному значенні струму, температура нагрівального елемента буде мати певну температуру, при якій кількість тепла, отриманого елементом, буде дорівнювати кількості тепла, що віддається їм матеріалу каналу внаслідок теплопровідності повітря. Якщо замість повітря канал буде заповнений газом іншою теплопровідністю, то

температура нагрівального елемента зміниться, причому, якщо теплопровідність газу буде більше теплопровідності повітря, то температура елемента знизиться, а якщо менше – підвищиться. Отже, вимірюючи температуру нагрівального елемента за допомогою датчиків температури, можна зробити висновок про процентний вміст в суміші компонентів з певною теплопровідністю. Конструктивно чутливий датчик газоаналізатора (рис. 3.16) є мостовою схемою. У всі чотири плеча моста включені рівні по величині платинові резистори R1 – R4.

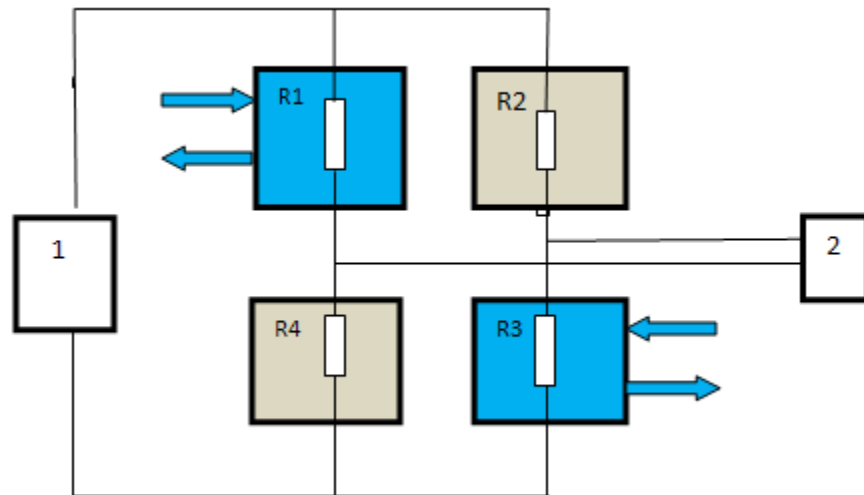


Рисунок 3.16 – Вимірювальна комірка термокондуктометричного газоаналізатора.

Резистори R1 і R3 є робочими і розміщені в каналах, через які транспортується аналізована суміш, а резистори R2 і R4 – порівняльні і розташовані в закритих каналах, заповнених повітрям. При протіканні через робочі камери аналізованої суміші міст розбалансовується, причому величина розбалансу пропорційна теплопровідності аналізованого компонента і, отже, його концентрації, яка фіксується вторинним приладом 2.

### 3.3.1.3 Термохімічні датчики концентрації

Принцип роботи газоаналізаторів, що використовують термохімічні датчики концентрації, заснований на вимірюванні підвищення температури нагрітої платинової нитки, на поверхні якої відбувається каталітичне згоряння горючих компонентів газової суміші.

Основою вимірювальної схеми датчика (рис. 3.17) є міст Уїтстона, але тільки на відміну від класичної схеми в два плеча вбудовані терморезистори R2 і R3: робочий терморезистор R3 розміщений в камері, що продувається аналізованою сумішшю, другий терморезистор R2 є порівняльним і встановлений в герметичній камері, заповненій повітрям. В інші два плеча вбудовані резистори R1 і R4 з манганінового дроту.

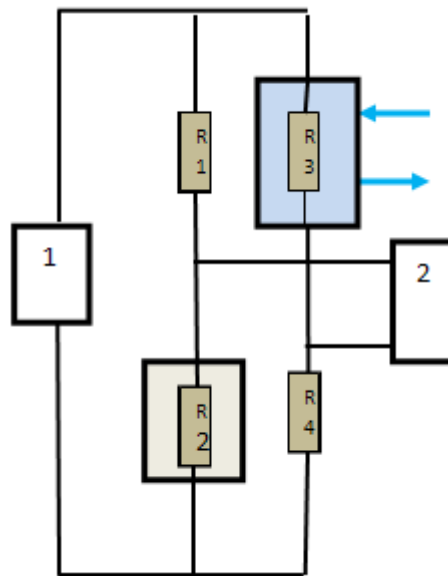


Рисунок 3.17 – Вимірювальна схема термохімічного датчика

Терморезистори нагріваються струмом джерела стабілізованої напруги 1 до температури, при якій на її поверхні відбувається каталітичне згоряння аналізованого компонента. У результаті реакції горіння температура терморезистора R3 різко підвищується і, як наслідок, збільшується його опір, що порушує рівноважний стан моста. Величина розбалансу моста

пропорційна концентрації аналізованого компонента і фіксується вимірювальним приладом 2, включеним в діагональ моста.

Зазвичай датчики цього типу використовуються як сигналізатори при аналізі горючих газів на виробництві.

#### 3.3.1.4 Кондуктометри

Процес вимірювання електропровідності здійснюється тими ж методами, що і вимірювання опору. Залежність електропровідності від концентрації розчину має практично лінійний характер і визначається його фізико-хімічними властивостями. Чутливим елементом пристрою служить кондуктометричний осередок, що складається з двох електродів певної площі і розташованих на певній відстані між собою.

