

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра інформаційних та комп'ютерних технологій

ДИПЛОМНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ ПРОСТОРИ

Виконала: студентка групи БА-19
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

Катерина ПЛАКСІЙ

Науковий керівник к.т.н., доц. Валерія ДРОМЕНКО

Рецензент д.т.н., проф. Ірина ШВЕДЧИКОВА

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра інформаційних та комп'ютерних технологій
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКТ
доц., к.т.н. Владислава СКІДАН

«19» червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ПЛАКСІЙ Катерині Вячеславівні

1. Тема роботи: Багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Науковий керівник роботи Дроменко Валерія Борисівна, к.т.н., доц.
затверджені наказом КНУТД від 08.11.2022 року №224-уч

2. Строк подання студентом дипломної роботи 08.06.2023
3. Вихідні дані до дипломної роботи: температура повітря від 15° С до 75° С;
вологість повітря від 13% до 95%; вологість ґрунту від 20% до 100%;
рівень освітленості від 30% до 90%.
4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.
Розділ 1. Загальні відомості про сучасний стан систем контролю
технологічних параметрів в замкненому просторі. Розділ 2.
Обґрунтування структури та апаратної платформи
багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю
технологічних параметрів в замкненому просторі. Розділ 3.
Експериментальна реалізація багатофункціональної мікропроцесорної
системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі.
Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Дата видачі завдання 16.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи (проекту)	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання	
1	Вступ	24.04.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
2	Розділ 1. Загальні відомості про сучасний стан систем контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	01.05.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
3	Розділ 2. Обґрунтування структури та апаратної платформи багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	10.05.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
4	Розділ 3. Експериментальна реалізація багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	14.05.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
5	Висновки	25.05.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
6	Оформлення дипломної роботи	31.05.23	<i>HF</i>	<i>Domk</i>
7	Здача дипломної роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	8.06.23	<i>HF</i>	<i>HF</i>
8	Перевірка дипломної роботи на наявність текстових співпадінь та помилок (за 10 днів до захисту)	16.06.2023 12.06.23	<i>HF</i>	<i>HF</i>
9	Подання дипломної роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	15.06.23	<i>HF</i>	<i>HF</i>

Студент

HF
(підпис)

Науковий керівник
роботи

Domk
(підпис)

Рецензент

HF
(підпис)

Катерина ПЛАКСІЙ
(ініціали та прізвище)

Валерія ДРОМЕНКО
(ініціали та прізвище)

Ірина ШВЕДЧИКОВА
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Плаксій К.В. Багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі. – Рукопис.

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології). – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

Дипломну бакалаврську роботу присвячено дослідженню технічних рішень практичної реалізації багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, що складається з мікроконтролера, датчиків відслідковування технологічних параметрів та засобу вводу/виводу інформації про відслідковані параметри. Запропоноване рішення стосується галузі автоматизації і контролю.

Розроблювана багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі призначена для забезпечення безпеки та автоматичного контролю різних параметрів без необхідності втручання людини. Налаштувавши систему під потрібні умови, користувач має змогу спостерігати за значеннями параметрів на панелі вводу/виводу інформації в режимі реального часу, без необхідності активного втручання. Система дозволяє контролювати наступні технологічні параметри: температура та вологість повітря, вологість ґрунту та рівень освітленості. Система може бути легко адаптована під різні технологічні умови шляхом додавання або заміни датчиків. Оперативний контроль параметрів та вивід інформації на дисплей відбувається через розроблену програму для мікроконтролера.

Ключові слова: контроль технологічних параметрів, багатофункціональна мікропроцесорна система контролю, система контролю, програма для мікроконтролера.

ABSTRACT

Plaksii K.V. Multifunctional microprocessor control system of technological parameters in a closed space. - Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies (Automation and computer-integrated technologies). - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

The bachelor thesis is dedicated to the research of technical solutions for the practical implementation of a multifunctional microprocessor system for controlling technological parameters in a closed space, consisting of a microcontroller, sensors for monitoring technological parameters and a means of input/output of information about the monitored parameters. The proposed solution concerns the field of automation and control.

The developed multifunctional microprocessor control system of technological parameters in a closed space is designed to ensure safety and automatic control of various parameters without the need for human intervention. Having configured the system to the desired conditions, the user can observe the parameter values on the information input/output panel in real time, without the need for active intervention. The system allows you to control the following technological parameters: air temperature and humidity, soil moisture and light level. The system can be easily adapted to different technological conditions by adding or replacing sensors. Operational control of parameters and output of information to the display occurs through the developed program for the microcontroller.

Keywords: control of technological parameters, multifunctional microprocessor control system, control system, microcontroller program.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

DIP (Dual In-line Package, також DIL) — тип корпусу мікросхем, електронних модулів і деяких інших електронних компонентів;

I2C – (ІС, Inter-Integrated Circuit) послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем;

LCD – (Liquid Crystal Display) рідко-кристалічний екран;

RTC – (Real Time Clock) годинник реального часу;

SMD (Surface Mount Device) — тип електронних компонентів та технологія їх монтажу

SPI – (Serial Peripheral Interface) послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI;

UART – (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) універсальний асинхронний приймач/передавач;

ЛМПСК – локальна мікропроцесорна система контролю;

МК – мікроконтролер;

МП – мікропроцесор;

НМК – неруйнівні методи контролю;

ПІД регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор;

ТУ – технічні умови;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ ПРОСТОРИ	12
1.1. Системи контролю та їх процеси	12
1.1.1. Параметри ефективної системи контролю	13
1.1.2. Дисфункціональний ефект системи контролю	14
1.1.3. Якість вимірювання	15
1.2. Методи контролю технологічних параметрів	16
1.2.1. Вибірковий контроль	17
1.2.2. Неруйнівний метод контролю	18
1.3. Задачі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	18
1.4. Недоліки контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	21
1.5. Аналіз існуючих мікропроцесорних систем контролю технологічних параметрів	22
1.6. Переваги мікропроцесорних систем контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	24
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	25
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ ПРОСТОРИ	26
2.1. Технічні та програмні вимоги системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	26
2.2. Структура багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі	27
2.3. Вибір апаратної платформи розроблюваної системи контролю ..	28
2.3.1. Мікроконтролер	29
2.3.2. Панель з рідко-кристалічним екраном та клавіатурою	31
2.3.3. Ємнісний датчик вологості ґрунту	34

2.3.4. Датчик температури та вологості повітря	36
2.3.5. Модуль годинника реального часу	38
2.3.6. Фоторезистор.....	39
2.3.7. Світлодіодна стрічка.....	40
2.3.8. Водяна помпа	42
2.3.9. Вентилятор	43
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	45
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ	
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	
КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ	
ПРОСТОРІ	46
3.1. Розроблення макету багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю	46
3.2. Алгоритм роботи системи контролю	48
3.3. Розроблення програмного коду.....	50
3.4. Результати експериментальної реалізації системи контролю	61
3.5. Оцінювання вірогідності контролю	63
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
Додаток А.....	73
Додаток Б.....	83

ВСТУП

Важливим етапом створення ефективної системи контролю є вибір контрольованих (регульованих) параметрів і керованих (регулювальних) впливів. Вибір параметра, що підлягає контролю, залежить від характеристик процесу, що контролюється, точності та надійності показань датчика для отримання та передачі цього параметра та вибраного регулюючого впливу. Для підвищення надійності керування технологічним процесом кількість контрольованих параметрів має бути зведена до мінімуму.

Впровадження автоматичного контролю параметрів процесу призводить до збільшення кількості продукту, покращення якості та зниження витрат. Це забезпечує зниження витрат сировини та енергії, а також збільшення терміну служби технічного обладнання. Впровадження автоматичного керування сприяє безперебійній роботі обладнання та виключає випадки травматизму.

Актуальність теми дипломної роботи. Обрана тема кваліфікаційної роботи є актуальною з кількох причин. По-перше, в нашому сучасному світі інновації в технологіях швидко розвиваються, що створює потребу у постійному вдосконаленні існуючих пристроїв та розробці нових. Проведення дослідження та розробка нового пристрою можуть привести до покращення ефективності та функціональності певних процесів або послуг. По-друге, така робота може мати практичне значення для підприємств і організацій. Розробка нового пристрою або покращення існуючого може допомогти вирішити конкретні проблеми, збільшити продуктивність або знизити витрати. Це може стати конкурентною перевагою для підприємства на ринку і дозволить йому виходити на нові рівні розвитку.

Метою дослідження дипломної роботи є розроблення багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі.

Завдання дослідження які були поставлені у дипломній бакалаврській роботі:

- 1) проаналізувати системи контролю та їх процеси з метою збору і

врахування даних про значення технологічних параметрів в замкненому просторі при спостереженні за об'єктом контролю;

- 2) розробити технічні та програмні вимоги, а також вимоги до структури та надійності системи контролю;
- 3) обґрунтувати структуру та вибір технічних засобів апаратної платформи системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, виходячи з доступності обладнання та його невисокої вартості;
- 4) розробити макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі;
- 5) розробити алгоритм роботи системи та програмний код реалізації програми керування для контролера за наведеним алгоритмом;
- б) провести оцінювання вірогідності контролю параметрів.

Об'єктом дослідження є процес контролю технологічних параметрів в замкненому просторі за допомогою багатофункціональної мікропроцесорної системи.

Предметом дослідження є прийняття рішення про дотримання певних меж таких параметрів, як температура і вологість повітря, вологість ґрунту та рівень освітленості.

У процесі роботи було використано такі **методи дослідження**:

- спостереження;
- аналізу та синтезу;
- прикладного моделювання;
- експерименту.

Інформаційна база дослідження: при написанні дипломної бакалаврської роботи використані наукові публікації та технічна література з методів і засобів створення та реалізації багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів, а також документація офіційних виробників приладів з фондів бібліотеки КНУТД,

Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та глобальної мережі Інтернет.

Практичне значення одержаних результатів: запропонована модель автоматизованої багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі відповідає основним вимогам доступності обладнання та його невисокої вартості.

Апробація результатів бакалаврської роботи: результати доповідались та обговорювались на X Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління, 12 квітня 2023 року, м. Херсон-Хмельницький.

Структура і обсяг роботи: робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (38 найменувань), 2 додатків. Загальний обсяг бакалаврської роботи 72 сторінок комп'ютерного тексту.

РОЗДІЛ 1.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ ПРОСТОРИ

1.1. Системи контролю та їх процеси

Контроль – це процес, за допомогою якого керуюча людина визначає, чи досягаються поставлені цілі, виявляє причини негативного впливу на хід роботи та приймає управлінські рішення щодо корекції результатів.

Завдання контролю – отримати фактичні дані про хід роботи системи, порівняти їх з плановими технологічними параметрами і виявити їх відхилення. Контроль повинен забезпечувати систематичний нагляд за всіма процесами функціонування системи (моніторинг) для виявлення відхилень значень технологічних параметрів від допустимих меж з використанням критеріїв і обмежень, визначених у календарних планах, бюджетах, розрахункових потребах у трудових і матеріальних ресурсах, фінансах, для обґрунтування необхідних коригувальних дій [1].

Основним для процесу контролю є збір і врахування даних про значення технологічних параметрів в ході роботи системи. Об'єктами контролю є факти та події, перевірка виконання конкретних рішень, виявлення причин відхилень, оцінка ситуації, прогнозування наслідків. Для цього здійснюють такі види контролю:

- попередній;
- поточний;
- заключний.

Перед початком робіт із впровадження системи проводять попередній контроль. Як правило, це залучає лише трудові, матеріальні та фінансові ресурси.

У процесі контролю трудових ресурсів аналізуються професійні та ділові знання, навички (рівень освіти, практичний досвід роботи, кваліфікація), необхідні для функціонування системи.

У процесі контролю матеріальних ресурсів аналізують, чи відповідає склад і якість обладнання та матеріалів встановленим вимогам.

Метою поточного контролю є оперативне коригування виконуваних системою процесів, виявлення відхилень і прийняття оперативних рішень. Це чітко виконується безпосередньо під час роботи системи. При цьому розрізняють: контроль часу, контроль ресурсів і контроль якості.

Заключний контроль відбувається після завершення виконуваних системою операцій для обґрунтування та прийняття рішень щодо часу, ресурсів та якості виконаної роботи [1; 2].

Контроль виконання, як процес безперервного вимірювання параметрів під час роботи системи та встановлення відхилень, здійснюється за всіма параметрами системи. В процесі контролю можна виділити основний процес і допоміжний процес. Основний процес контролю може включати контроль виконання самого плану роботи системи, а до допоміжних:

- підтвердження досягнення цілей – поточна оцінка роботи системи для підтвердження відповідності окресленим цілям;
- забезпечення якості – поточна оцінка роботи системи для підтвердження відповідності визнаним стандартам якості;
- контроль та моніторинг ризиків – контроль ризиків і контроль виконання запланованих заходів для запобігання виникненню ризиків;

1.1.1. Параметри ефективної системи контролю

Ефективна система контролю має відповідати певному набору критеріїв, з-поміж яких можна виділити [3; 4]:

1. Точність. Система контролю, яка генерує неточну інформацію, призводить до помилок збору інформації про стан об'єкта контролю і марних зусиль на вирішення проблем, яких навіть не існує. Точність означає, що система контролю повинна бути достовірною і надавати реальні дані.
2. Своєчасність. Найкраща інформація мало чого варта, якщо вона не надійшла своєчасно. Тобто система контролю повинна вчасно

забезпечувати інформацією про стан об'єкта контролю, скорочувати часовий інтервал між подією і її відображенням у контролюючих інформаційних потоках.

3. Економічність. Означає, що результати здійснення контролю повинні бути більшими за витрати, пов'язані з його впровадженням. З метою мінімізації витрат слід порівнювати витрати на контроль з вигодами, що від нього очікуються.
4. Гнучкість. Система контролю повинна бути «спроможною» враховувати зміни та «вміти» і мати змогу пристосовуватися до них.
5. Зрозумілість. Система контролю, яку важко зрозуміти (усвідомити) може бути причиною помилок обслуговуючого персоналу і, навіть, ігнорування ними самого контролю.
6. Обґрунтованість критеріїв. Стандарти в системі контролю мають бути обґрунтованими (виваженими).
7. Стратегічна спрямованість. Потрібно вибрати для контролю технологічні параметри, які є стратегічними. З цієї точки зору контроль має концентруватися:
 - на відхиленнях, що трапляються найчастіше;
 - на відхиленнях, що завдають найбільшої шкоди;
 - на факторах, які піддаються впливу людини (які людина спроможна змінювати, коригувати).
8. Система контролю повинна бути такою, що підтримує коригуючі дії. Система контролю має не лише сигналізувати про відхилення, але і підказувати, які саме коригуючі дії можна запровадити для виправлення ситуації. Це досягається, наприклад, встановленням стандарту типу «якщо...- тоді...»

1.1.2. Дисфункціональний ефект системи контролю

В процесі створення і використання системи контролю слід пам'ятати про виникнення так званого дисфункціонального ефекту системи контролю, який знаходить своє відображення у маніпулюванні даними контролю.

В більшості випадків основною причиною дисфункціонального ефекту є некомплексна оцінка роботи системи контролю. Якщо, наприклад, система контролю оцінює тільки кількісні результати роботи, то слід очікувати зниження якісних параметрів діяльності.

1.1.3. Якість вимірювання

Якість проведення процедури контролю технологічних параметрів визначається якістю вимірювання того чи іншого параметра. Як відомо головною характеристикою якості вимірювань є його точність – головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини [3]. Якість процедури контролю визначається показником достовірності – достовірність контролю технічного стану – ступінь об’єктивної відповідності результатів контролю дійсному технічному стану об’єкта [4]. Отже процедурі контролю того чи іншого параметра передуює процедура вимірювання цього параметра. Метрологічні характеристики засобу вимірювальної техніки [5], за допомогою якого здійснюється вимірювання параметрів, грають одну з ключових ролей під час забезпечення якості проведення процедури контролю і впливають на достовірність контролю, а також на ймовірності хибної та невизначеної відмов.

Ймовірність хибної відмови можна визначити [6] за формулою:

$$P_X = \int_{x_H}^{x_B} f(x) \int_{-\infty}^{x_H-x} f_1\left(\frac{0}{\Delta}\right) d_{\Delta}^0 dx + \int_{x_H}^{x_B} f(x) \int_{x_B-x}^{\infty} f_1\left(\frac{0}{\Delta}\right) d_{\Delta}^0 dx$$

де $f(x)$ – щільність розподілу можливих значень контрольованого параметра X ; x_H, x_B – нижня та верхня межі параметра X , які вважаються прийнятними для прийняття позитивного рішення щодо результатів контролю; $f_1\left(\frac{0}{\Delta}\right)$ – щільність розподілу похибки вимірювання Δ параметра певним засобом вимірювальної техніки.

Структурна схема роботи системи контролю технологічних параметрів і зв'язки між її складовими наведено на рис. 1.1.