Для визначення електропровідності в більшості випадків використовують мостову схему, яка застосовується для контролю опору. Для виключення явища поляризації електродів, міст живиться змінною напругою: зміна напрямку руху струму усуває поляризаційний опір.

#### 3.3.2 Датчик вимірювання вмісту CO<sub>2</sub>

Для вимірювання вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі використовується перетворювач вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі серії АГУ-05. Оснований на зміні поглинання інфрачервоного випромінювання в залежності від концентрації вуглекислого газу. На відміну від електрохімічного, такий метод вимірювання дозволяє відмовитися від частої заміни вимірювального елемента і отримати високу стабільність одержуваних результатів. Перетворювачі CO<sub>2</sub> серії АГУ-05 мають дві модифікації: з природною (АГУ-05е) і примусовою (АГУ-05п) циркуляцією газу [12]. Технічні характеристики датчика наведені в табл. 3.8. Зовнішній вигляд датчика зображено на рисунку 3.18.



Рисунок 3.18 – Датчики CO<sub>2</sub> серії АГУ-05

Функціональні можливості:

- вимірювання вмісту CO<sub>2</sub>;
- світлодіодна індикація подачі живлення на вимірювальний вузол;
- світлодіодна індикація наявності вихідного сигналу;
- світлодіодна індикація наявності обміну по RS-485.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики датчика CO<sub>2</sub>

Діапазон вимірювання вмісту CO <sub>2</sub>	0 ... 5000 ppm
Точність вимірювання	± 85 ppm
Вихідні сигнали	4-20 mA, 0-10V, RS485
Час реакції	від 1 хв
Напруга живлення плати перетворення	10 ... 15 В DC 0,3 А
Робоча температура експлуатації	0 ... 50 °С
Матеріал корпусу	АБС пластик
Ступінь захисту корпусу	IP41
Габаритні розміри	117x77x55 мм
Маса приладу	не більше 500 г

### 3.4 Датчик освітленості

В якості основних елементів для датчиків освітленості можна використовувати: 1) фотодіоди (pn-фотодіоди, pin-фотодіоди, фотодіоди Шоткі, лавинні фотодіоди); 2) фототранзистори; 3) фоторезистори [13]. Для вимірювання освітленості використовується датчик SL-01 RS-485 [14]. Чутливий елемент – фотодіод. Зовнішній вигляд датчика зображено на рисунку 3.19. Технічні характеристики наведені в табл 3.9.



Рисунок 3.19 – Датчик освітленості SL-01

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики датчика освітленості

Напруга живлення	6 — 30 В
Чутливий елемент	фотодіод
Діапазон вимірювання	0-60 КЛк
Вихід	4-20 мА / 0-10В / RS-485
Робоча температура	-40...+60 °С
Похибка вимірювання	± 5%
Ступінь захисту	IP65
Вихідний сигнал	RS-485

### 3.5 Контролер

Для достатнього забезпечення функціонування вимірювальної системи та моніторингу даних на ЕОМ використовується контролер АКС – багатофункціональний контролер для технологічних процесів. Такий контролер застосовується для управління різними технологічними процесами в промисловості та сільському господарстві [15].

Зовнішній вигляд контролера зображено на рисунку 3.20

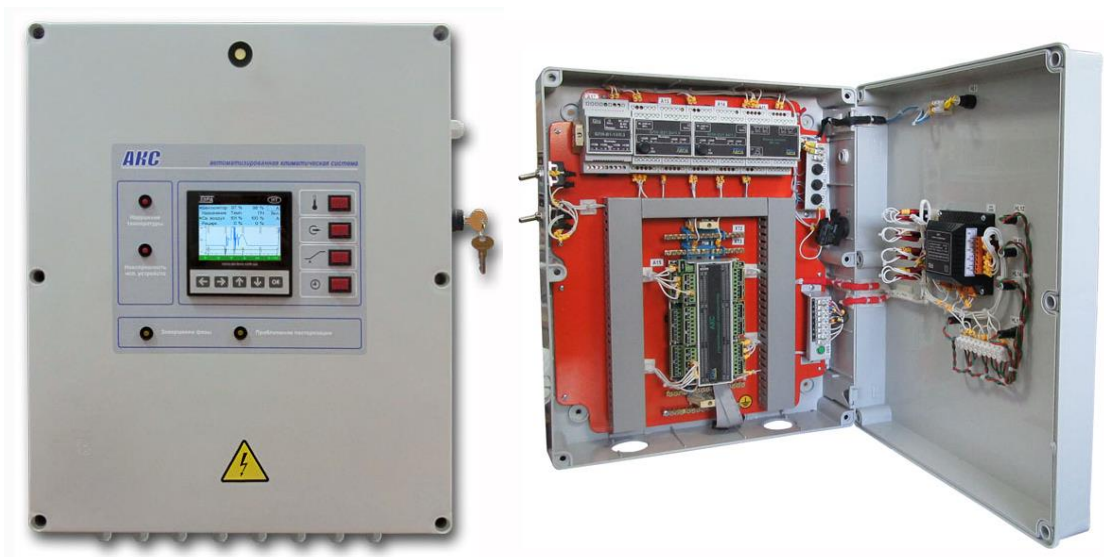


Рисунок 3.20 – Контролер АКС

Контролер АКС розроблений на базі мікропроцесора нового покоління з високою продуктивністю і великим обсягом пам'яті, що дозволило значно розширити кількість його входів і виходів, реалізувати більш складні алгоритми керування та збільшити приладовий архів.