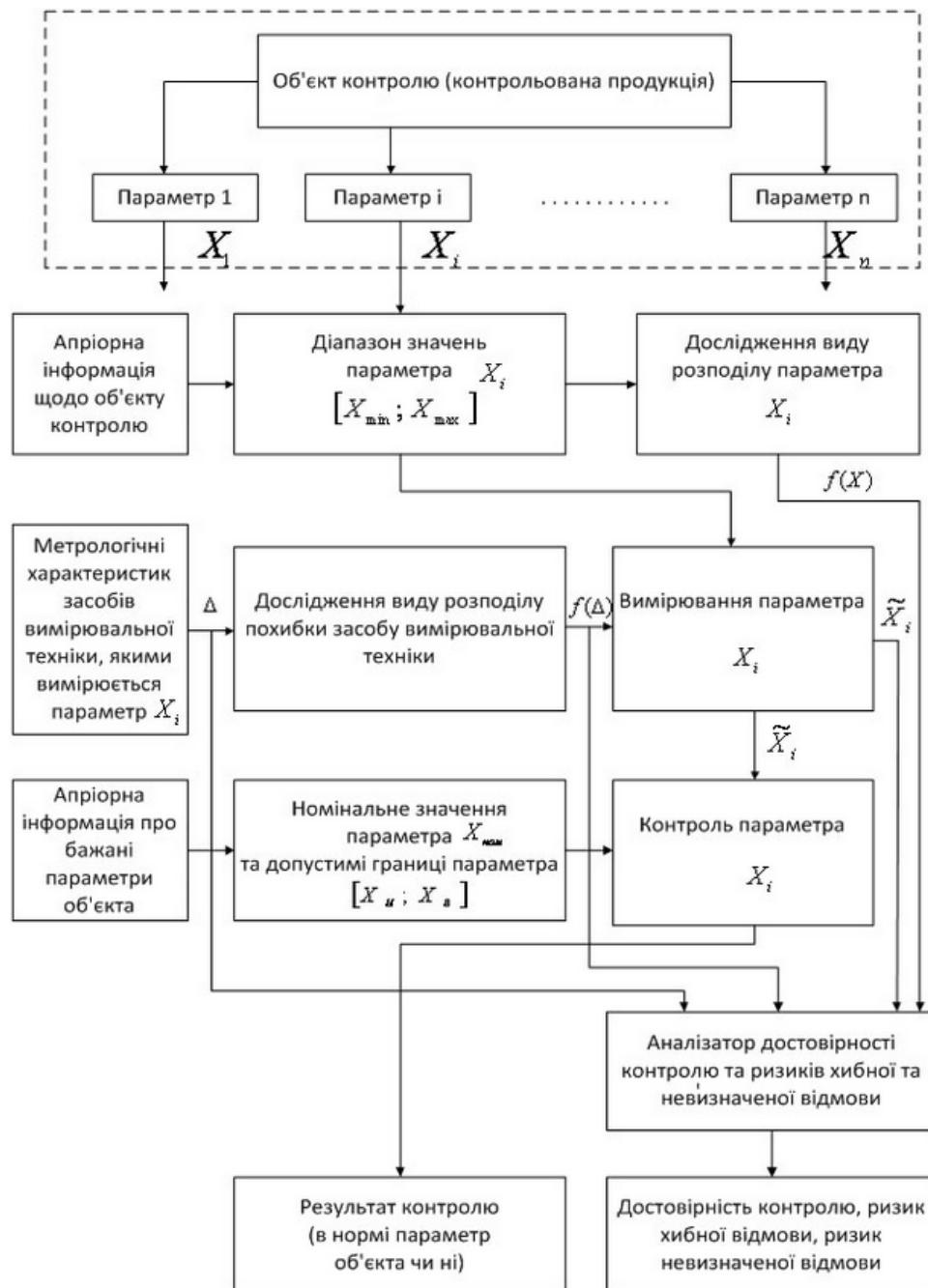


Рис. 1.1. Структурна схема роботи системи контролю технологічних параметрів

1.2. Методи контролю технологічних параметрів

Існуючі в даний час методи контролю відрізняються чисельністю і різноманітністю використовуваних в них фізико-хімічних принципів. Вони класифікуються за різними ознаками [7]:

- 1) стадіями у виробничому процесі (вхідний, поточний, приймальний);

- 2) придатності виробу до експлуатації після проведення контролю (руйнуючий, неруйнівний);
- 3) ступеня участі людини в реалізації контролю («ручний», напівавтоматичний, автоматичний);
- 4) ступенем охоплення виробів контролем (суцільний, вибіркового);
- 5) впливом на вироби навантаження (механічні, кліматичні, електричні та радіаційні).

Для контролю якості в стандартах і ТУ на вироби встановлюють вибіркового або суцільний контроль.

1.2.1. Вибірковий контроль

Вибірковий контроль застосовується в наступних випадках:

- обсяг пропонованої партії дозволяє використовувати статистичні методи контролю (при цьому обсяг партії повинен перевищувати обсяг вибірки не менше ніж у два рази);
- застосовуються руйнуючі методи контролю;
- спостерігається значне витрачання ресурсів при випробуваннях;
- випробування відрізняються високою вартістю та складністю.

При вибіркового контролі встановлюють плани одно- або двоступеневого контролю, що визначають обсяги вибірок, вироби яких безпосередньо піддаються випробуванням, та приймальні числа.

При *одноступеневого* контролі випробування проводяться на одній вибірці. При *двоступеневого* контролі, крім первинної, існує ще й повторна вибірка, яка випробовується при отриманні відмови на первинній вибірці [5].

Правильне визначення обсягу вибірки виробів є одним з ключових питань приймального контролю, що забезпечує достовірність одержуваних результатів. Занадто великий обсяг вибірки може призвести до неприпустимих втрат часу і коштів. Однак якщо вибірка і час випробувань занадто малі, можуть виникнути обґрунтовані сумніви щодо достовірності отриманих результатів. Оптимальними є така вибірка і такий час випробувань, які

дозволяють домогтися достовірних результатів при мінімальній вартості випробувань і максимальної оперативності отримання результатів.

1.2.2. Неруйнівний метод контролю

Неруйнівний метод контролю (НМК), або дефектоскопія, – це узагальнююча назва методів контролю матеріалів (виробів), що використовуються для виявлення порушення суцільності або однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, що не вимагають руйнування зразків матеріалу та/або виробу в цілому. Розрізняють поняття «неруйнівний контроль» і «неруйнівний фізичний контроль» [5; 6].

Основні вимоги, що висуваються до неруйнівних методів контролю, або дефектоскопії:

- можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення, при експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю якості продукції за більшістю заданих параметрів;
- узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації і автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням сигналів, що виділяються засобами контролю;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах;
- простота методики контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту і експлуатації.

1.3. Задачі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі має відмінності від системи контролю у відкритому просторі. Насамперед, це точність вимірювання технологічних параметрів та спосіб контролю

вимірювання. У відкритому просторі точність вимірювання нижча, адже на неї неминуче впливають фактори навколишнього середовища, а спосіб контролю – зазвичай візуальний. У замкненому просторі точність вимірювання є вищою, оскільки всі фактори навколишнього середовища, що можуть впливати на виміри технологічних параметрів, зведено до мінімуму. Слід сказати декілька слів про замкнений простір [1].

Замкнений простір – це простір, в якому знаходиться досліджуваний об'єкт. На цей об'єкт здійснюється вплив факторів, що контролюються зовнішнім вимірювальним контролем за допомогою програмованих мікроконтролерів.

Однак, візуальний контроль технологічних параметрів в замкненому просторі є малоприматним. Тому, задача контролю технологічних параметрів в замкненому просторі є актуальною. А це вже можна здійснити за допомогою вимірювального контролю.

Вимірювальний контроль – контроль, що здійснюється за допомогою вимірювальних пристроїв та приладів.

Етапи проведення вимірювального контролю:

1. **Вхідний контроль** основних компонентів для підтвердження відповідності їх вимогам технологічної документації;
2. **Операційний контроль** підготовки та укладання компонентів для підтвердження відповідності форми та розмірів для розміщення у замкнутому просторі;
3. **Контроль якості усунення дефектів** з'єднання, виявлених будь-яким методом для підтвердження повноти видалення дефектів з'єднання між компонентами в системі контролю параметрів;

Прикладом системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі можна вважати спеціальне обладнання, призначене для культивування рослин у штучному середовищі, що називається GrowBox.

GrowBox – це пристрій для спрощеного вирощування рослин, які потребують чіткого відстеження параметрів середовища, що їх оточує.

Найчастіше такий пристрій представлений у вигляді кейсу або шафи різних розмірів з потрібним обладнанням для поливу рослин, провітрювання, освітлення та контролю цих параметрів. За допомогою GrowBox утворюються необхідні умови для будь-якого виду рослин і дає високі показники врожаю. На рис. 1.2 наведений зовнішній вигляд Growbox.

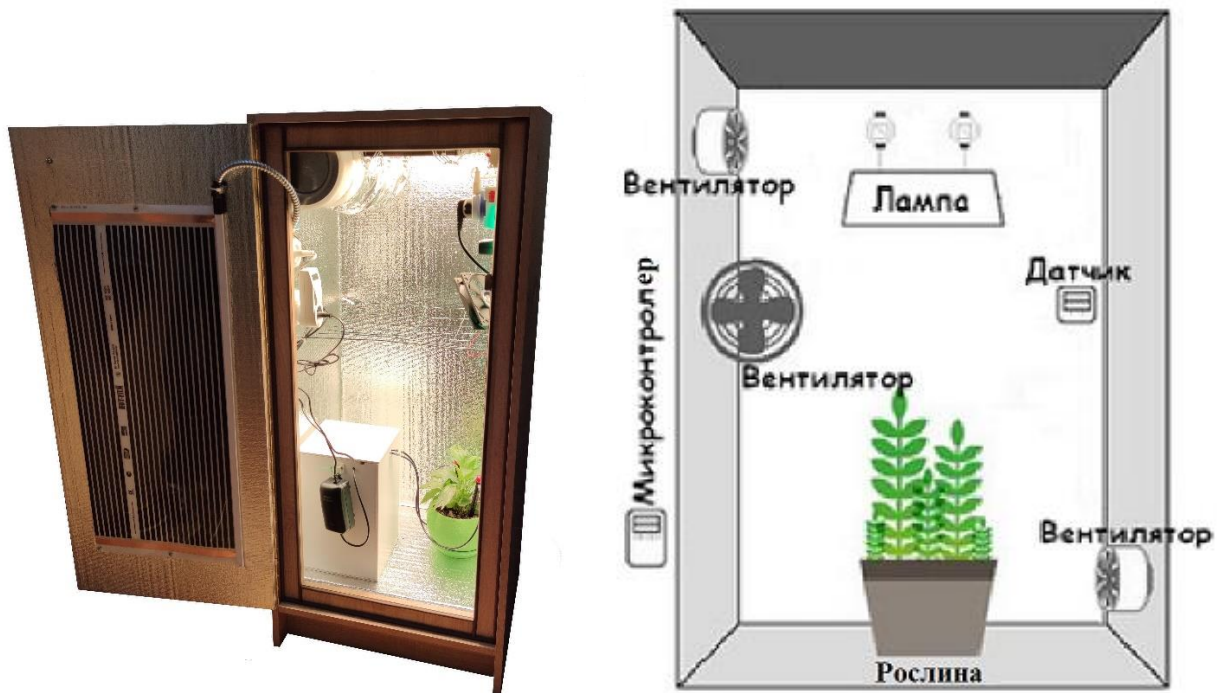


Рис. 1.2. Зовнішній вигляд Growbox

Growbox використовують:

- за бажання вирощувати овочі, квіти чи трави під час холодних періодів року;
- для створення та контролю параметрів необхідного рослинам мікроклімату;
- за відсутності достатнього вільного простору;
- для захисту рослин від шкідників чи хвороб.

Спрощена структурна схема GrowBox показано на рис. 1.3.

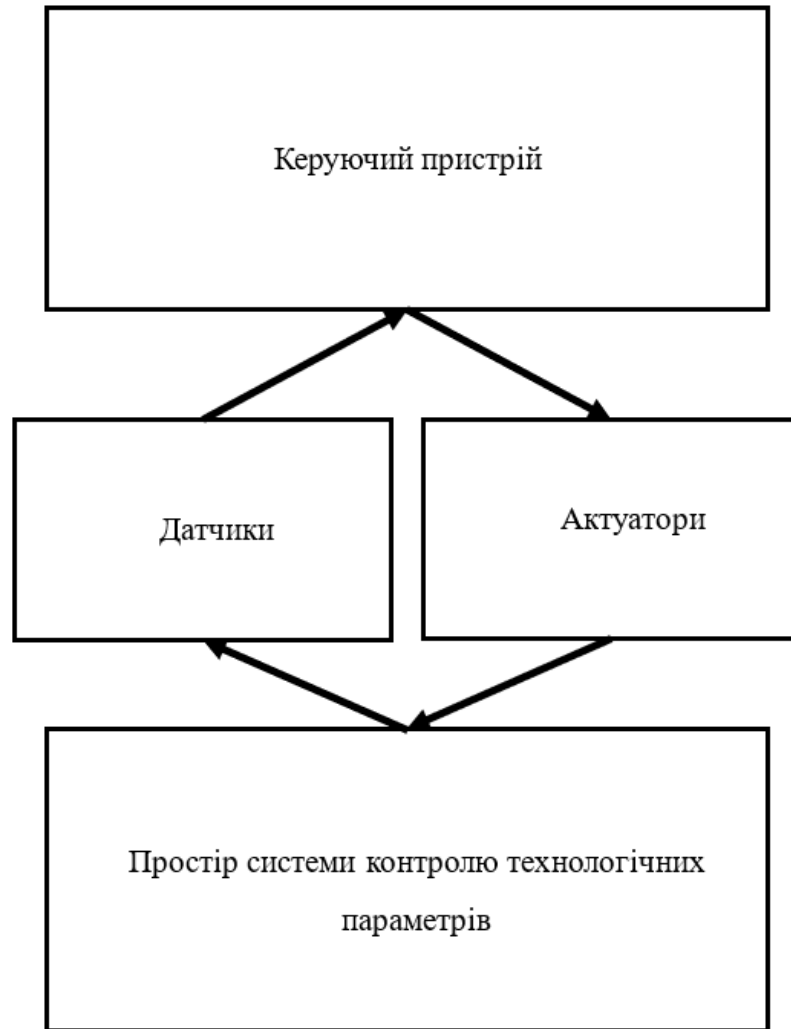


Рис. 1.3. Спрощена структурна схема GrowBox

1.4. Недоліки контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Недоліками систем контролю технологічних параметрів в замкненому просторі можна вважати приведені нижче фактори:

- неможливо візуально перевірити стан об'єкту, параметри якого контролюються;
- шум вентиляторів;
- потребує переналаштувань для кожного окремого об'єкту;
- відсутність зовнішніх інтерфейсів;
- потребує велике електроспоживання, що виключає живлення від акумуляторів.

1.5. Аналіз існуючих мікропроцесорних систем контролю технологічних параметрів

Розглянемо приклад типової локальної мікропроцесорної системи контролю (ЛМПСК) на мікроконтролері, структурну схему якої приведено на рис. 1.4 [7; 11].

ЛМПСК керує визначеним об'єктом керування (агрегатом) за декількома параметрами, наприклад, температурою, тиском, кутом повороту, переміщенням і т. ін. Система названа локальною, оскільки керування виробляється і здійснюється на нижньому (локальному) рівні складної ієрархічної системи керування, що включає безліч різних агрегатів (об'єктів керування). Основним елементом ЛМПСК є мікроконтролер, який називається веденим, оскільки передбачається, що в складній системі мається декілька подібних ведених МК, які керують окремими агрегатами на локальному рівні.

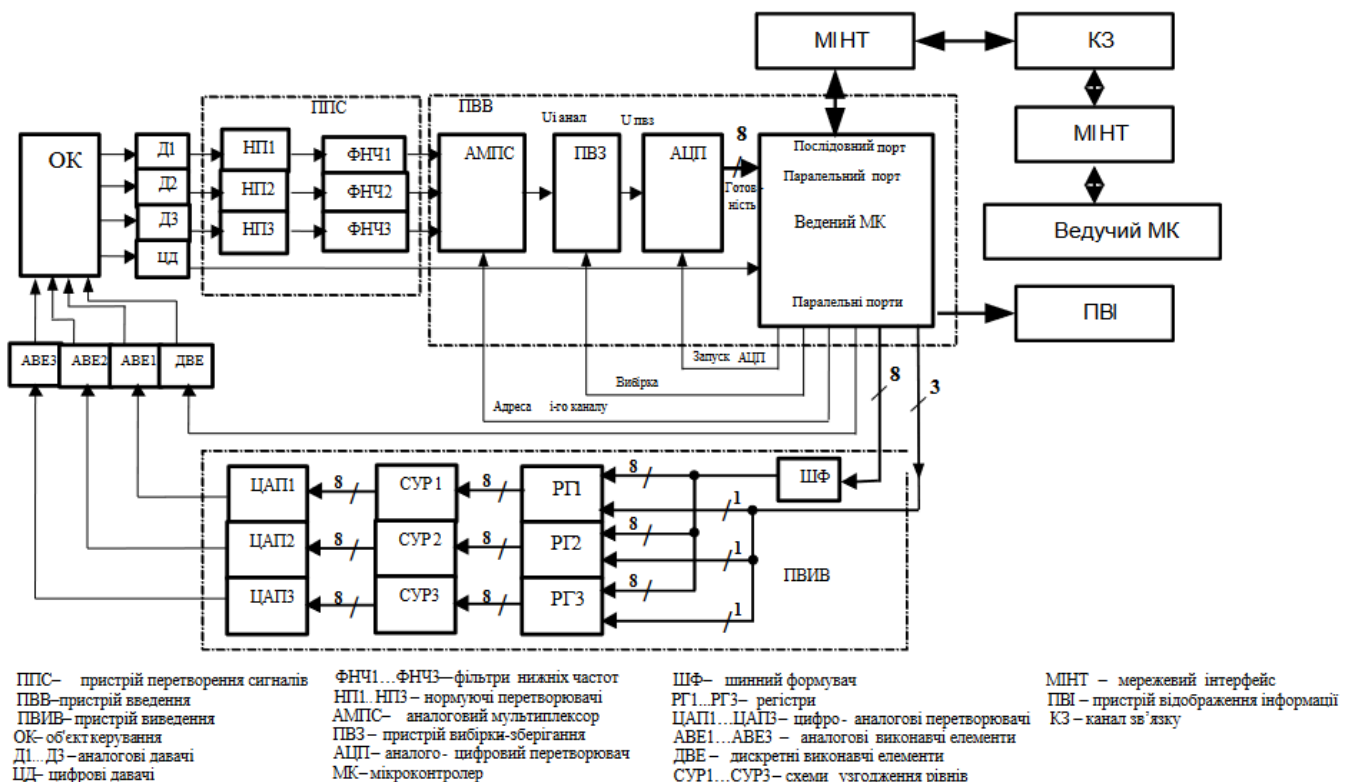


Рис. 1.4. Структурна схема локальної мікропроцесорної системи контролю

На вищому рівні ієрархії системи керування може знаходитися ведучий МК, який на основі інформації про стан окремих агрегатів виробляє необхідні значення заданих керувальних впливів для ведених МК. Ведучий і ведений МК можуть бути зв'язані між собою, наприклад, спільним моноканалом [11]. ЛМПСК підтримує кожний з конкретних параметрів на заданому рівні. Інформація про поточне значення параметрів контролю знімається з аналогових давачів (Д1...Д3) і проходить через нормувальні перетворювачі (НП1...НП3), які перетворюють діапазон зміни електричних сигналів, що знімаються з давачів, до діапазону вхідних сигналів, що відповідає обраному аналого-цифровому перетворювачу. Оскільки інформаційні сигнали в більшості систем керування – низькочастотні, то для придушення високочастотних завад використовуються фільтри нижніх частот (ФНЧ). Аналоговий мультиплексор по черзі підключає до АЦП один з декількох аналогових електричних сигналів, які зображують поточні значення контрольованих параметрів. У випадку, якщо за час перетворення АЦП, зміна вхідного сигналу відповідає зміні вихідного двійкового коду більше, ніж на одиницю молодшого значущого розряду, то для зменшення так званої «апертурної» похибки, яка виникає у цьому разі, у систему включають пристрій вибірки-зберігання (ПВЗ) [7; 12]. Пристрій вибірки-зберігання запам'ятовує миттєві значення вхідних аналогових сигналів у момент часової вибірки і підтримує їх постійними на вході АЦП протягом часу перетворення останнього. З виходу АЦП інформація у паралельному двійковому коді надходить у ведений МК, який порівнює поточне значення контрольованого параметра з заданим значенням і виробляє керувальний вплив відповідно до сигналу розузгодження та обраним законом керування (П, ПІ, ПІД). Сигнали керування, що знімаються з виходу одного з паралельних портів МК, запам'ятовуються у зовнішніх регістрах РГ1...РГ3. Для підвищення навантажувальної здатності виходів МК, у системі використано шинний формувач (ШФ). Виходи РГ1...РГ3 через схеми узгодження рівнів СУР1...СУР3 зв'язано з входами цифро-аналогових перетворювачів

ЦАП1...ЦАП3, що формують аналогові керувальні впливи, спрямовані на усунення сигналу розузгодження і призначені для відпрацьовування аналоговими виконавчими елементами (АВЕ1...АВЕ3). СУР1...СУР3 необхідні в тих випадках, коли рівні одиничних логічних сигналів, що знімаються з виходів регістрів, не відповідають необхідним рівням одиничних сигналів на входах ЦАП [9; 12]. У якості СУР, як правило, використовують логічні елементи з відкритим колектором [10].

У загальному випадку, ЛМПСК окрім аналогових давачів і виконавчих елементів можуть містити цифрові давачі і дискретні виконавчі елементи, які через паралельні порти та відповідні інтерфейси поєднуються з мікроконтролером.

1.6. Переваги мікропроцесорних систем контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Перевагами мікропроцесорних систем контролю технологічних параметрів в замкненому просторі можна вважати наступні фактори:

- ✓ висока точність контролю технологічних параметрів;
- ✓ є можливість змінити розмір системи під потрібні умови;
- ✓ збільшує об'єми виробництва продукції;
- ✓ відносно невелика собівартість;
- ✓ анулює ризик травм під час проведення контролю параметрів;
- ✓ створений для мінімізації клопоту;
- ✓ можливість заміни та апгрейду внутрішніх систем;
- ✓ простота при експлуатації;
- ✓ підходить для новачків;
- ✓ досить герметична конструкція, що не пропускає запахів;
- ✓ висока безпека об'єкту, що знаходиться всередині системи;
- ✓ тривалий термін служби;

Таким чином, виходячи з вищезазначеного, в подальшому покажемо шляхи усунення впливу факторів, які ускладнюють процес контролю технологічних параметрів у замкненому просторі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Проаналізовано системи контролю та їх процеси. Показано, що основним для процесу контролю є збір і врахування даних про значення технологічних параметрів в ході роботи системи, а об'єктами контролю є факти та події, перевірка виконання конкретних рішень, виявлення причин відхилень, оцінка ситуації, прогнозування наслідків.
2. Визначені критерії, яким має відповідати ефективна система контролю: точність, своєчасність, економічність, гнучкість, зрозумілість, обґрунтованість параметрів, стратегічна спрямованість, підтримка коригуючих дій.
3. Охарактеризовані основні методи контролю технологічних параметрів та визначені задачі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі.
4. Продемонстровано, що основною проблемою систем контролю параметрів в замкненому просторі є неможливість безпосередньої перевірки стану об'єкту, параметри якого контролюються, та визначені фактори, які ускладнюють процес контролю.
5. Проаналізовано існуючі мікропроцесорні системи контролю технологічних параметрів та охарактеризовані їх переваги. Це свідчить про доцільність застосування мікропроцесорних систем для контролю технологічних параметрів у замкненому просторі.

**РОЗДІЛ 2.
ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ
КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНЕНОМУ
ПРОСТОРІ**

2.1. Технічні та програмні вимоги системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Передбачувана багатофункціональна мікропроцесорна система повинна забезпечувати контроль технологічних параметрів в замкненому просторі в діапазонах вимірювання, що зазначені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні вимоги системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Найменування параметру	Мінімальне значення	Максимальне значення
Температура повітря	15° С	75° С
Вологість повітря	13%	95%
Вологість ґрунту	20%	100%
Рівень освітленості	30%	90%

Устаткування для розроблюваної багатофункціональної мікропроцесорної системи повинно мати гнучку структуру з можливістю масштабування, що передбачає модифікацію основних контурів контролю технологічних параметрів, відповідати кращим вітчизняним і зарубіжним зразкам, та забезпечувати максимальну уніфікацію.

Програмне забезпечення системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі має реалізувати наступні функції:

- візуального контролю за ходом технологічного процесу та його параметрами;

- всі призначені для користувача повідомлення повинні формуватися в контролері і передаватися в систему візуалізації, повідомлення повинні містити зручну для сприйняття інформацію;
- архівування та документування даних.

2.2. Структура багатofункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

Структура розроблюваної багатofункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, що представлена на рис. 2.1, має такі рівні: вимірювальний та взаємодії (контролюючий).

Рівень взаємодії поділяється на наступні підрівні:

- вимірювальні пристрої, такі як датчик вологості та температури повітря, датчик вологості ґрунту, модуль годинника реального часу для синхронізації даних, фоторезистор;
- актуатори, такі як водяна помпа, що розрахована на напругу 5В та електричну потужність 0,5 Вт, вентилятор, що розрахований на напругу 12В та електричну потужність 1,5 Вт, світлодіодна стрічка, що розрахована на напругу 5В.

Рівень взаємодії виконує наступні функції:

- збір та синхронізація даних;
- протокольний мережевий обмін інформацією з мікроконтролером;
- вплив на замкнений простір.

Контролюючий рівень – це блок обробки інформації та керування всією системою та засіб вводу/виводу інформації, що виконують:

- збір даних з датчиків і зберігання даних у пам'яті мікроконтролера;
- алгоритмічну обробку;
- реалізацію керуючих сигналів по закладених алгоритмах на керуючі пристрої;
- візуалізацію інформації;
- введення допустимих меж значень параметрів від користувача;

- протокольний мережевий обмін даними з датчиками.

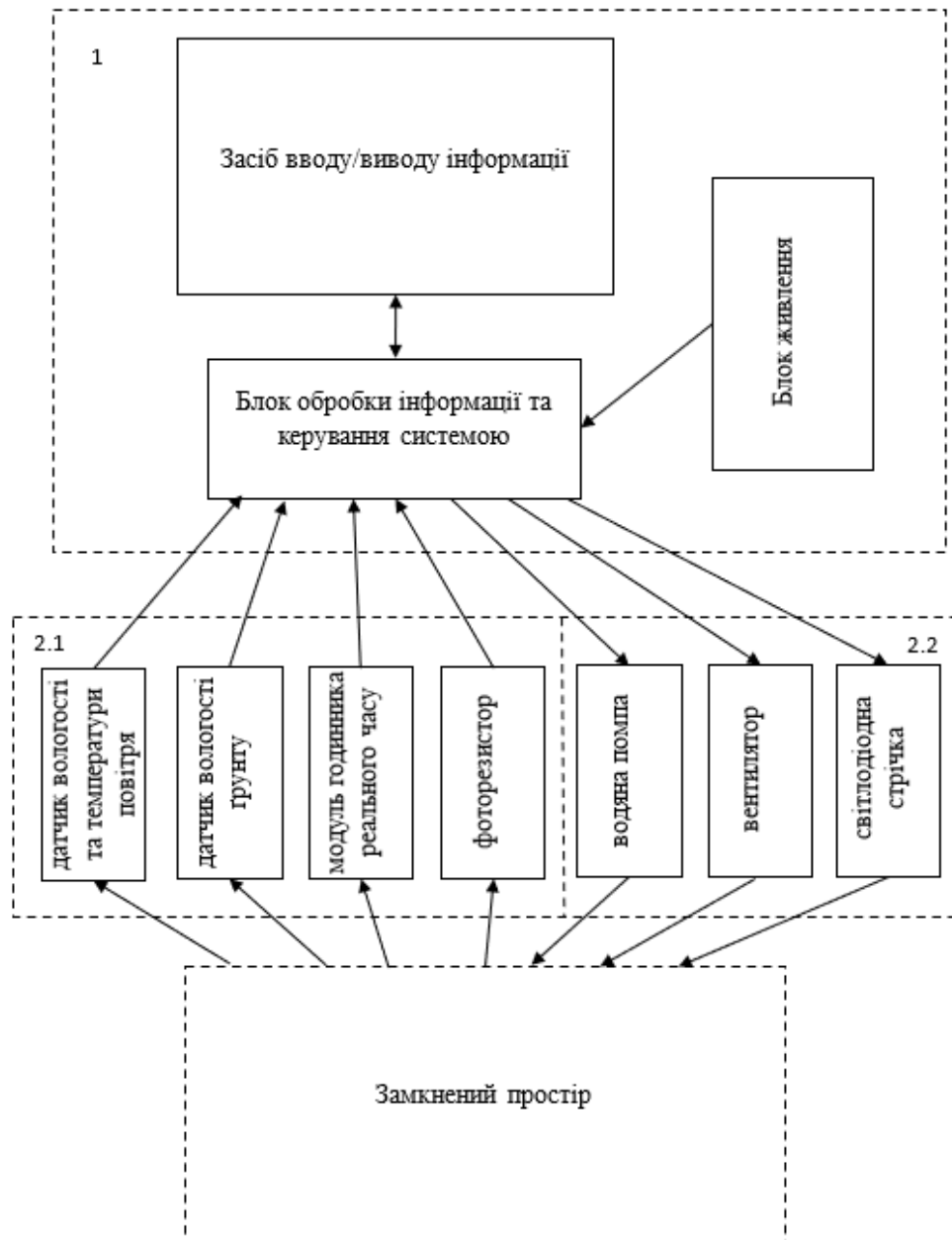


Рис. 2.1. Структура багатфункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі: 1 – контролюючий рівень, 2 – рівень взаємодії (2.1 – датчики; 2.2 – актуатори (виконавчі механізми))

2.3. Вибір апаратної платформи розроблюваної системи контролю

Виберемо апаратну платформу розроблюваної системи згідно структури, наведеної на рис. 2.1.

2.3.1. Мікроконтролер

В системі контролю мікроконтролер обробляє всю інформацію, яка надходить з різних датчиків та надає команди актуаторам.

Мікроконтролер – виконаний у вигляді мікросхеми спеціалізований комп'ютер, що включає мікропроцесор, оперативну та постійну пам'ять для збереження виконуваного коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

Використовується для керування електронними пристроями. Використання однієї мікросхеми значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

Мікроконтролери можна зустріти в багатьох сучасних приладах, таких як телефони, пральні машини, вони відповідають за роботу двигунів і систем гальмування сучасних автомобілів, з їх допомогою створюються системи контролю і системи збору інформації. На основі мікроконтролерів проєктують та створюють вимірювальні пристрої, системи керування об'єктами та процесами, вони є основою охоронних, протипожежних систем, домофонів, сигналізації тощо [8]. Більшість процесорів, що випускаються у світі – мікроконтролери.

Існує чимало варіантів мікроконтролерів та апаратних платформ у наш час. В свою чергу, не всі вони підходять під вимоги системи контролю.

Ардуіно – це широко розповсюджена платформа, що дозволяє розробляти різноманітні проєкти на базі мікроконтролера ATmega 328. Зовнішній вигляд плати Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega 328 показано на рис. 2.2.

На рис. 2.3 наведено найменування виводів плати Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega 328 [9].

Всього виводів 30, з них:

- 8 аналогових виводів, з них виводи для роботи з протоколом I2C;
- 2 виводи нульового провідника;
- вивід для живлення аналогової частини мікроконтролера,
- по одному виводу для живлення на 5 В та 3,3 В;

- 2 виводи для роботи з протоколом UART;
- 12 цифрових виводів, з них 3 виводи для роботи з протоколом SPI та 5 з можливістю працювати з ШІМ;
- 2 спеціальні виводи;
- 1 вивід головного живлення

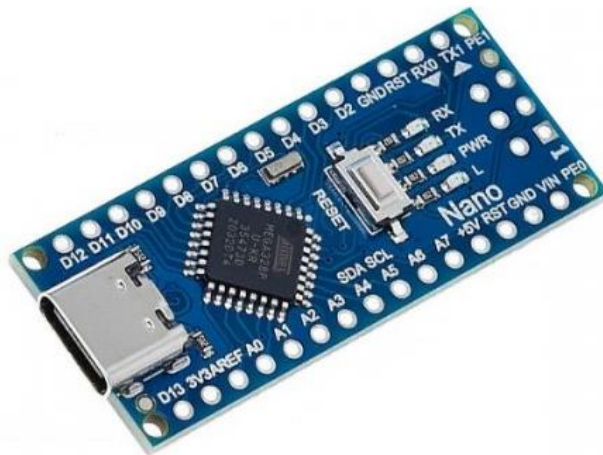


Рис. 2.2. Зовнішній вигляд плати Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega 328

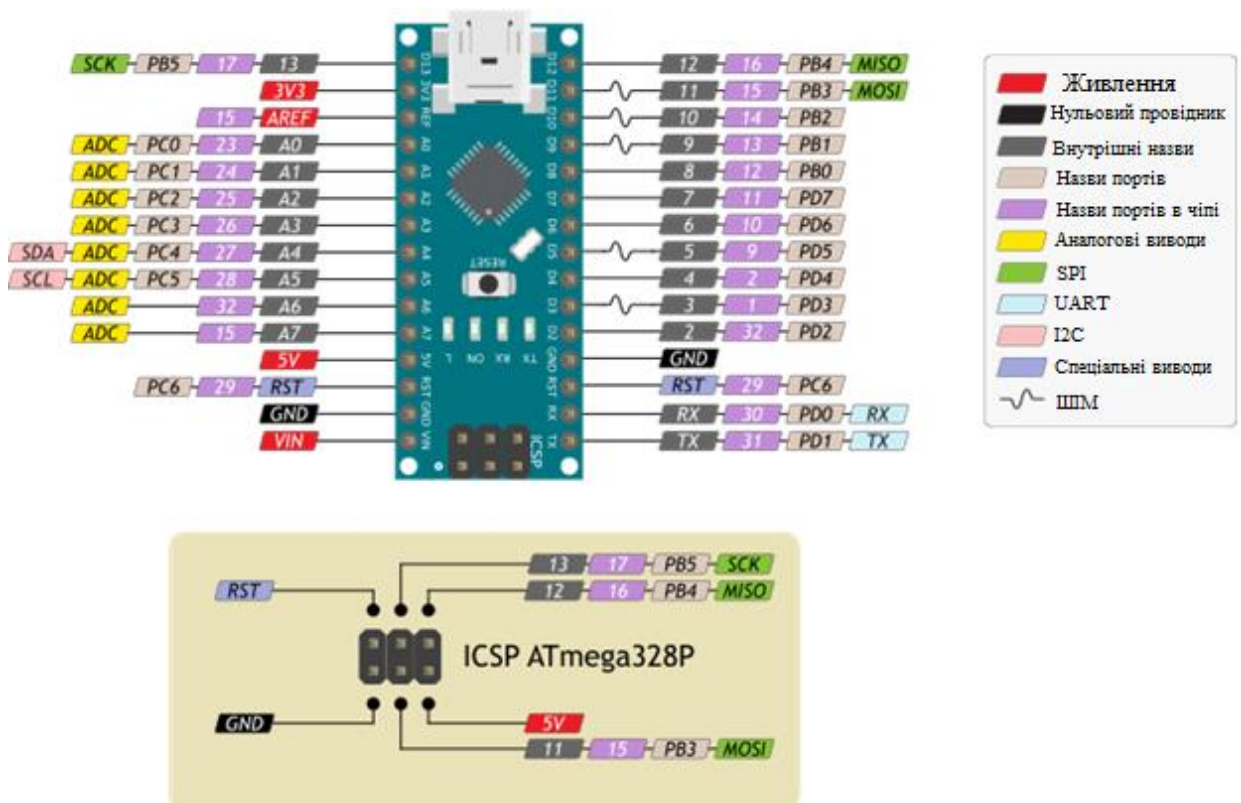


Рис. 2.3. Найменування виводів плати Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega 328

В якості мови програмування використовується спрощена мова програмування C або C++. А середовище програмування має назву Arduino IDE, та має вигляд, що представлено на рис. 2.4.