Основною перевагою АКС є кольоровий графічний TFT індикатор з високою роздільною здатністю. Завдяки своїм розмірам, на індикаторі можливе одночасне відображення великої кількості параметрів у вигляді таблиць, графіків і мнемосхем. АКС дозволяє обробляти дані як від дротових, так і від бездротових датчиків температури.

Контролер може поставлятися разом з програмним забезпеченням TechnologSoft [16] для управління і візуалізації процесу на комп'ютері.

Функціональні можливості:

- 16 входів для підключення термоперетворювачів опору;
- 8 аналогових входів для підключення датчиків вологості, газоаналізаторів, датчиків положення заслінок і т.п.;
- 8 аналогових виходів для управління виконавчими пристроями: заслінками, частотними перетворювачами і т.д.;
- 16 дискретних виходів для управління виконавчими пристроями: вентиляторами, зволожувачами, клапанами, насосами і т.д.;
- підтримка заданих параметрів в ручному або автоматичному режимі;
- діагностика роботи датчиків і виконавчих пристроїв;
- аварійна сигналізація відхилень вимірюваних параметрів;
- передача на комп'ютер основних технологічних параметрів по інтерфейсу RS-485;
- збереження параметрів і налаштувань регулювання в енергонезалежній пам'яті;
- можливість дистанційного керування з комп'ютера;
- інтерфейсний вхід для підключення блоків розширення входів і виходів.

Технічні характеристики контролера наведені в табл 3.10.

Особливості та структура контролера: контролер АКС складається з регулятора на DIN рейці, який вмонтовується всередину пластикового щита, і панелі оператора з TFT дисплеєм на лицьовій панелі щита. До складу щита також входять: блоки живлення, мережевий фільтр, перемикач подачі мережного живлення, зовнішні кнопки завдання режимів відображення і аварійні лампи.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики контролера

Кількість аналогових входів	24
Кількість дискретних входів типу "сухий контакт"	16
Кількість аналогових виходів	8
Кількість дискретних виходів	16
Інтерфейсний вхід	RS-485
Інтерфейсний вихід	RS-485
Напруга живлення	220 В ± 10%
Споживана потужність	не більше 18 Вт
Габаритні розміри щита управління	500x420x130 мм

Також можлива комутація інших, відмінних від стандартної комплектації типів вхідних і вихідних пристроїв. Все це дозволяє при необхідності підібрати індивідуальну конфігурацію під конкретні технологічні особливості об'єкта.

## 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 4.1 Програмний пакет TechnologSoft

Для обраного контролера поставляється спеціальне програмне забезпечення TechnologSoft [16].

Дане програмне забезпечення дозволяє здійснювати моніторинг та управління приладами в режимі реального часу, а також переглядати архівні дані і генерувати звіти, графіки, таблиці за вибраний період часу.

TechnologSoft може працювати як з дротовою (Ethernet, RS-485), так і бездротовою (Zigbee, GSM і ін.) мережею приладів, що дозволяє контролювати прилади, розташовані на будь-яких відстанях від диспетчерських пунктів.

TechnologSoft надає споживачеві гнучку систему розмежування прав користувача, яка налаштовується адміністратором. Користувачі розбиваються на групи з різними повноваженнями. Кількість груп і користувачів – не обмежена.

Програмне забезпечення TechnologSoft реалізовано в двох базових версіях: TechnologSoft Light для одного ПК і TechnologSoft Net для локальної мережі ПК. Крім того, до кожної версії за додаткову плату можна додати програмні модулі з певним пакетом функцій.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми зображено на рисунку 4.1.