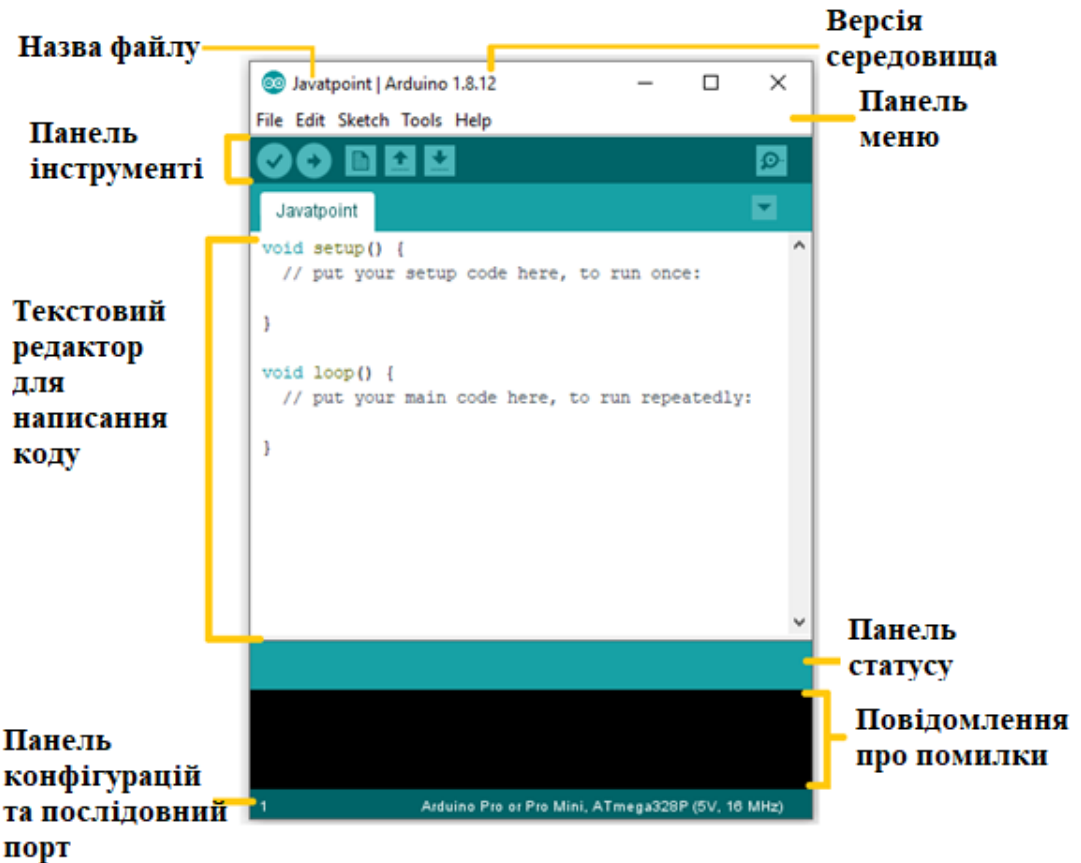


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд програмного середовища Arduino IDE

2.3.2. Панель з рідко-кристалічним екраном та клавіатурою

В якості засобу вводу/виводу інформації в розроблюваній системі контролю застосуємо LCD – електронний пристрій візуального відображення інформації (дисплей), принцип дії якого ґрунтується на явищі електричного переходу Фредерікса в рідких кристалах. Дисплей складається з довільної кількості кольорових або монохромних точок (пікселів), і джерела світла або відбивача (рефлектора).

Кожна з кольорових точок рідкокристалічного дисплея складається з кількох комірок (як правило, з трьох), попереду яких встановлюються світлові фільтри (найчастіше – червоний, синій і зелений). Тобто колір певної точки і

її яскравість визначається інтенсивностями світіння комірок, з яких вона складається.

Керування кожною рідкокристалічною коміркою здійснюється з допомогою напруги, яку подає на комірку один з тонкоплівкових транзисторів.

Рідкокристалічні дисплеї мають низьке енергоспоживання, тому вони знайшли широке застосування, як у кишенькових пристроях (годинниках, мобільних телефонах, кишенькових комп'ютерах), так і в комп'ютерних моніторах, телевізорах тощо.

Екран LCD є масивом пікселів, котрими можна маніпулювати для відображення інформації. LCD має кілька шарів, де ключову роль грають дві панелі, зроблені з вільного від натрію і дуже чистого скляного матеріалу, який називають субстратом або підкладкою. Проміжок між шарами заповнений тонким шаром рідкого кристалу. На панелях є борозенки, що надають їм спеціальної орієнтації. Борозенки розташовані паралельно між собою в межах кожної панелі, але борозенки однієї панелі перпендикулярні до борозенок іншої. Поздовжні борозенки утворюються внаслідок нанесення на скляну поверхню тонких плівок прозорого пластику, що потім спеціальним чином обробляється [10].

Борозенки орієнтують молекули рідкого кристалу однаково у всіх комірках. Молекули одного з типів рідких кристалів при відсутності напруги повертають вектори електричного (і магнітного) полів світлової хвилі на деякий кут у площині, перпендикулярній до напрямку поширення світлового променя. Нанесення борозенок на поверхню скла дозволяє забезпечити однаковий кут повороту площини поляризації для всіх комірок. Проміжок між панелями дуже тонкий.

Оберемо панель з клавіатурою LCD KeyPad Shield DFR0009, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 2.5.



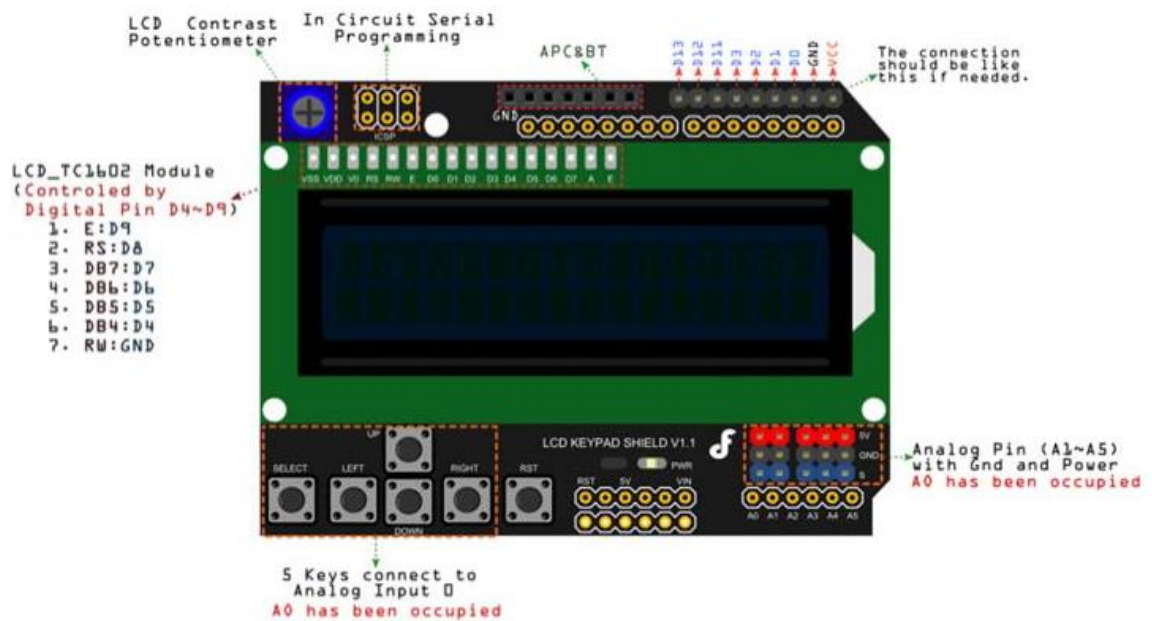
Рис. 2.5. Зовнішній вигляд панелі LCD Keypad Shield DFR0009

Така панель дуже популярна серед людей, що працюють з платою Arduino і містить РК-дисплей 2x16 і 6 миттєвих кнопок. Найменування виводів панелі з екраном та клавіатурою наведено на рис. 2.6. Контакти 4, 5, 6, 7, 8, 9 і 10 використовуються для підключення до екрану. РК-дисплей підтримує регулювання контрастності і функції ввімкнення/вимкнення підсвічування. Він також розширює аналогові контакти для легкого зчитування та відображення аналогового датчика. Клавіатура розроблена для сумісних з платформою Arduino плат, щоб забезпечити зручність у використанні інтерфейсу, який дозволяє користувачам переходити через меню, робити вибір тощо. Він складається з 1602 символів білого кольору та синього підсвічування LCD. Клавіатура складається з 5 клавiш — вибору, вгору, вправо, вниз і вліво. 6 клавiша – це клавiша для перезапуску панелі [11].

Характеристики панелі LCD Keypad Shield DFR0009:

- Робоча напруга: 5В
- 5 кнопок для відтворення керування меню
- Кнопка RST для скидання програми Arduino

- Інтегрований потенціометр для регулювання підсвічування
- Доступні розширені контакти введення/виведення
- Розмір: 80 x 58 мм
- Конструкція екрану: 16 символів у рядку * 2 рядки
- Протокол I2C не підтримується



Instruction for D4 To D10 and Analog Pin 0

Pin	Function	Instruction
Digital 4(D4)	D4~D7 are used as DB4~DB7	Four high order bidirectional tristate data bus pins. Used for data transfer and receive between the MPU and the LCD.
Digital 5(D5)		
Digital 6(D6)		
Digital 7(D7)		
Digital 8(D8)	RS	Choose Data or Signal Display
Digital 9(D9)	Enable	Starts data read/write
Digital 10(D10)	LCD Backlight Control	
Analog 0(A0)	Button select	Select, up, right, down and left

Рис. 2.6. Найменування виводів панелі LCD Keypad Shield DFR0009 з екраном та клавіатурою

2.3.3. Ємнісний датчик вологості ґрунту

Ємнісний датчик вологості ґрунту – надійний та точний датчик для вимірювання вологості ґрунту рослин. Цей датчик працює шляхом вимірювання ємності ґрунту, який прямо пропорційний рівню вологості ґрунту. Це важливий інструмент для садівників, фермерів та любителів, які хочуть контролювати та оптимізувати здоров'я та ріст рослин [10; 12].

Для реалізації системи контролю технологічних параметрів було обрано ємнісний датчик вологості ґрунту v1.2, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 2.7 [13].



Рис. 2.7. Зовнішній вигляд ємнісний датчик вологості ґрунту v1.2

Ємнісний датчик вологості ґрунту відрізняється міцною конструкцією та водонепроникним покриттям, яке дозволяє йому витримувати суворі зовнішні умови. Він поставляється зі стандартним 3-контактним інтерфейсом, який полегшує підключення до плати мікроконтролера, наприклад Arduino або Raspberry Pi. Датчик має діапазон робочої напруги від 3,3 до 5 і діапазон вимірювання рівня вологості від 0 до 100%.

Ємнісний датчик виконаний у вигляді штиря, яким занурюється в ґрунт на відстань до 80 мм. На штирі у вигляді доріжок розташовані два електроди, але на відміну від резистивної моделі, електроди ємнісного сенсора захищені струмоізолюючою маскою і не піддаються корозії.

Усередині ємнісного датчика знаходиться RC-генератор на таймері 555, частота якого залежить від ємності між двома електродами, які виконують роль конденсатора. Зміна вологості ґрунту позначається на його діелектричних властивостях та змінює ємність, що призводить до підвищення або зниження вихідного сигналу датчика. Підсумкова напруга пропорційна ступеню вологості ґрунту. Схема апаратного забезпечення ємнісного датчика вологості ґрунту представлено на рис. 2.8.

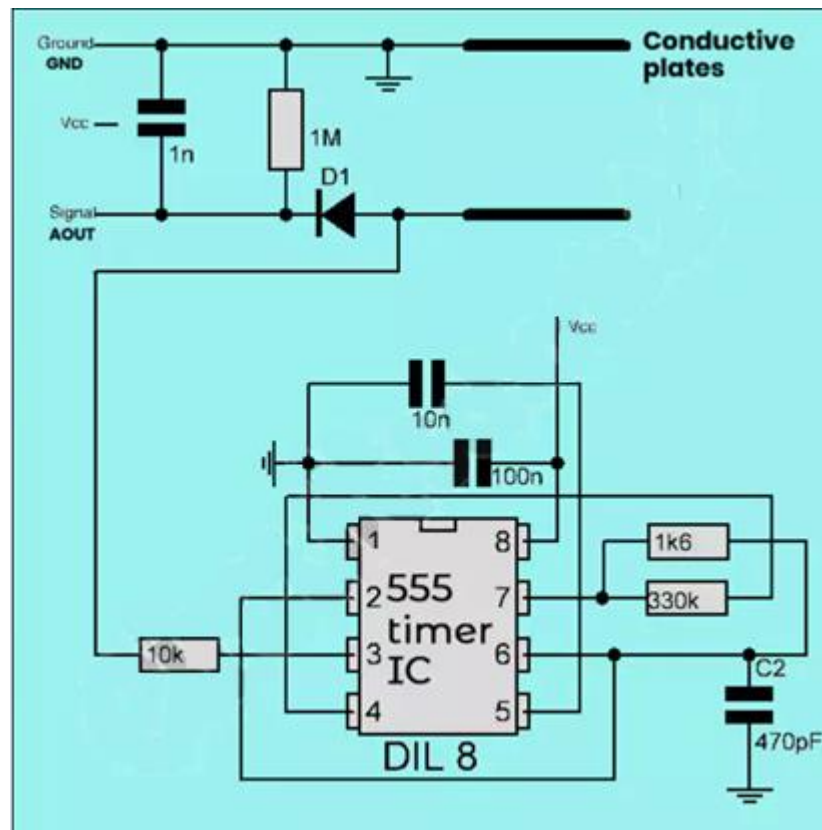


Рис. 2.8. Схема апаратного забезпечення ємнісного датчика вологості ґрунту v1.2

Характеристики ємнісного датчика вологості ґрунту v1.2:

- Тип датчика вологості ґрунту: ємнісний
- Напруга живлення: 3,3-5 В
- Споживаний струм: до 6 мА
- Інтерфейс: аналоговий сигнал
- Діапазон вихідного сигналу: 0,5-3,3 В
- Глибина занурення у ґрунт: до 80 мм
- Габарити: 118×20×7,6 мм

2.3.4. Датчик температури та вологості повітря

Для визначення температури та вологості повітря в певний момент часу в наведеній системі контролю застосовуємо датчик температури та вологості повітря АНТ20, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 2.9. Датчик вбудований у дворядну плоску безсвинцеву упаковку з дном 3 x 3 мм і висотою 1,0 мм. Датчик видає калібровані цифрові сигнали 2 у стандартному форматі

I2C. АНТ20 оснащений новоствореною мікросхемою ASIC, покращеним напівпровідниковим ємнісним чутливим елементом вологості та стандартним чутливим елементом температури на чіпі.

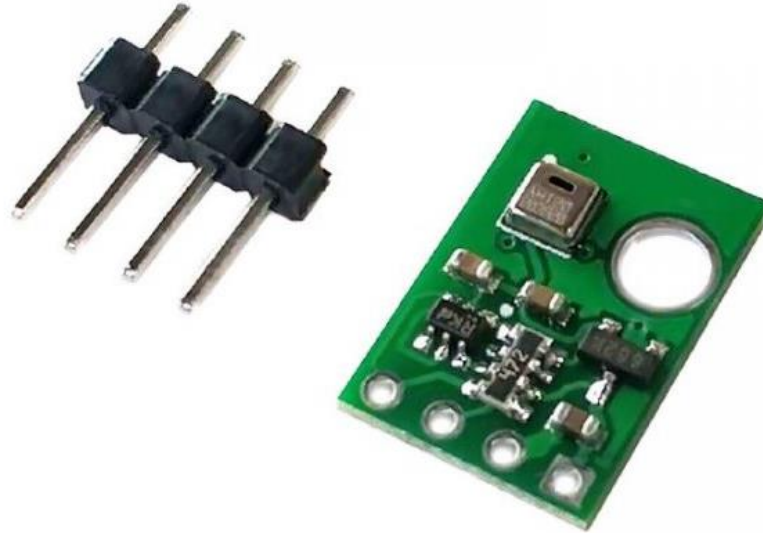


Рис. 2.9. Зовнішній вигляд датчика температури та вологості повітря АНТ20

Продуктивність датчика стабільна в запропонованому робочому діапазоні, як показано на рис. 2.10. Довготривалий вплив ненормального діапазону, особливо коли вологість $> 80\%$, може призвести до тимчасового дрейфу сигналу (дрейф $+ 3\%$ відносної вологості через 60 годин). Коли сенсор відновлюється до нормальних робочих умов, він повільно відновлюється до правильного стану [14].

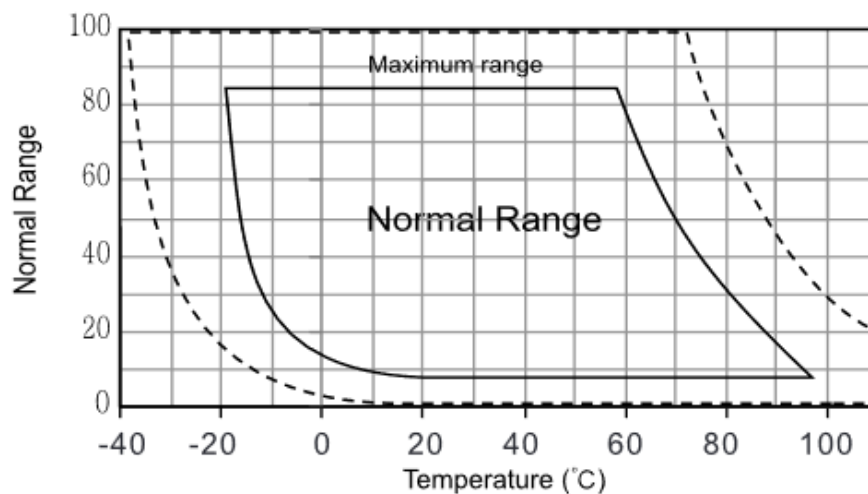


Рис. 2.10. Робочі умови датчика температури та вологості повітря АНТ20

2.3.5. Модуль годинника реального часу

Для визначення точного часу та дати, аби мати змогу точно визначити інші технологічні параметри для наведеної системи контролю оберемо модуль годинника реального часу PCF8563, який відрізняється високою точністю та низьким енергоспоживанням. На рис. 2.11 показано його зовнішній вигляд.

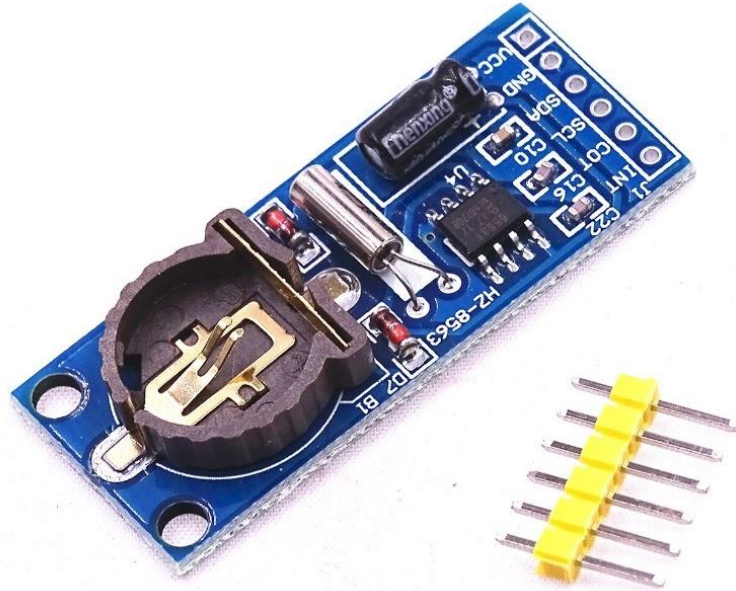


Рис. 2.11. Зовнішній вигляд модуля годинника реального часу PCF8563

Цей модуль годинника реального часу (RTC) зберігає інформацію про секунди, хвилини, години, день, дату, місяць і рік. У цьому модулі дата встановлюється залежно від того, чи містить місяць 29, 30 чи 31 день, а також високосний рік чи ні. Цей модуль також можна використовувати в 12-годинному та 24-годинному форматах [15].

Характеристики модуля годинника реального часу PCF8563:

- Робоча напруга: 1 – 5.5 В
- Точність ходу: $\pm 5\text{ppm}$ (± 0.432 сек/день)
- Інтерфейс: I2C
- Вихід прогамований: 32.768 kHz, 1.024 kHz, 32 Hz, 1 Hz
- Батарея: літієва CR1220 (у комплект не входить).
- Робоча температура: від -40 до $+85$

Особливості:

1. Плата PCF8563 RTC забезпечує функцію годинника/календаря в реальному часі, яка може працювати від батареї на платі та працює незалежно, навіть коли MCU вимкнено.
2. Недорогий, надзвичайно точний годинник реального часу I2C.
3. Підтримка каскаду шин I2C (може використовувати кілька модулів I2C)
4. Запасна батарея: коли систему вимкнено, резервна батарея подає живлення на мікросхему PCF8563. Низьке енергоспоживання PCF8563 гарантує, що батарея може нормально працювати протягом декількох років.
5. Кристалічний генератор: новий оригінальний кварцевий генератор забезпечує стабільний і точний час проходження мікросхеми PCF8563.

2.3.6. Фоторезистор

Фоторезистор – фотоелектричний напівпровідниковий приймач випромінювання, принцип дії якого ґрунтується на ефекті фотопровідності – явищі зменшення опору напівпровідника у разі збудження носіїв заряду світлом.

Характеризується однаковою провідністю незалежно від напрямку протікання струму. Найпопулярнішим напівпровідником для виготовлення фоторезисторів, є сульфід кадмію (CdS).

Фоторезистори є менш світлочутливими за фотодіоди чи фототранзистори, оскільки два останніх є справжніми напівпровідниковими приладами, у той час як фоторезистор є пасивним компонентом і не має р-n-переходу.

Для фоторезисторів також характерна деяка затримка між дією світла і наступною зміною опору, значення якої, як правило, складає близько 10 мс. Час затримки за переходу від освітлених до темних середовищ, є навіть ще більшим, і часто досягає 1 секунди. Ця властивість робить фоторезистори непридатними до вимірювання об'єктів, які швидко блимають [16; 18].

В представленій системі було використано фоторезистор GL55 з напівпровідником з сульфиду кадмію в якості датчика освітленості, аби

отримувати числовий відсоток освітленості в замкненому просторі [19]. Його зовнішній вигляд показано на рис. 2.12.



Рис. 2.12. Зовнішній вигляд фоторезистора GL55.

2.3.7. Світлодіодна стрічка

Світлодіодна стрічка – джерело світла, зібране на основі світлодіодів. Являє собою гнучку друковану (монтажну) плату, на якій рівновіддалено один від одного розташовані світлодіоди.

Зазвичай ширина стрічки становить 8 або 10 мм, товщина (зі світлодіодами) 2-3 мм. Для обмеження струму через світлодіоди електричну схему стрічки вводяться струмообмежувальні (резистори), які також монтується на стрічці.

Світлодіодні стрічки виробляються з використанням SMD і DIP технологій. Цифри в позначенні означають розмір чипа кристала в десятих частках міліметра. (SMD 3528 — розмір 3,5 мм на 2,8 мм.)

У конструкції кольорової стрічки використовуються кольорові світлодіоди, які фактично являють собою розміщені в одному корпусі світлодіоди трьох кольорів (червоний, зелений, синій), тобто цю стрічку можна представити як три одинарні стрічки, що конструктивно знаходяться на одній основі [20; 21].

Для представленої системи контролю було використано фітострічку на світлодіодах SMD 5050, що світиться ближче до ультрафіолету – довжина хвилі червоного світла становить 660 нм, а синього світла 450 нм. Таку

світлодіодну стрічку було використано задля забезпечення кращого освітлення для рослин. На рис. 2.13 представлено зовнішній вигляд обраної фітострічки [22].



Рис. 2.13. Зовнішній вигляд фітострічки на світлодіодах SMD 5050

Переваги фітострічки на світлодіодах SMD 5050:

- простота монтажу. Багато стрічок мають на звороті двосторонній скотч, що дозволяє їх легко кріпити практично на будь-які поверхні.
- електробезпека. Завдяки низькій напрузі живлення світлодіодної стрічки у більшості випадків не потрібно турбуватись про надійну ізоляцію струмопровідних частин стрічки. Для роботи в агресивних умовах випускаються стрічки у силіконовій захисній оболонці
- невисока ціна експлуатації. По відношенню світловий потік/вартість експлуатаційних витрат світлодіоди мають один з найвищих показників.
- надійність світлодіодів. У порівнянні з традиційними лампами розжарювання і люмінесцентними лампами, світлодіоди мають більший термін служби.

- необмежений потенціал у збільшенні світлового потоку в порівнянні з точковими джерелами. Немає небезпеки перегрівання елементів — світловий потік пропорційний довжині стрічки.
 - можливість реалізації оригінальних дизайнерських рішень за рахунок гнучкості та невеликої товщини світлодіодної стрічки.
 - можливість вибору бажаного колірної відтінку сцени при використанні RGB-світлодіодних стрічок з контролерами, що дозволяють керувати незалежно яскравістю кожного каналу.
- Недоліки фітострічки на світлодіодах SMD 5050:
- необхідність блока живлення для роботи в побутовій електромережі.

2.3.8. Водяна помпа

Водяна помпа – механізм для накачування або викачування рідин.

Використовують у сільськогосподарській діяльності, будівництві, транспорті, промисловості тощо. Робота помпи характеризується його подачею, напором, потужністю, коефіцієнтом корисної дії та частотою обертання [17; 20; 21].

Насоси, широко застосовуються в усіх без винятку галузях економіки в системах водо- і теплопостачання, водовідливу, переміщення гідросумішей твердих сипких матеріалів (в тому числі, вугілля, породи та відходів збагачення), нафти та нафтопродуктів (гасу, авіаційного палива, бензину, тощо).

В результаті аналізу представлених на ринку аналогів насосів було обрано наступний: міні водяна занурювана помпа, що розрахована на 5 Вольт та 2-3л/м аби реалізувати автоматизований полив ґрунту [23], зовнішній вигляд якого представлено на рис. 2.14.



Рис. 2.14 Зовнішній вигляд міні водяної занурюваної помпи

Технічні характеристики:

- Напруга: 2,5 – 6В
- Струм: до 200 мА
- Продуктивність: 80 – 120 л/год
- Підйом води: 40 – 110 см
- Зовнішній діаметр патрубків: 6 мм

2.3.9. Вентилятор

Вентилятор – обертальна лопаткова машина, що збільшує питому енергію повітря або інших газів, викликає безперервний їх потік при відносному максимальному стисненні.

Застосовують, зокрема, для провітрювання приміщень, очищення повітря в приміщеннях, для створення потоку газу (повітря) в технологічних апаратах, пневмотранспортних установках тощо. Основні виробники промислових вентиляторів: Systemair, Salda, Soler & Palau, Östberg, Dospel, Dantherm, Vents та ін [20; 24; 25].

В розробленій системі контролю технологічних параметрів було застосовано вентилятор моделі ALPB8691C задля реалізації провітрювання в замкненому просторі, що представлено на рис. 2.15.

Привід вентилятору електричний. Складається з набору лопаток, що обертаються, і які розміщені в захисному корпусі, що дозволяє повітрю проходити через нього. Лопатки обертаються безщітковим двигуном постійного струму, розрахованим на напругу від 5 до 12В [26].



Рис. 2.15. Зовнішній вигляд вентилятора моделі ALPB8691C

Характеристики:

- Бренд: OEM;
- Тип охолодження: активний кулер;
- Підсвічування: без підсвічування;
- Діаметр вентилятора: 80 мм;
- Максимальний рівень шуму: 32 дБ;
- Країна-виробник: Китай;
- Колір: чорний;
- Висота: 2.5 см;
- Ширина: 9.2 см;
- Глибина: 9.2 см;
- Вага: 0.09 кг.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Розроблені технічні та програмні вимоги, а також вимоги до структури та надійності багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі.
2. На основі висунутих вимог запропоновано структуру багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, яка має гнучку структуру з можливістю масштабування, що передбачає модифікацію основних контурів контролю технологічних параметрів, таких як вологість ґрунту, температура та вологість повітря, освітлення, подача води та контроль вентиляції простору.
3. Обґрунтований вибір технічних засобів апаратної платформи, застосування яких є доцільним в розроблюваній багатофункціональній мікропроцесорній системі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, що відповідає вимогам доступності обладнання та його невисокої вартості.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНеноМУ ПРОСТОРИ

3.1. Розроблення макету багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю

Згідно поставленого завдання дослідження розроблено макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 3.1. Макет розміщено у коробі, який імітує замкнений простір (на рис. 3.1 не показано).

Розроблений макет – це прототип системи, який відтворює функціональні можливості та роботу комплексу, призначеного для моніторингу технологічних параметрів у контрольованому приміщенні.

Основною метою такого макету є забезпечення контролю та стеження за різними технологічними параметрами, такими як температура та вологість повітря, вологість ґрунту та рівень освітленості. Макет містить компоненти у відповідності до розробленої структури (див. рис. 2.1), які співпрацюють для збору, обробки та аналізу даних.

Макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі може бути використаний для розробки та тестування систем контролю у різних сферах, таких як виробничі приміщення, лабораторії, медичні установи тощо. Він дозволяє побудувати ефективну систему контролю параметрів і забезпечити безпеку та ефективність роботи в замкненому просторі.

Під час розроблення макету були використані компоненти, що описані в п. 2.3 розділу 2. Мікроконтролер, як засіб обробки інформації, LCD екран, як засіб вводу/виводу інформації, датчик температури та вологості повітря, ємнісний датчик вологості ґрунту та фоторезистор, як чутливі елементи системи, водяна помпа, вентилятор та фітострічка, як актуатори системи контролю параметрів.

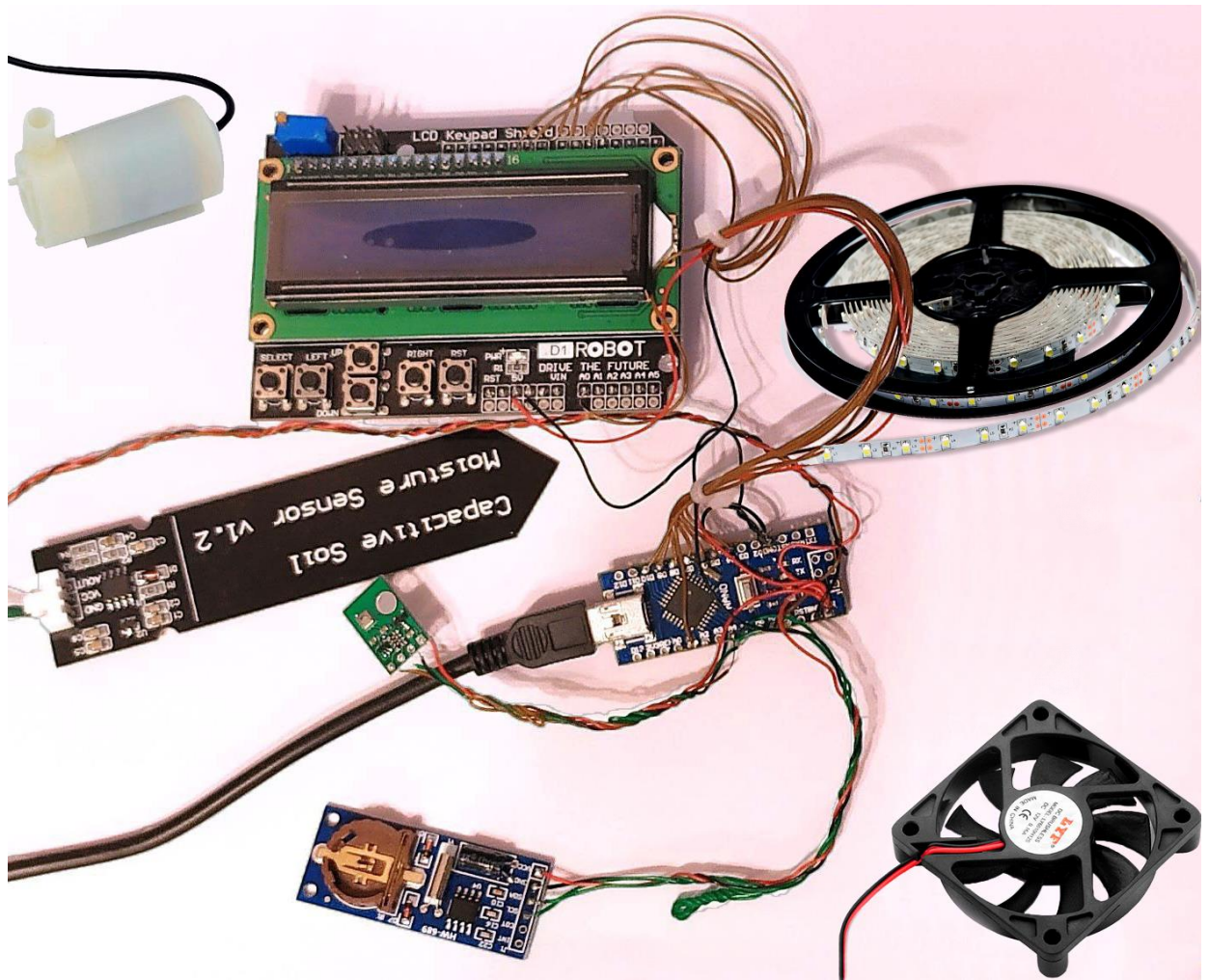


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд макету багатofункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів (без короба, який імітує замкнений простір)

Слід зазначити деякі додаткові можливості та особливості макету багатofункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі:

- журналювання та архівування даних. Макет може забезпечувати журналювання та архівування даних, що дозволяє зберігати дані про технологічні параметри для подальшого аналізу, статистичних обробок або використання у випадку аудиту або документування;
- можливість налаштування та розширення. Макет має гнучкі налаштування та можливості розширення, щоб відповідати конкретним вимогам технологічних процесів. Наприклад, система дозволяє додавати нові

датчики або інтегрувати зовнішні пристрої для збору та аналізу додаткових параметрів;

- реал-тайм моніторинг. Макет забезпечує реал-тайм моніторинг технологічних параметрів, дозволяючи отримувати актуальну інформацію про стан процесу.

Враховуючи ці особливості, макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі є потужним інструментом для контролю та керування технологічними процесами, забезпечуючи безпеку, ефективність та якість у контрольованому середовищі.

3.2. Алгоритм роботи системи контролю

В ході виконання кваліфікаційної роботи розроблено алгоритм роботи багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі представлений на рис. 3.2.

Алгоритм роботи розроблюваної системи контролю передбачає виконання наступних дій.