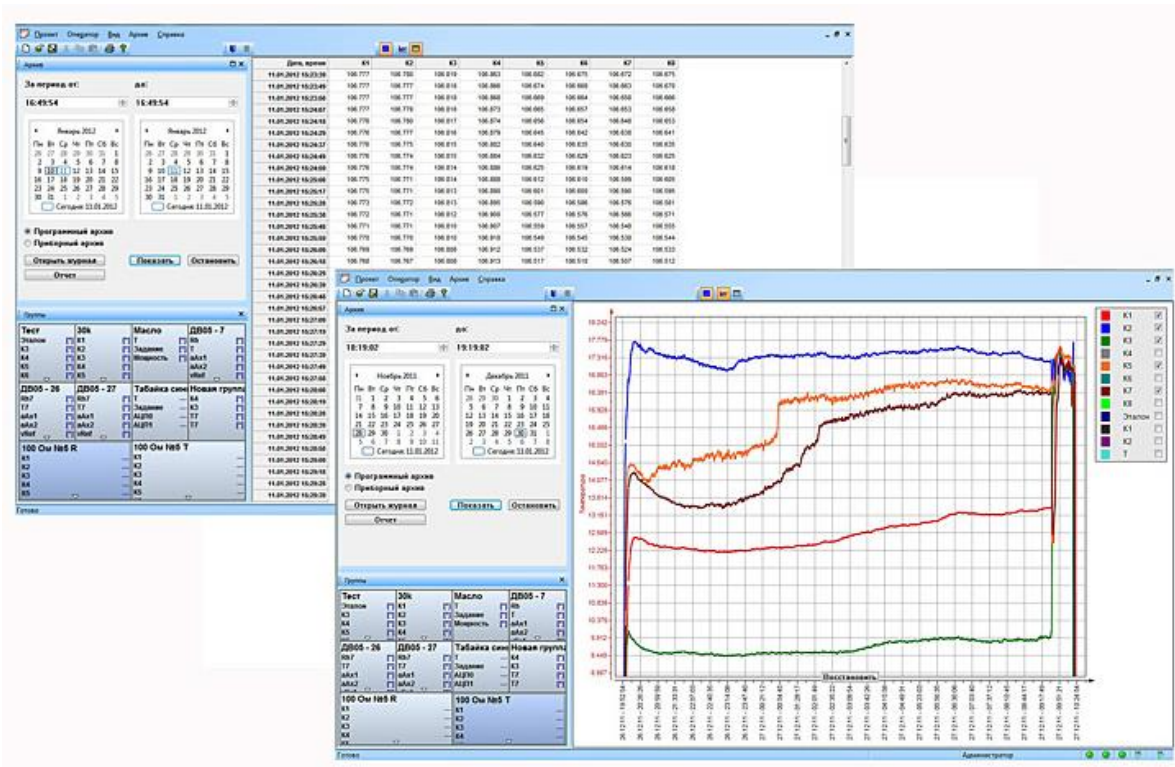


Рисунок 4.1 – Интерфейс TechnologSoft

### Програмні функції TechnologSoft Light / Net:

- відображення даних в реальному часі у вікні групи точок, на графіку, в таблиці або у вікні управління;
- дистанційна зміна налаштувань приладів за допомогою вікна управління;
- редагування властивостей груп точок: мінімальних розмірів вікон, кольорів, шрифтів;
- робота з даними з програмного архіву;
- можливість завантаження рисунка мнемосхеми у форматі JPG, BMP.
- автоматичне або довільне масштабування графіка по кожній осі;
- редагування властивостей графіків: осей, квітів, товщини, маркерів, швидкості зсуву по осі часу;
- створення звітів по вибраним точкам групи;
- перегляд журналу подій в системі;

- сигналізація тривог і аварійних ситуацій: поява діалогового вікна відображення тривог, спрацьовування звукової сигналізації, миготіння червоної рамки діалогу;

- перегляд журналу тривог аварійної сигналізації;

- друк графіків, таблиць та звітів за запитом користувача;

- експорт табличних даних в текстовий файл із роздільниками для MS Excel;

- контроль наявності зв'язку з приладами і ведення журналу відсутності зв'язку.

TechnologSoft – програмний модуль G:

- підтримка передачі даних по GSM зв'язку;

- SMS-сигналізація на мобільні телефони користувачів (по GSM зв'язку);

- відправка SMS з показанням критичного параметра за розкладом.

TechnologSoft – програмний модуль A:

- робота з даними з приладового архіву;

- перегляд журналу подій приладу;

- розклад завдань (автоматична друк звітів, читання приладового архіву).

Програма працює в середовищі Windows 2000/XP/7.

## 4.2 Алгоритм функціонування

За організацією алгоритму функціонування ІВС розрізняють:

а) системи із жорстким заздалегідь заданим алгоритмом функціонування;

б) програмовані системи;

в) адаптивні системи.

У системах із жорстким алгоритмом функціонування алгоритм роботи ІВС не змінюється, тому такі системи застосовуються для дослідження об'єктів, що працюють у певному режимі.

У програмованих системах алгоритм роботи змінюється відповідно до заздалегідь заданої програми, що складається залежно від умов функціонування об'єкта дослідження.

В адаптивних системах алгоритм роботи, а іноді й структура ІВС змінюються, пристосовуючись до змін вимірюваних величин і умов роботи об'єкта дослідження. При побудові адаптивної ІВС потрібна менша кількість апіорної інформації, що має велике значення при дослідженні нових об'єктів, характеристики яких ще мало відомі.

При сучасній нестабільності економічного життя країни, перш за все потрібно вміти швидко перелаштовуватися на більш вигідну позицію, на продукцію з більшим попитом. Тому розроблювана система буде програмованою, що дозволить змінювати види та обсяги вирощування культур в будь якій момент.

Базовий алгоритм роботи розроблюваної контрольно-вимірювальної системи представлено на рисунку 4.2.

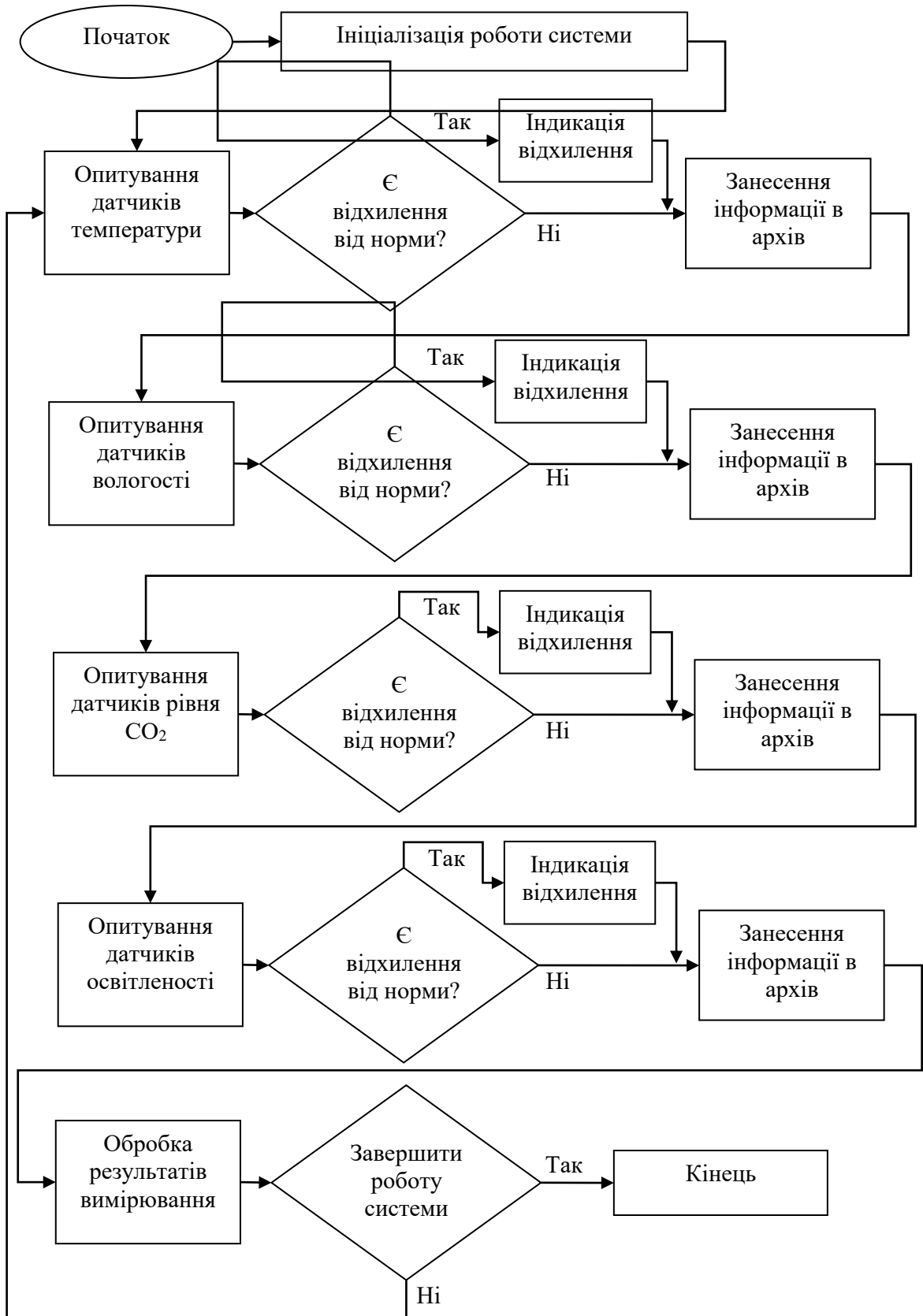


Рисунок 4.2 – Алгоритм роботи вимірювальної системи

## 5 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ІВС, будучи різновидом засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), повинна задовольняти всім метрологічним правилам і нормам державного регулювання щодо забезпечення єдності вимірювань. Незважаючи на складність і специфічність вирішуваних вимірювальних задач, слід мати на увазі, що результати вимірювання виражаються в загальноприйнятих одиницях фізичних величин і тому необхідний зв'язок з еталонами цих одиниць. Це повинно забезпечуватися на всіх стадіях розробки, виготовлення та експлуатації ІВС [17].

У ІВС в процесі отримання результату вимірювання беруть участь два однаково важливих компоненти: апаратний і обчислювальний. Основними джерелами апаратних похибок є вимірювальний канал, оскільки апаратні засоби цифрової обчислювальної техніки її не вносять. Тому метрологічне забезпечення (МЗ) апаратної частини стосуватиметься в основному вимірювального каналу. Другий компонент може призводити до методичних похибок, не залежних від апаратних засобів і однаковим для всіх ІВС, що використовують однакове програмно-математичне забезпечення (ПМЗ). Тому програмно-математичне забезпечення, як і апаратні засоби, має бути об'єктом метрологічних досліджень.

МЗ апаратної частини ІВС, незважаючи на його специфіку, принципово не відрізняється від МЗ ЗВТ інших видів. Однак для автоматизованих ЗВТ, що припускають суттєву обробку первинної вимірювальної інформації, в рамках державного регулювання щодо забезпечення єдності вимірювань проводиться метрологічна атестація алгоритмів і програм. Для ІВС ця процедура є частиною випробувань з метою затвердження типу. Вона повинна також проводитися при коригуванні ПМЗ, при заміні ЕОМ чи використовуваних операційних систем. На відміну від апаратних засобів, МЗ ПМЗ не має аналога повірки або калібрування, оскільки немає необхідності

контролювати ПМЗ для кожного екземпляра ІВС, а також контролювати його зміни в часі.

Вимірювальні канали ІВС об'єднуються в окрему функціонально єдину підсистему. Однак як ІВС в цілому, так і її вимірювальні канали (ВК) комплектуються з частин, що виготовляються різними підприємствами. Ці функціональні блоки підприємствами-виробниками можуть не розглядатися як ЗВТ. Тому в заводській технічній документації можуть бути відсутні регламентовані метрологічні характеристики (МХ), що створює труднощі при проведенні випробувань з метою затвердження типу. У той же час слід зазначити, що навіть при нарощуванні ІВС кожен вимірювальний канал продовжує складати єдине функціональне ціле, з єдиними метрологічними властивостями. Тому МХ вимірювальних каналів складають основу метрологічного опису ІВС.