1. Ініціалізація датчиків. Система починає свою роботу з ініціалізації датчиків, щоб підготувати їх до зчитування числових значень контрольованих параметрів. Це може включати ініціалізацію з'єднання з датчиками, налаштування параметрів вимірювання та інше.
2. Зчитування значень датчиків. Система опитує датчики для отримання числових значень технологічних параметрів, таких як температура, вологість повітря, вологість ґрунту та освітленість. Отримані дані передаються до мікропроцесорного блоку для подальшої обробки.
3. Виведення даних на засіб вводу/виводу інформації. Зчитані значення технологічних параметрів виводяться на засіб вводу/виводу інформації, (LCD екран). Це дозволяє операторам в реальному часі відслідковувати та аналізувати дані.

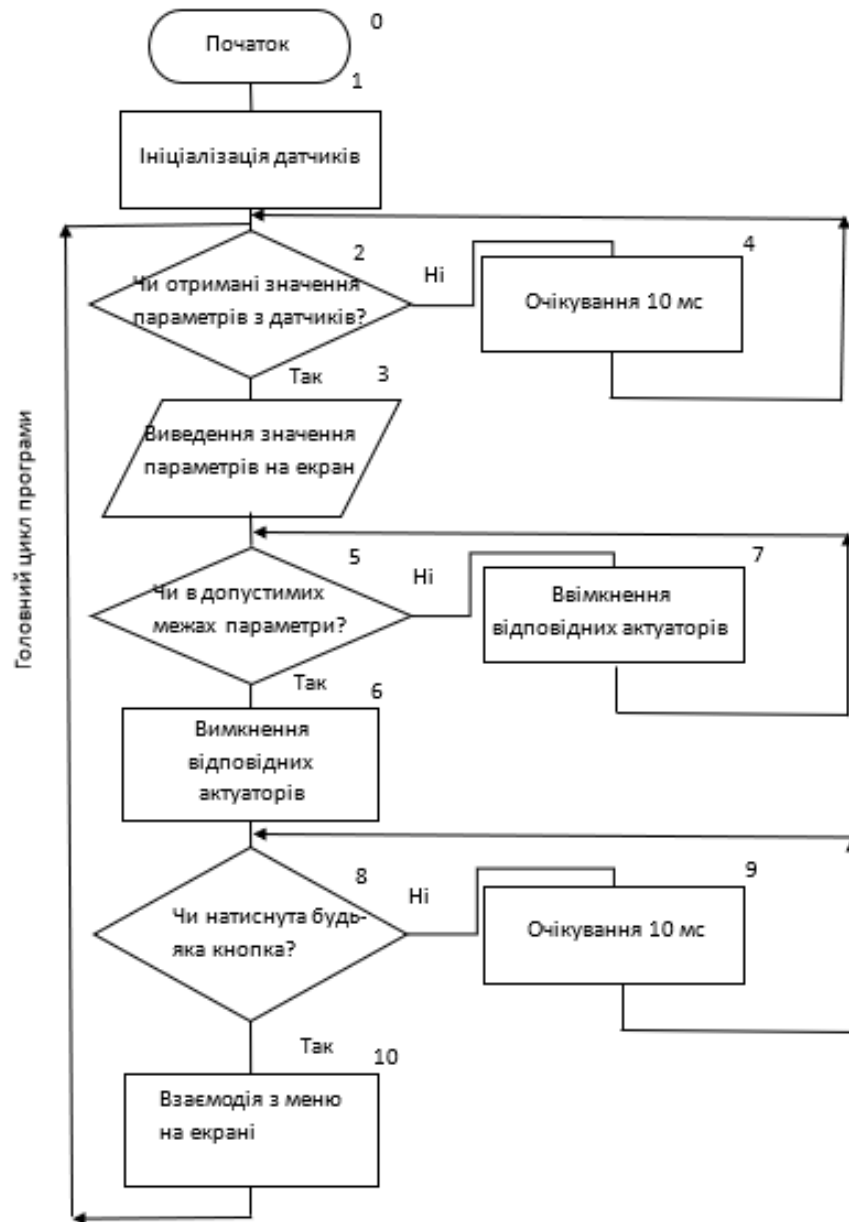


Рис. 3.2. Алгоритм роботи багатofункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі

4. Перевірка допустимих меж контрольованого параметру. Система перевіряє, чи отримані значення параметрів знаходяться в допустимих межах. Якщо значення знаходяться в межах норми, виконуються відповідні дії, наприклад, вимкнення актуаторів. У разі виходу за допустимі межі відбувається активація відповідних актуаторів або подальші керуючі дії.

5. Взаємодія з меню (перевірка кнопок) (блок 8). Система перевіряє, чи натиснута будь-яка кнопка для взаємодії з меню на LCD екрані. Якщо кнопка натиснута, відбувається перехід до відповідних функцій меню. У випадку, якщо нічого не було натиснуто, система чекає 10 мілісекунд і знову перевіряє наявність натиснутих кнопок.
6. Циклічне повторення. Після виконання всіх попередніх операцій система повертається до виконання дій передбачених блоком 2 алгоритму і продовжує роботу в циклічному режимі. Алгоритм забезпечує постійний моніторинг технологічних параметрів, контроль їх значень та прийняття відповідних дій для забезпечення безпеки і ефективності в замкненому просторі.

3.3. Розроблення програмного коду

Мова C++ – це універсальна мова програмування, яка забезпечує ефективність програмного коду, має елементи структурного програмування і багатий набір операторів [21]. Тому створювати програмний код будемо саме на ній.

З метою досягнення поставленої задачі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі за допомогою багатофункціональної мікропроцесорної системи розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера. У розроблюваній системі є можливість швидкої зміни програмного забезпечення, призначеного для користувача, без порушення функціонування системи. Багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкнутому просторі має гнучку структуру з можливістю масштабування, що передбачає модифікацію алгоритмів основних контурів контролю технологічних параметрів, таких як вологість ґрунту, температура та вологість повітря, освітлення, подача води та контроль вентиляції простору.

Нижче представлено блок-схеми розроблених алгоритмів програмної реалізації розроблюваної системи, яка містить 2 основні функції та ряд функцій користувача.

На рис. 3.3 наведено блок-схему функції користувача `read_LCD_buttons`, призначенням якої є визначити яка саме кнопка була натиснута, або не було натиснуто жодної, шляхом зчитування значення напруги з виводу A1 та порівнюючи це значення з заздалегідь відомими чисельними значеннями.

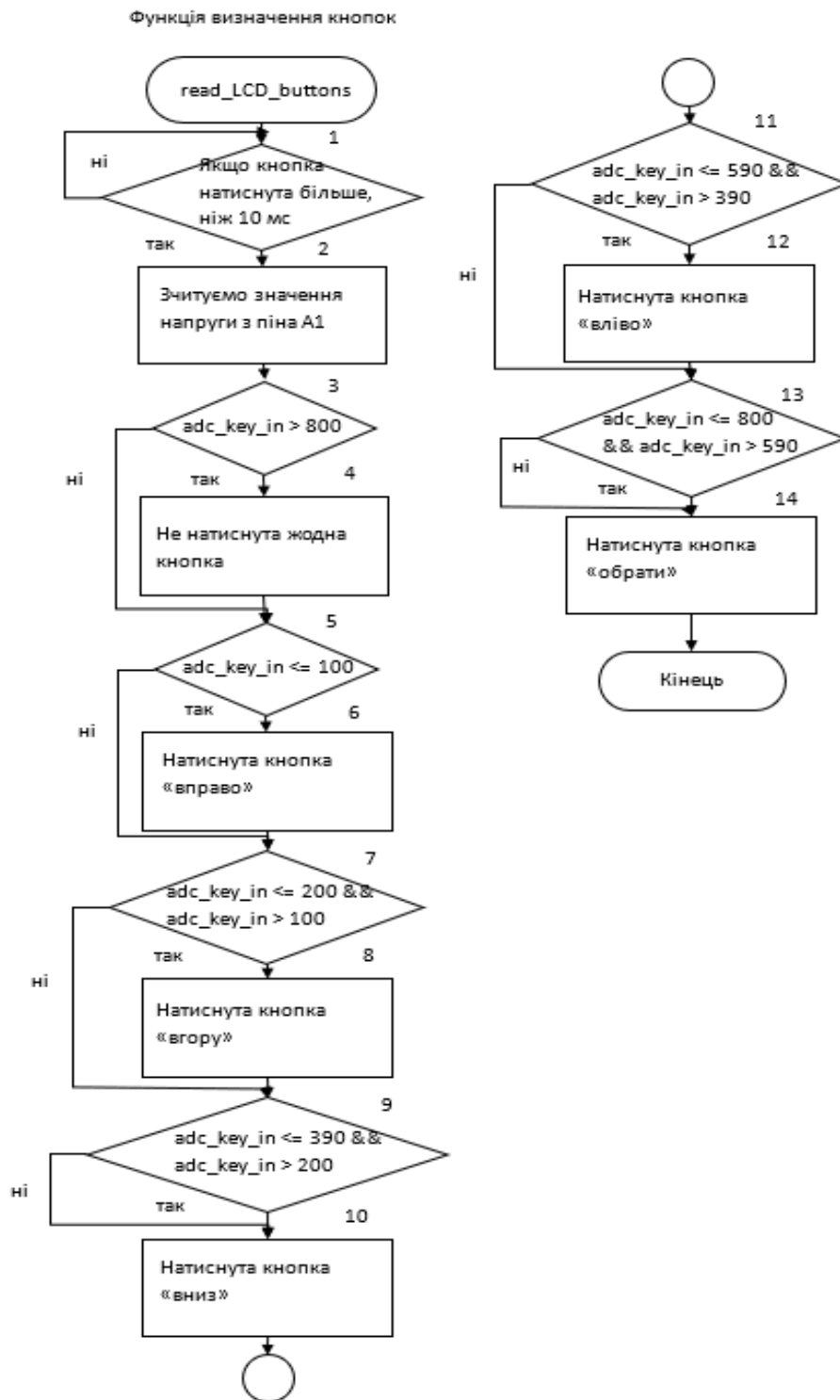


Рис. 3.3. Алгоритм функції визначення кнопок

На рис. 3.4 показано блок-схему функції користувача **btn_and_count**, яка організовує взаємодію з меню та інформацією на екрані в цілому. В цій функції реалізовано зміну сторінок меню з виведеними значеннями з датчиків вгору та вниз, обрання певного параметру та змінення цільового значення для обраного параметра.

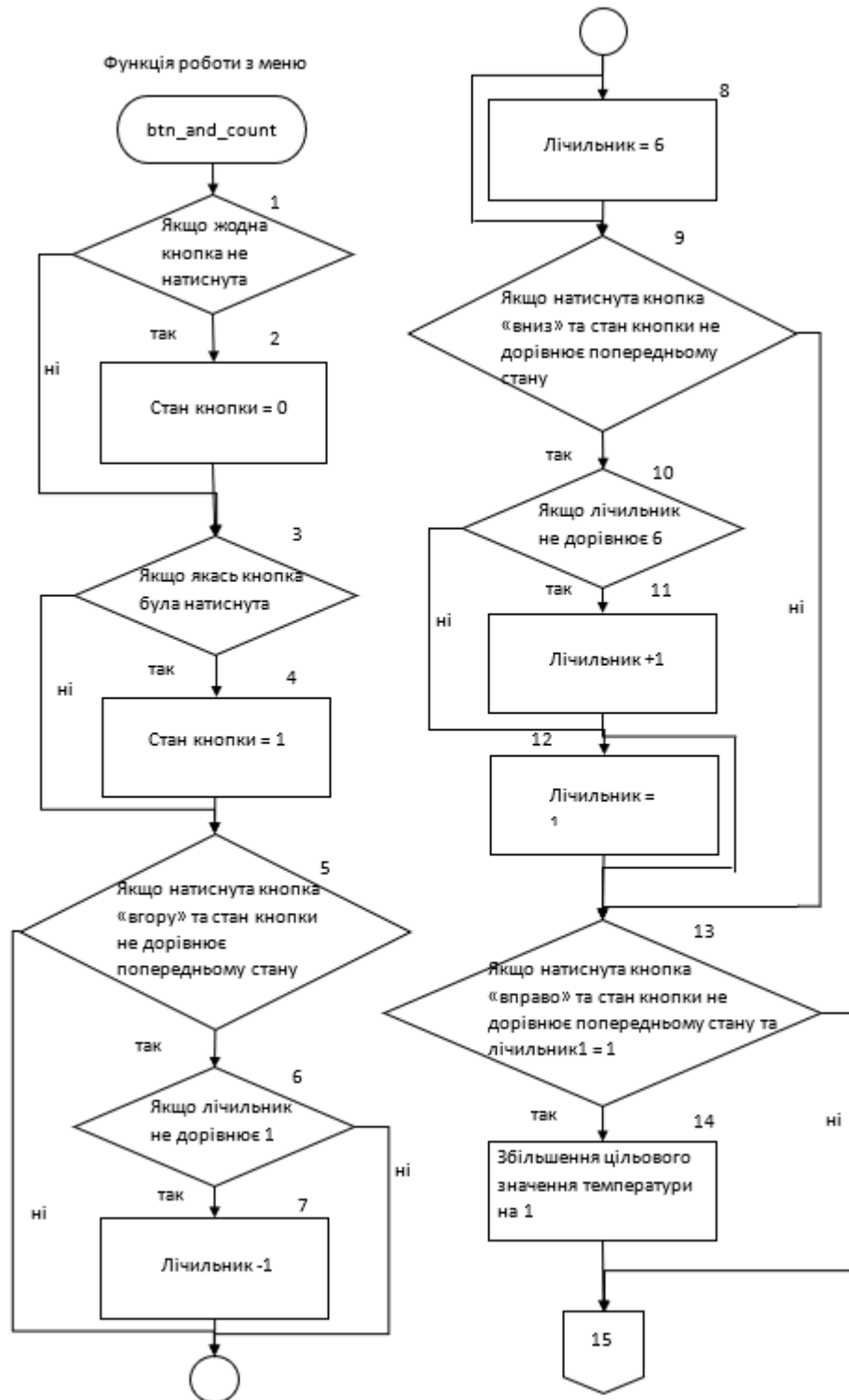


Рис. 3.4 Алгоритм функції роботи з меню

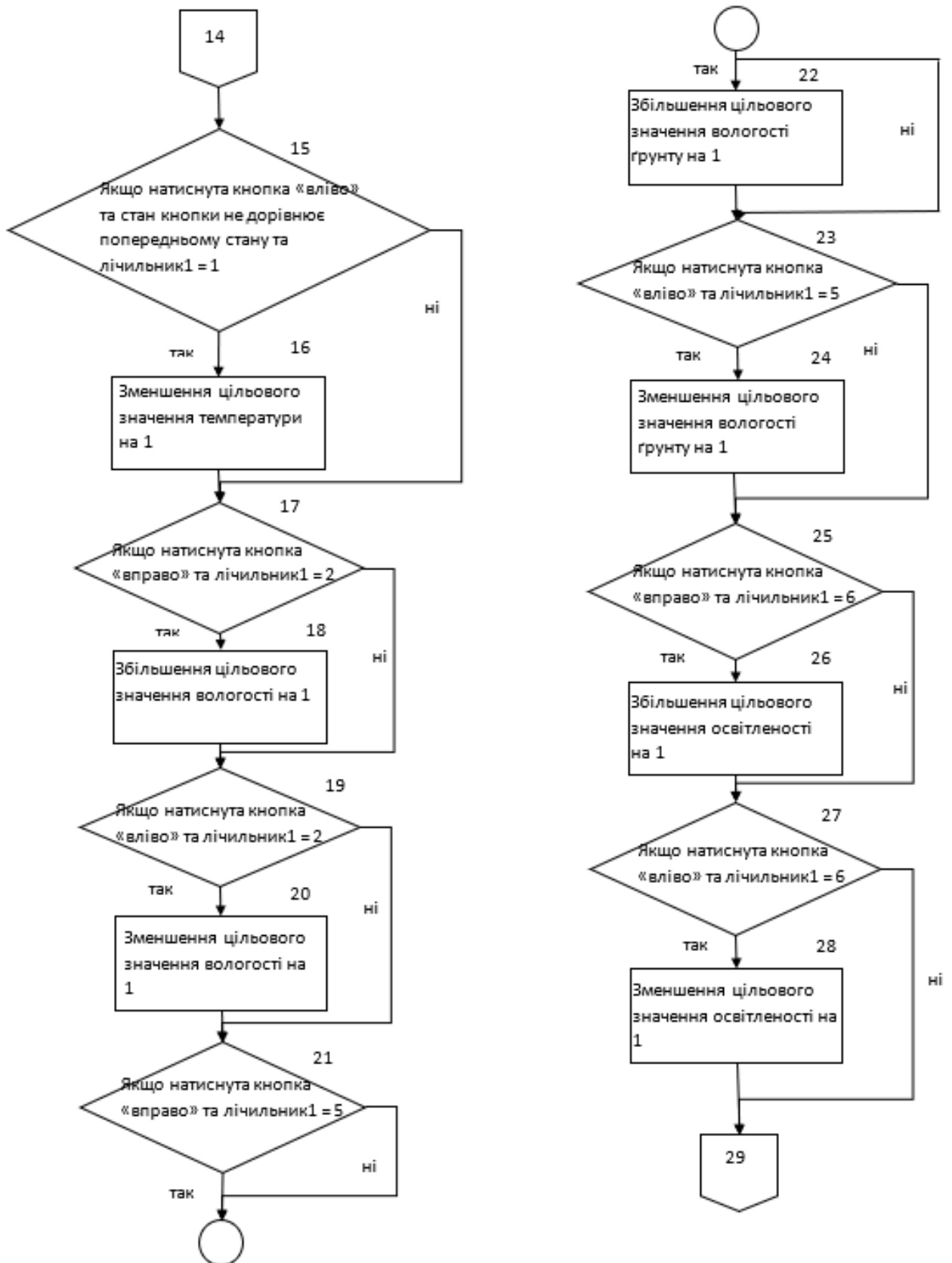


Рис. 3.5. Алгоритм функції роботи з меню (продовження)