### 5.1 Апріорний аналіз похибок

Похибка використовуваного термоопору  $\pm(0.3 + 0.005|t|)$ .

Похибка АЦП

$$\delta_{АЦП} = \pm \frac{1}{2^N - 1} \cdot 100\% = \pm \frac{1}{2^{10} - 1} \cdot 100\% = \pm 0,0977\% \approx \pm 0,1\%.$$

Отже загальна похибка вимірювання температури повітря та ґрунту дорівнюватиме, при 20°C:

$$\delta_t = \pm 1,1 \sqrt{(0,3 + 0,005(20))^2 + 0,1^2} = \pm 0,45\%. \quad (5.1)$$

Датчик вологості повітря/ґрунту на основі конденсатора має похибку 2%.

Отже загальна похибка вимірювання відносної вологості повітря/грунту дорівнює

$$\delta_f = \pm 1,1\sqrt{2^2 + 0,1^2} = \pm 2,2\%. \quad (5.2)$$

Похибка вимірювання рівня CO<sub>2</sub> в повітрі дорівнює  $\pm 85$  ppm.

Похибка вимірювання освітленості дорівнює 5%.

## 5.2 Методи повірки

### 5.2.1 Комплектна та поелементна повірка

Для ІВС, як і будь-якого ЗВТ, може бути передбачена комплектна або поелементна повірка. При комплектній повірці експериментально встановлюється дотримання допустимих меж показників невизначеності, що безпосередньо цікавлять споживача. У цьому випадку, за відсутності завдання діагностики метрологічної відмови ІВС, в принципі можна не заглиблюватися в її структуру і не аналізувати окремі складові похибки результату. При цьому відпадає необхідність обов'язкової метрологічної атестації ПМЗ при випробуваннях з метою затвердження типу, оскільки в ході апробації методики повірки одержувана оцінка невизначеності буде враховувати і невизначеність, обумовлену ПМЗ [17].

При поелементній повірці вказується номенклатура показників ВК і вимоги до значень цих показників. При цьому на етапі розробки методики повірки повинні бути виявлені всі показники, що впливають на невизначеність результату вимірювання. Ця обставина є найбільш важливою і складною, оскільки неповнота досліджуваних МХ знецінює поелементну повірку. Тому у користувача іноді виникає недовіра до такого методу повірки. У разі рішення про проведення поелементної повірки обов'язково

повинна бути передбачена метрологічна атестація алгоритмів обробки вимірювальної інформації з метою оцінки величини методичної похибки. У цьому випадку ПМЗ розглядається як один з елементів ІВС. У технічній документації на ІВС обов'язково повинна наводитися методика розрахунку невизначеності результатів вимірювання за отриманими в ході поелементної повірки значеннями МХ.

Для користувача комплектна повірка більш звична і більш наочна, оскільки в результаті її оцінюються МХ, що характеризують невизначеність остаточного результату вимірювання. Крім того, в цьому випадку споживач буде позбавлений необхідності перерахунку МХ, отриманих при поелементній повірці, в показники невизначеності остаточного результату.

Комплектна повірка ІВС може проводитися двома методами:

- методом безпосереднього вимірювання;
- методом звірення показань.

При першому методі в якості еталону необхідно використовувати еталонні міри (атестовані деталі, еталонні сигнали і т. д.), які за своїми характеристиками аналогічні реальним об'єктам. Звичайно, що вимірювані показники еталонів повинні бути відомі з похибками в три-п'ять разів меншими, ніж допустимі похибки повірюваної ІВС. Щоб забезпечити дослідження МХ ІВС у всіх діапазонах вимірювання, ці міри повинні бути багатозначними.

При другому методі в якості еталона має використовуватися ЗВТ, що забезпечує вимірювання тих же величин в кілька разів точніше. Крім того, необхідно допоміжний засіб у вигляді ІВ або його імітатора. Еталон в цьому випадку може мати меншу швидкодію і гірші ергономічні властивості, ніж ІВС що повіряється, але забезпечення необхідної точності все одно створює економічні і технічні проблеми.

Таким чином, широкому застосуванню комплектної повірки ІВС перешкоджають наступні обставини:

- технічно і економічно недоцільно створення еталонів, які забезпечили б повірку для кожної вимірюваної величини у всьому діапазоні вимірювання;
- для багатоцільових ІВС і гнучких ІВС створення еталонів може бути неможливим із-за апріорної невизначеності для розробника всього кола завдань, для вирішення яких буде використовуватися створювана ІВС.

З урахуванням цього поелементна повірка є основною для більшості ІВС і єдино можливою для гнучких ІВС.

Методика поелементної повірки повинна передбачати експериментальне дослідження всіх МХ вимірювального каналу. При повірці вони не мають якихось принципових особливостей і повинні бути закріплені в методиці повірки. Кращою є повірка вимірювального каналу (ВК) як єдиного цілого. Проте практична організація повірки ВК експлуатованих ІВС стикається з технічними і організаційними проблемами:

- складність формування та подання тестових впливів на вхід ВК, вбудованих в ІВС;
- подача зовнішніх впливів на ВК з метою вивчення дії факторів, що впливають;
- конструктивна складність демонтажу ВК і його елементів для проведення повірки;
- забезпечення необхідними еталонами.