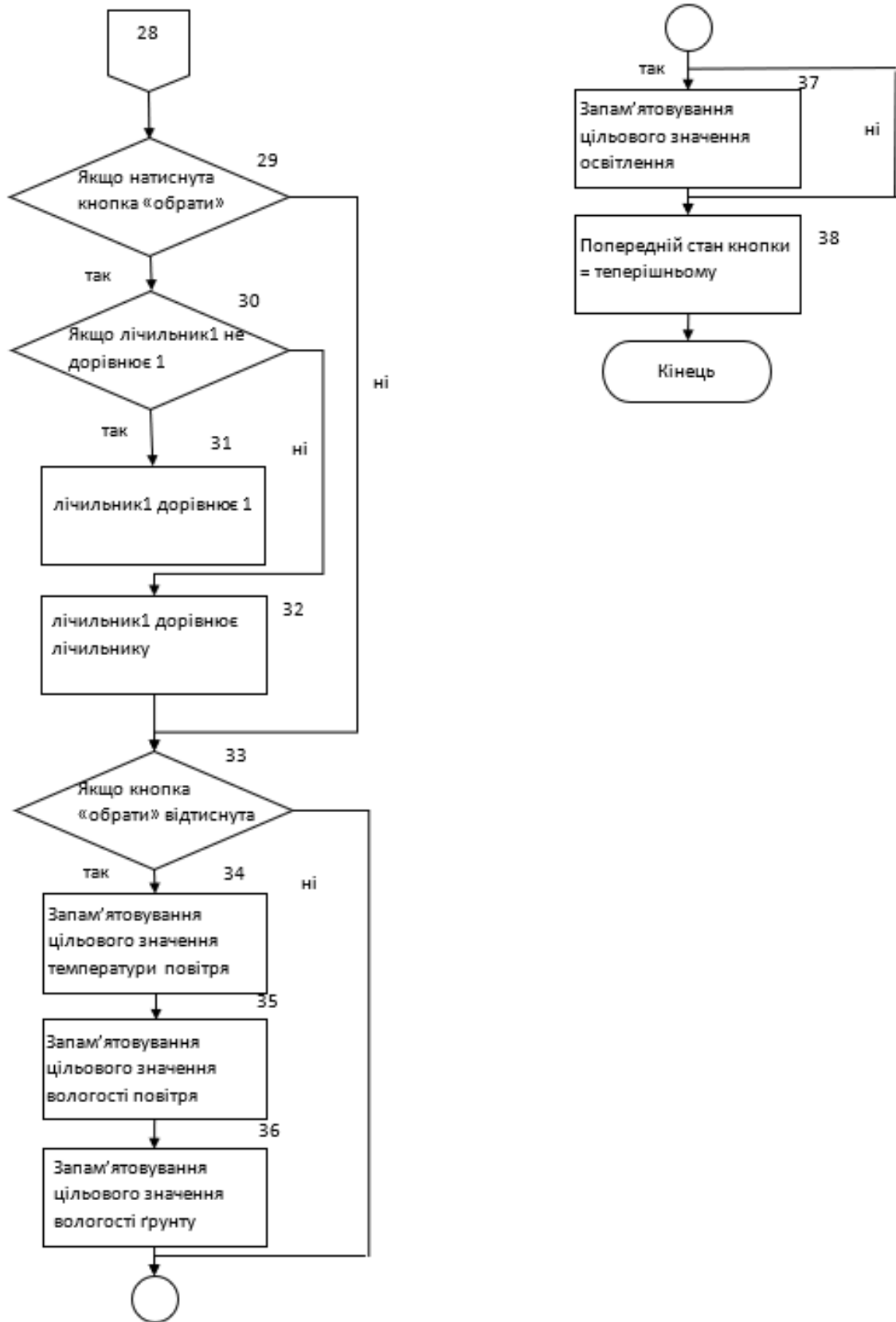


Рис. 3.6. Алгоритм функції роботи з меню (продовження)

На рис. 3.7 представлено блок-схеми функцій користувача **sensors** та **pid**. Функція **sensors** організовує зчитування значень технологічних параметрів таких як: температура та вологість повітря, вологість ґрунту та освітленість, з датчиків для підвищення швидкості роботи програми. Функція **pid** реалізує обчислення коефіцієнтів ПІД регулятора, обчислює похибку зчитування даних з датчиків та нівелює її. Слід зауважити, що функція **pid** викликається не в головній циклічній функції **loop**, як всі інші функції користувача, а в функції **sensors**, аби отримувати одразу стабільні, правильні значення параметрів з датчиків для подальших перетворень отриманих значень.

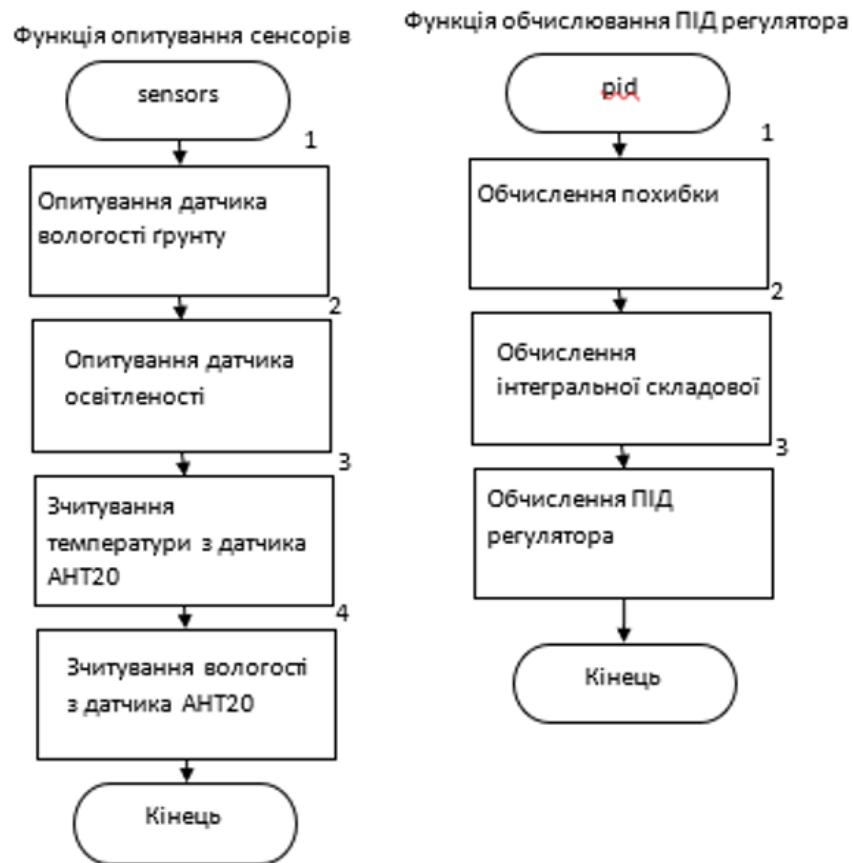


Рис. 3.7. Алгоритм функцій опитування сенсорів та обчислювання ПІД регулятора

На рис. 3.8. – 3.9. наведено блок-схему функції користувача **lcdprint**, що виводить всю інформацію про виміряні значення параметрів, отриману з датчиків, на LCD екран.

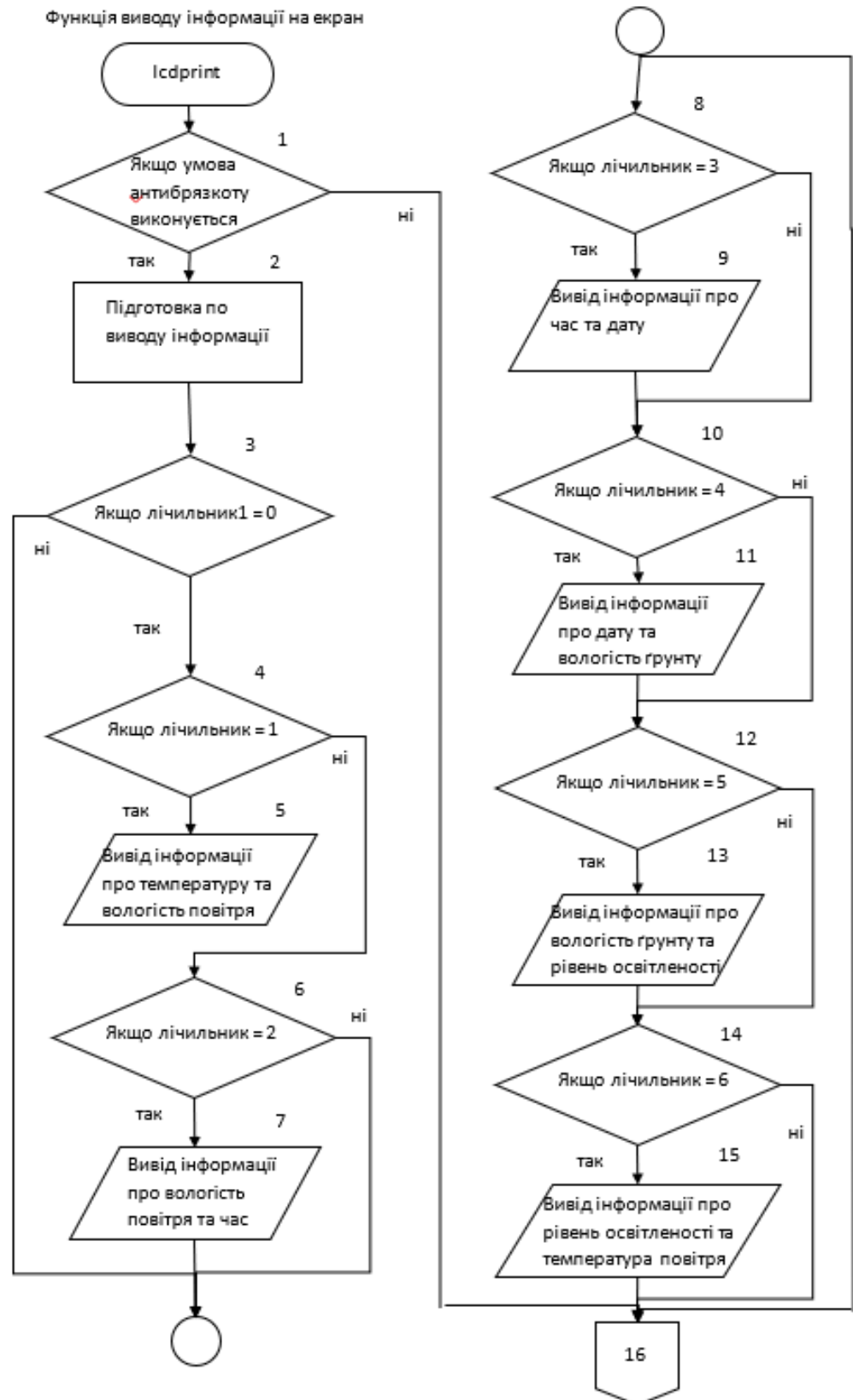


Рис. 3.8. Алгоритм функції виводу інформації на LCD екран

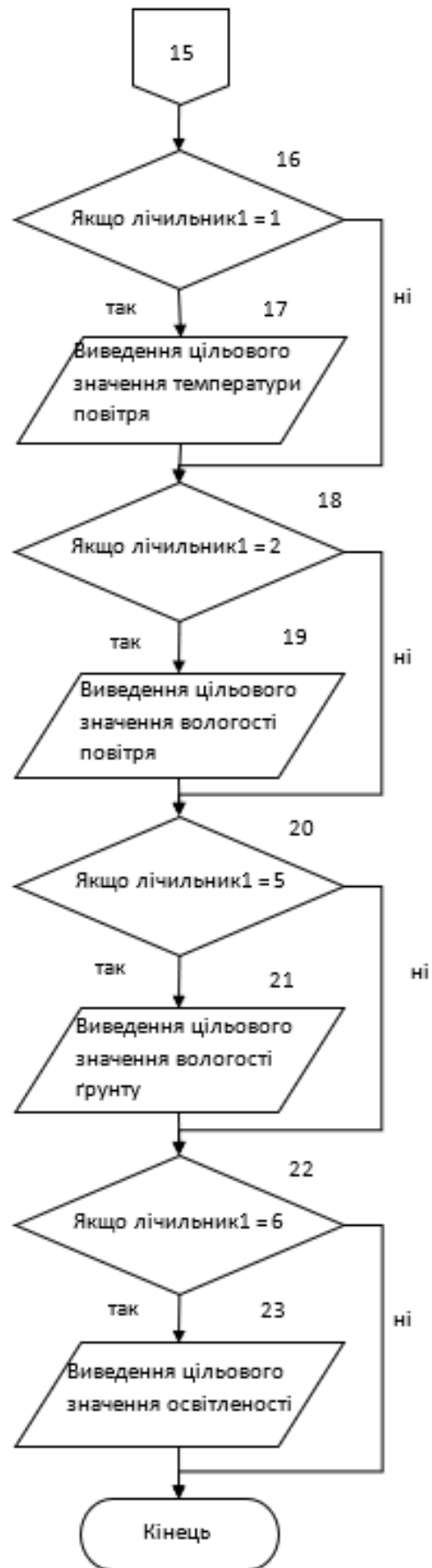


Рис. 3.9. Алгоритм функції виводу інформації на екран (продовження)

На рис. 3.10. зображено блок-схему функції користувача **confines**, що встановлює допустимі межі для всіх параметрів, що контролюються системою та перевіряє, залишаються значення параметрів у визначених межах.

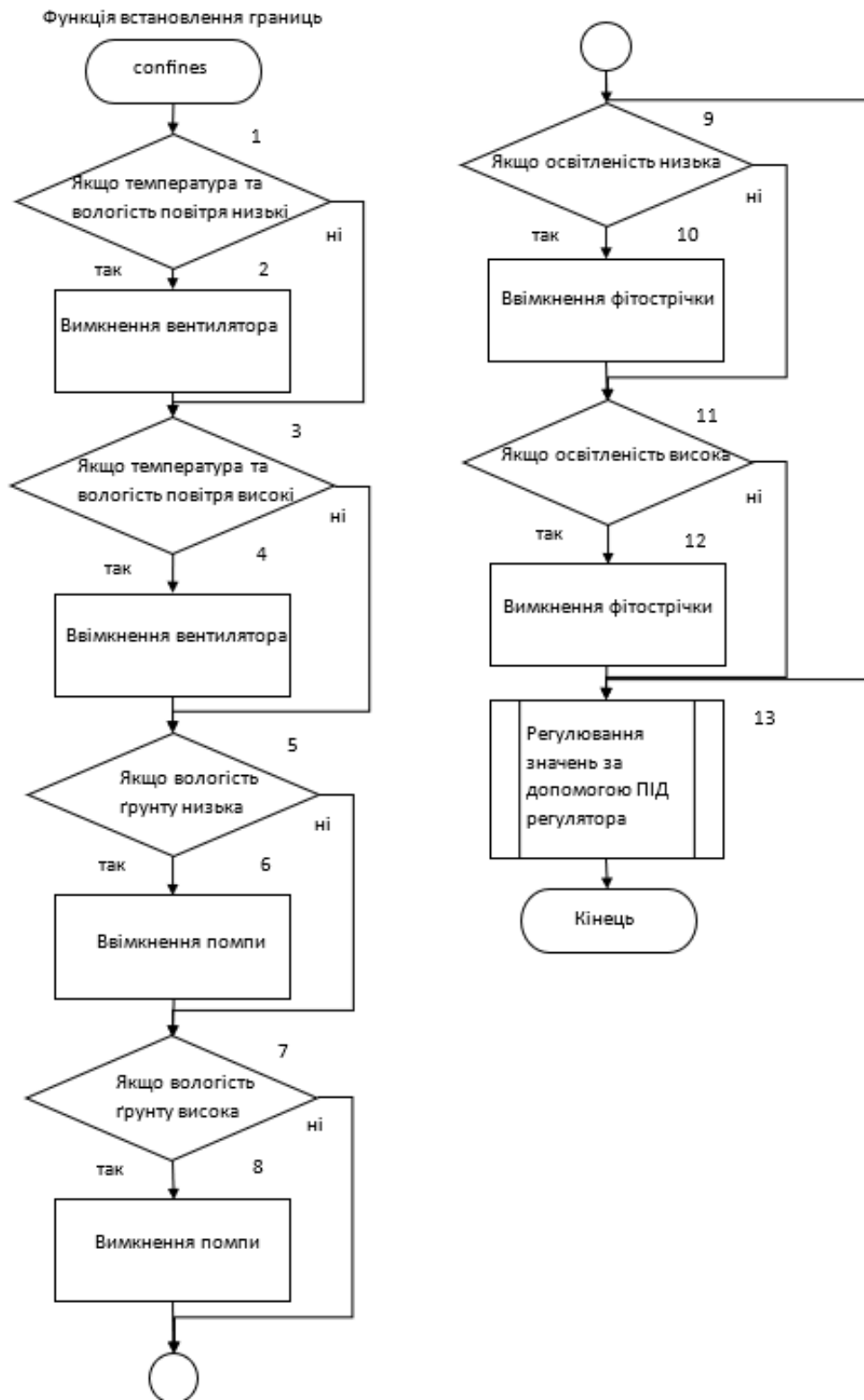


Рис. 3.10. Алгоритм функції встановлення меж параметрів

На рис. 3.11. представлено блок-схему головної функції ініціалізації **setup**, що ініціалізує всі датчики та екран за допомогою об'єктів, які було створено на початку програми, для подальшої роботи. Функція **setup** – це самостійна функція, що опрацьовується лише один раз за весь час роботи програми та не викликається в головній циклічній функції **loop**.