Якщо повірка ВК як єдиного цілого виявляється неможливою, застосовують експериментально-розрахунковий метод, при якому експериментально досліджуються МХ елементів, що утворюють канал, а потім розрахунковим шляхом знаходяться МХ ВК в цілому. Методика розрахунків повинна бути наведена у методиці повірки. Цей метод істотно спрощує процедуру повірки ВК, однак він не знімає проблеми доступу до входів і виходів досліджуваних пристроїв або їх демонтажу. У цих випадках повірка на місці експлуатації може бути організована з використанням мобільних еталонів.

Формування і дослідження електричних тестових сигналів розроблені досить добре. Тому в багатьох випадках при повірці доцільно розділити ВК на дві частини: датчик, що перетворює фізичну величину в електричну, і підсистему перетворення і передачі електричних величин, до якої входять всі інші елементи ВК. Залежно від принципу роботи датчика і конструкції каналу вторинний перетворювач або частина його іноді можуть бути об'єднані з первинним перетворювачем, тобто їх доводиться відносити до першої частини. У цьому випадку повірку датчика можна проводити як безпосередньо на місці експлуатації з використанням еталонів, що транспортуються, так і з його вилученням з ІВС і дослідженням в стаціонарних умовах.

Для повірки другої частини ВК можуть використовуватися еталонні тестові сигнали, що видаються переносними або стаціонарними генераторами. При цьому до складу ВК можуть бути вбудовані еталонні генератори або міри електричних величин, які можуть мати подвійне призначення: використовуватися для самоконтролю і самоналаштування ІВС і брати участь у процесі повірки ВК. Використання вбудованих зразкових елементів, які можна легко демонтувати і повірять в стаціонарних умовах, найбільш ефективно усуває проблему демонтажу ВК експлуатованих ІВС.

Таким чином можна зробити висновок:

- а) поелементна повірка більш повно відповідає специфіці ІВС;
- б) методично організація повірки опрацьована досить повно;
- в) при технічній організації повірки існує ряд проблем, які повинні бути вирішені. До цих проблем, зокрема, відносяться: автоматизація повірки, можливо, з використанням повірочних ІВС; розробка і впровадження мобільних еталонів для повірки різних ВК; розробка і впровадження в практику методик оцінки невизначеності результатів вимірювання за МХ ВК.

Отже повірка системи по кожному параметру проводиться окремо.

### 5.2.2 Вимірювачі температури повітря, ґрунту

Повірка первинного перетворювача – термометр опору мідний проводиться згідно з ГОСТ 8.558-93 [18].

### 5.2.3 Вимірювач вологості повітря

Стандартизованих методик повірки для конденсаторних вимірювачів вологи не існує, тому при повірці даного вимірювача потрібно брати за основу методику повірки наведену в ГОСТ 8.472-82 [19], для психометрів. Повірочна схема для вимірювачів вологості газів наведена в ГОСТ 8.547-2009 [20].

### 5.2.4 Вимірювач вологості ґрунту

Технічні вимоги та методи випробувань на вологовимірювачі сипучих та твердих речовин наведені в ГОСТ 29027-91 [21]. Стандартизованих методик повірки на вимірювачі ґрунту даного типу не існує, тому рекомендується користуватися методикою повірки що наведено в Р 50.2.042-2004 [22]. Повірочна схема наведена для вимірювачів вологості зерна в ГОСТ 8.480-82 [23].

### 5.2.5 Вимірювач вмісту CO<sub>2</sub>

Стандартизованої методики повірки на аналізатори концентрації CO<sub>2</sub> не існує, тому для повірки слід використовувати МИ 1898-88 [24] та ГОСТ 8.513-84 [25]. Повірочна схема для засобів вимірювань вмісту компонентів у газових середовищах наведена в ГОСТ 8.578-2008 [26].

### 5.2.6 Вимірювач освітленості

Повірка люксметра здійснюється відповідно до ГОСТ 8.023-90 [27].

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розроблено вимірювальну систему кліматичних параметрів тепличних приміщень, таких як температура, вологість, вміст CO<sub>2</sub>, освітленість. На підставі даних зроблений вибір технічних ЗВТ і визначені їх технічні та метрологічні характеристики.

Розроблено узагальнену структурну схему автоматизованої вимірювальної системи, здійснено вибір елементної бази, розроблено алгоритм функціонування системи.

У розділі, присвяченому метрологічному забезпеченню, виконаний апріорний аналіз похибок вимірювання проектованої системи та розглянуті основні принципи поелементної повірки.

В результаті маємо автоматизовану систему вимірювання, за допомогою якої буде працювати система управління процесами вирощування сільськогосподарських культур в теплиці. Для забезпечення правильної роботи всього обладнання достатньо одного оператора.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основы метрологии и электрические измерения. [Текст] / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Під ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

2. DeviceSearch.ru — поиск контрольно измерительных приборов и датчиков. [Электронный ресурс] : Статьи : Датчики температуры : 2013 DeviceSearch.ru – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-temperature>

3. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Термоперетворювачі - датчики температуры : Повітряні термоперетворювачі : Модель 2-10м. ЧАО "ТЭРА".Украина. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/2-10m.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/2-10m.html)

4. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Перетворювачі уніфікованих сигналів : Вбудовувані перетворювачі 4-20 мА і RS485 для корпусу Z65. ЧАО "ТЭРА".Украина. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/4-20\\_RS485\\_for\\_Z.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/4-20_RS485_for_Z.html)

5. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Термоперетворювачі - датчики температуры : Занурювальні термоперетворювачі : Модель 1-4р. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/1-4r.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/1-4r.html)

6. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Перетворювачі уніфікованих сигналів : Вбудовувані перетворювачі 4-20 мА і RS485 для типів головок Д. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/4-20\\_RS485\\_for\\_D.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/4-20_RS485_for_D.html)

7. DeviceSearch.ru — поиск контрольно измерительных приборов и датчиков. [Электронный ресурс] : Статьи : Относительная влажность воздуха : 2013 DeviceSearch.ru – Режим доступа: [http://www.devicesearch.ru/article/otnositelnay\\_vlazhnost\\_vozduha](http://www.devicesearch.ru/article/otnositelnay_vlazhnost_vozduha)

8. DeviceSearch.ru — поиск контрольно измерительных приборов и датчиков. [Электронный ресурс] : Статьи : Датчики измерения влажности(гигрометры) : 2013 DeviceSearch.ru – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-vlajnosti>

9. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Перетворювачі вологості повітря : Перетворювачі вологості і температури емнісного типу : Модель -03. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/dv-03.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/dv-03.html)

10. Decagon Devices, Inc.2365 NE Hopkins Court Pullman,WA 99163 USA [Электронный ресурс] - Decagon Devices, Inc. Режим доступа: <http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/10hs-soil-moisture-large-area-of-influence>

11. DeviceSearch.ru — поиск контрольно измерительных приборов и датчиков. [Электронный ресурс] : Статьи : Принцип действия газоанализаторов : 2013 DeviceSearch.ru – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/4018>

12. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Перетворювачі вуглекислого газу CO<sub>2</sub> : Перетворювачі вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі серії АМУ-05. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступа: [http://www.ao-tera.com.ua/product\\_list/ru/agu-05/319.html](http://www.ao-tera.com.ua/product_list/ru/agu-05/319.html)

13. Учебные компьютерные измерительные приборы [Электронный ресурс] : Компьютерный люксметр : DanKo 2011-2013 – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/dancommeter/illuminometer/design>

14. ООО "Цифровые измерительные системы", Pirnaer Straße 20, 90411 Nürnberg [Электронный ресурс] : Продукция : Датчик освещенности SL-01 RS-485 – Режим доступа: <http://ci-system.ru/datchik-osveshennosti-sl-01-rs-485/>

15. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Электронный ресурс] : Продукція : Вимірники, регулятори, контролери : Спеціалізовані контролери : АКС -

Багатофункціональний контролер для технологічних процесів. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступу: [http://www.aoteracom.ua/product\\_list/ru/aks/335.html](http://www.aoteracom.ua/product_list/ru/aks/335.html)

16. ПрАТ «ТЕРА» Україна [Електронний ресурс] : Продукція : Програмне забезпечення : TechnologSoft - програмне забезпечення для приладів. ЧАО "ТЭРА". Україна. – Режим доступу: [http://www.aoteracom.ua/product\\_list/ru/technologsoft/274.html](http://www.aoteracom.ua/product_list/ru/technologsoft/274.html)

17. Рубичев, Н. А. Измерительные информационные системы [Текст] : навч. посібник / Н. А. Рубичев. – М. : ДРОФА, 2010. – 338с.

18. ГОСТ 8.558-93 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры. [Текст] Чинний з 17.02.93. – К. : Міждержавна рада по стандартизації, метрології та сертифікації. Видавництво стандартів. 1994. - 16с.

19. ГОСТ 8.472-82 Государственная система обеспечения единства измерений. Гигрометры пьезосорбционные. Методы и средства поверки. [Текст] Чинний з 01.01.84. – К. : Державний комітет ССРСР по стандартам, 1984. – 8 с.

20. ГОСТ 8.547-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов. [Текст] Чинний з 11.11.2009 – К : Стандартиформ, 2010. – 13 с.

21. ГОСТ 29027-91 Влагомеры твердых и сыпучих веществ. Общие технические требования и методы испытаний. [Текст] Чинний з 01.07.1992. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1991. – 11 с.

22. Р 50.2.042-2004 Рекомендации по метрологии. Влагомеры зерна и продуктов его переработки диэлькометрические. Методы поверки. [Текст] Чинний з 01.03.2005 – К. : ФГУП "УНИИМ", 2004. – 11 с.

23. ГОСТ 8.480-82 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений влажности зерна и зернопродуктов. [Текст] Чинний з 1.07.1984. – К. : Державний комітет ССРСР по стандартам, 1984. – 7 с.

24. МИ 1898-88 Методические указания. ГСИ. Газоанализатор ГИАМ-14. Газоанализатор ГИАМ-15. Методика поверки. [Текст] Солдатенков О.Ф., Шемловинская Л.Н. Согласованы НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» «18» апреля 1988 г. – 14 с.

25. ГОСТ 8.513-84 Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. [Текст] Чинний з 1985-07-01. М. : Издательство стандартов, 1997. – 16 с.

26. ГОСТ 8.578-2008 Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах. [Текст] Чинний з 1.03.2009 –К : Стандартиформ, 2009. – 14 с.

27. ГОСТ 8.023-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсного излучений. [Текст] Чинний з 01.01.1991 – К. : Державний комітет ССРСР по управлінню якістю продукції та стандартам, 1991. – 8 с.

28. ДСТУ 3008-95 Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 24 с.

29. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 Бібліографічний запис. Загальні вимоги та правила складання [Текст] чинний з 2007-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.