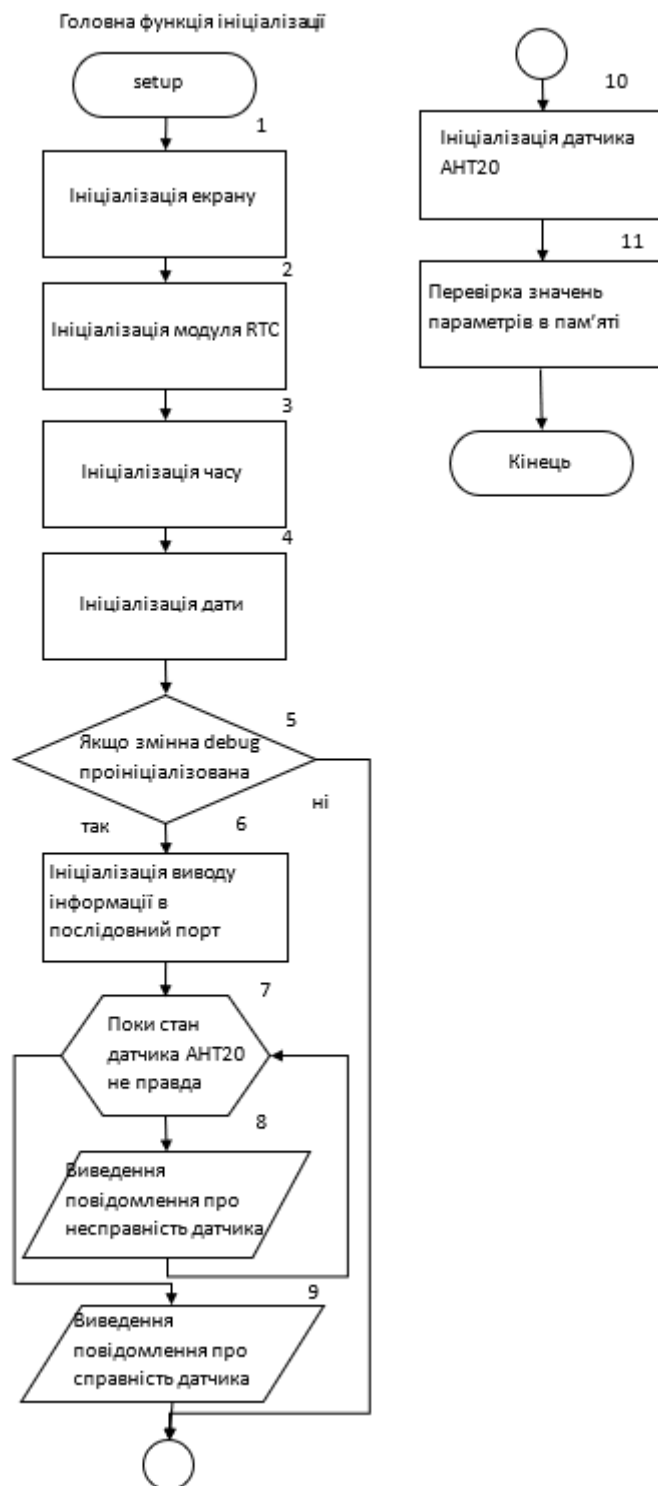


Рис. 3.11. Алгоритм головної функції ініціалізації

На рис. 3.12. наведено блок-схему головної циклічної функції **loop**, що є головним циклом програми та опрацьовується постійно. В ній викликаються всі вище опитані функції користувача, окрім функції **pid** та головної функції **setup**. Все, що викликається в функції **loop**, виконується постійно, поки працює програма та є живлення.



Рис. 3.12. Алгоритм головної циклічної функції

Програмний код реалізації програми керування для контролера за вищенаведеними алгоритмами представлено в додатку А.

3.4. Результати експериментальної реалізації системи контролю

Результати експериментальної реалізації системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі представлені нижче у вигляді фото зовнішнього вигляду меню, що реалізовано на LCD екрані.

На рис. 3.13 зображено першу сторінку меню, де проілюстровано значення параметрів температури та вологості повітря. На рис. 3.14 зображено першу підсторінку, де показано цільове значення обраного параметру, а саме: температури повітря, в представленому випадку це значення – 24°C. Як бачимо, вимірне значення температури – 24,30°C відрізняються лише на 0,30°C від цільового значення, що допустимо для наведеної системи контролю технологічних параметрів.



Рис. 3.13. Сторінка 1. Вимірне значення температури та вологості повітря



Рис. 3.14. Підсторінка 1. Вимірне значення та цільове значення температури повітря

На рис. 3.15 наведено значення вологості повітря у відсотках та актуальний час на момент вимірювання технологічних параметрів, а на рис. 3.16 зображено другу підсторінку меню, де проілюстровано цільове значення обраного параметру, а саме: вологості повітря, в представленому випадку це значення – 44%. Як видно з рис. 3.16, вимірне значення температури – 43,96% відрізняються лише на 0,04%, що допустимо для похибки наведеної системи контролю.



Рис. 3.15. Сторінка 2. Вимірне значення вологості повітря та актуальний час



Рис. 3.16. Підсторінка 2. Вимірне значення та цільове значення вологості повітря

На рис. 3.17 – 3.18 показано актуальні дату та час на момент перевірки результатів розробленого макету багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі та виміряне значення вологості ґрунту.



Рис. 3.17. Сторінка 3. Актуальні час та дата



Рис. 3.18. Сторінка 4. Актуальна дата та виміряне значення вологості ґрунту

На рис. 3.19. представлено 5 сторінку головного меню та значення параметрів вологості ґрунту та освітленості у відсотках. В той час, на рис. 3.20 показано виміряне та цільове значення обраного параметру, а саме: вологості ґрунту, в представленому випадку цільове значення вологості ґрунту – 30%, а виміряне значення параметру – 24 %. Отже, виміряне значення відрізняється від цільового на 6%, що допустимо для похибки обраного параметру наведеної системи контролю.



Рис. 3.19. Сторінка 5. Виміряні значення вологості ґрунту та освітленості



Рис. 3.20. Підсторінка 3. Виміряне та цільове значення вологості ґрунту

На рис. 3.19 показано останню сторінку меню та значення параметрів освітленості у відсотках та температури повітря. На рис. 3.22 наведено цільове значення обраного параметру, а саме: освітленості. Як видно з рис. 3.22 виміряне значення дорівнює 80%, в той час як цільове значення параметру дорівнює 79%. Отже, виміряне значення освітленості відрізняються на 1% від цільового значення, що допустимо для обраного параметру наведеної системи контролю.



Рис. 3.21. Сторінка 6. Виміряні значення освітленості та температури повітря



Рис. 3.22. Під сторінка 4. Виміряне та цільове значення освітленості

Загалом, представлені результати демонструють, що система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі має допустимими відхилення для кожного параметру.

3.5. Оцінювання вірогідності контролю

Однією з найважливіших кількісних оцінок вірогідності контролю є абсолютна вірогідність. Вона являє собою ймовірність прийняття правильного рішення про те, що результат перевірки відповідає фактичному стану об'єкта:

$$D = 1 - P_{\text{ПОМ}}, \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ПОМ}}$ – ймовірність хибних рішень під час контролю технологічних параметрів. Помилкові рішення під час контролю мають наступні складові:

- помилка першого роду α або ризик виробника (ймовірність помилкового рішення «хибна відмова»);
- помилка другого роду β або ризик споживача (ймовірність помилкового рішення «невизначена відмова»).

Ймовірність помилковості рішень представляється як

$$P_{\text{ПОМ}} = \alpha + \beta \quad (3.2)$$

Імовірність контролю технологічних параметрів визначається щільністю розподілу можливих значень контрольованого об'єкту, похибкою засобів вимірювання та допуском контролю технологічних параметрів. На контрольований параметр задається поле допуску у вигляді номінального значення та допустимого відхилення від нього:

$$(C_{\text{НОМ}} - K_{\text{ас}}\Delta_{\text{д}}) \leq C_x \leq (C_{\text{НОМ}} + \Delta_{\text{д}}) \quad (3.3)$$

де C_x – параметр, що контролюється;

$C_{\text{ном}}$ – номінальне значення параметру;

Δ_d – допустиме відхилення від номінального значення;

$K_{\text{ас}}$ – коефіцієнт асиметрії поля допуску.

Згідно з [30, 31, 32], за нормами похибки вимірювання поле допуску d симетричне, тобто $K_{\text{ас}} = 1$. Тоді, поле допуску визначається як $-\Delta_d \leq d \leq \Delta_d$.

Для розрахунку ризику виробника та ризику споживача при нормальному законі розподілу скористаємося наближеними рівняннями та номограмами, які наведені в [29]. Зокрема, для симетричного поля допуску d та відсутності систематичних похибок вимірювання помилка першого роду α визначається за рівнянням:

$$\alpha = \frac{0.3\rho(1+r\rho)}{1+0.6\rho(\rho-0.1)\sqrt{r}(1.9-r)} e^{-\frac{r^2}{2}} \quad (3.4)$$

а помилка другого роду β – за рівнянням:

$$\beta = \frac{0.3\rho\left(1-0.1\frac{\rho}{r}\right)}{1+0.8r\rho} e^{-\frac{r^2}{2}}, \quad (3.5)$$

де $r = \frac{d}{\bar{\sigma}(C_x)}$; $\rho = \frac{\bar{\sigma}(\Delta C_x)}{\bar{\sigma}(C_x)}$, причому $\bar{\sigma}(C_x)$ – середньоквадратичне відхилення

контрольованого параметру; $\bar{\sigma}(\Delta C_x)$ – середньоквадратичне відхилення похибки вимірювання.

Дослідження проводились за нормами похибки вимірювання. На основі проведених розрахунків були отримані значення, що представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Значення величин для оцінки вірогідності контролю технологічних параметрів

	Температура повітря	Вологість повітря	Вологість ґрунту	Освітленість
d	0.001%	0.001%	0.002%	0.003%
r	0,01	0,04	0,05	0,02
ρ	0,0001	0,0014	0,0008	0,0001
α	0,0005	0,0042	0,0024	0,00034
β	0,000032	0,0004	0.0002	0,00003

Ймовірність помилковості рішень для всіх параметрів, що контролюються системою, за рівнянням (3.2) становить:

$$P_{\text{ПОМ}}(\text{температури повітря}) = 0,0005 + 0,000032 = 0,000532$$

$$P_{\text{ПОМ}}(\text{вологості повітря}) = 0,0042 + 0,0004 = 0,0046$$

$$P_{\text{ПОМ}}(\text{вологості ґрунту}) = 0,0024 + 0,0002 = 0,0026$$

$$P_{\text{ПОМ}}(\text{освітленості}) = 0,00034 + 0,00003 = 0,00037$$

Тоді абсолютна вірогідність контролю для отриманих значень α та β з врахуванням (3.1) складає:

$$D(\text{температури повітря}) = 1 - 0,000532 = 0,999468$$

$$D(\text{вологості повітря}) = 1 - 0,0046 = 0,9954$$

$$D(\text{вологості ґрунту}) = 1 - 0,0026 = 0,9974$$

$$D(\text{освітленості}) = 1 - 0,00037 = 0,99963$$

Таким чином, після проведення оцінки вірогідності контролю можна стверджувати, що розроблювана багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі має достатню точність контролю.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Експериментально реалізовано макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів, таких як температура, вологість повітря, вологість ґрунту та освітленість, в замкненому просторі. Результати експерименту були задокументовані та описані, що дозволяє провести подальший аналіз та вдосконалення системи.
2. Розроблено алгоритм роботи системи, який передбачає ініціалізацію датчиків, зчитування значень параметрів, перевірку на відповідність допустимим границям, взаємодію з меню та циклічне повторення операцій.
3. Розроблено програмний код реалізації програми керування для контролера за наведеними алгоритмами. Проведені тестування підтверджують працездатність розробленого програмного коду, що дозволило створити прошивку для контролера.
4. Оцінка вірогідності контролю показала, що розроблювана багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі забезпечує достатню точність контролю, що є важливим фактором у контрольованому середовищі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу систем контролю та їх процесів показано, що в ході роботи системи основним для процесу контролю є збір і врахування даних про технологічні параметри, а об'єктами контролю є факти та події, перевірка виконання конкретних рішень, виявлення причин відхилень, оцінка ситуації, прогнозування наслідків.
2. Визначено критерії, яким має відповідати ефективна система контролю: точність, своєчасність, економічність, гнучкість, обґрунтованість параметрів, зрозумілість, підтримка коригуючих дій, стратегічна спрямованість.
3. Визначені задачі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі та продемонстровано, що неможливість безпосередньої перевірки стану об'єкту, параметри якого контролюються, є основною проблемою систем контролю в замкненому просторі.
4. На основі висунутих технічних та програмних вимог, а також вимог до структури та надійності запропоновано структуру багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів, таких як вологість ґрунту, температура та вологість повітря, освітлення, подача води та контроль вентиляції простору. Обґрунтований вибір технічних засобів апаратної платформи, застосування яких є доцільним в розроблюваній багатофункціональній мікропроцесорній системі контролю технологічних параметрів в замкненому просторі.
5. Експериментально реалізовано макет багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі, розроблено алгоритм роботи системи та програмний код для мікроконтролера.
6. Оцінка вірогідності контролю показала, що розроблювана система забезпечує достатню точність контролю в контрольованому середовищі, що є важливим фактором у контрольованому середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новацький А. О. Комп'ютерна електроніка-3. Мікропроцесорні системи. Апаратні засоби мікропроцесорних систем : підручник. / А. О. Новацький. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 470 с.
2. Новацький А. О. Імпульсна та цифрова електроніка : підручник. / А. О. Новацький. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 385 с.
3. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення.
5. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT)
6. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник, Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. - Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
7. Лісовець С.М. Застосування мікросистеми збору даних з інтерфейсом USB m-DAQ12/DAC для автоматизації швидкоплинних технологічних процесів / Лісовець С.М., Дроменко В.Б., Кучма Р.А., Бондаренко С.В. // Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості: Матеріали І Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (17 листопада 2020 р., м. Київ). – К. : КНУТД, 2020. С. 278-285.
8. Пушкар М. С. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М. С. Пушкар, С. М. Проценко. Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
9. Mouser [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mouser.com/pdfdocs/Gravitech_Arduino_Nano3_0.pdf
10. Новацький А. О. Комп'ютерна електроніка: Мікропроцесорні системи: Програмування мікропроцесорних систем : підручник. для студ. / А.О. Новацький. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 307 с.

11. Media.digikey [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0009_Web.pdf
12. Мілих В. І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / В. І. Мілих, О. О. Шавьолкін. – Київ. Видавництво «Каравела», 2018.
13. Circuitschools [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.circuitschools.com/interface-capacitive-soil-moisture-sensor-v1-2-with-arduino-lcd-and-oled/>
14. Files.seeedstudio [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-AHT20_I2C_Industrial_Grade_Temperature_and_Humidity_Sensor/AHT20-datasheet-2020-4-16.pdf
15. Nxp [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8563.pdf>
16. Поджаренко В.О. Основи мікропроцесорної техніки / В.О. Поджаренко, В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов. – Вінниця, 2006.
17. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. – К. : Вид-во «Ліра-К», 2011. -552с
18. Ткачов В.В. Мікропроцесорна техніка / В.В. Ткачов, Г. Грулер, Н. Нойбергер, С.М. Проценко, М.В. Козарь. – Дніпро, 2012.
19. Datasheetspdf [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/pdf/756925/SENBA/GL5516/1>
20. Огородник К. В. Мікропроцесорна техніка / К. В. Огородник, Б. П. Книш. – Вінниця, 2018.
21. Жабін В.І. Мікропроцесорні системи / В.І. Жабін, І.А. Жуков, В.В. Ткаченко, І.А. Клименко. – Київ, 2009.
22. Module-center [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://module-center.com/administrator/files/UploadFile/dc-mini-submersible-water-pump.pdf>

- 23.Soldered [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://soldered.com/productdata/2023/02/Soldered_RGB5050LED_datasheet.pdf
- 24.Васильківський І. С. Виконавчі пристрої систем автоматизації / І. С. Васильківський, В. О. Фединець, Я. П. Юсик. – Львів. Видавництво «Львівська політехніка», 2020.
- 25.Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації. / В. Г. Трегуб – Київ. Видавництво «Ліра-К», 2014.
- 26.Docs.rs-online [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.rs-online.com/a92a/A700000006667296.pdf>
- 27.Левченко Ю. М. Розробка системи контролю та моніторингу вологості і температури приміщення / Ю. М. Левченко, Л. П. Голубєв, Ю. М. Пилипенко, В. Б. Дроменко // Технології та дизайн. - 2017. - № 4. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_4_16.
- 28.Ельперін І. В. Промислові контролери: навчальний посібник / І. В. Ельперін К.: НУХТ, 2003. –320 с.
- 29.Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навч. посібник / Сост. Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 244 с.
- 30.ДСТУ ISO 8756:2008 Якість повітря. Оброблення даних за температурою, тиском та відносною вологістю. Введ. 01.01.2011. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77010
- 31.ДСТУ ISO 16586:2005 Якість ґрунту. Визначення вологості ґрунту. Введ. 01.01.2008. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52442
- 32.ДСТУ 8546:2015 Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови. Введ. 01.01.2017. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71689

33. Дроменко В.Б. Багатофункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі / В.Б. Дроменко, К.В. Плаксій // Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України : Збірник наукових праць / Під редакцією Г.В. Рудакової та ін. – Херсон–Хмельницький: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2023. – С. 88-90.
34. Дроменко В. Б. Розроблення контролерної програми керування переміщенням мобільних стелажів / В. Б. Дроменко, О. О. Корж // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей VI-ої Міжнар. наук.-практ. конф., 24 листопада 2022 р. Київ : КНУТД, 2022. - С. 145-146.
35. Рудава А. А. Моделювання системи управління параметрами мікроклімату з нечітким регулюванням / А. А. Рудава, В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. - 2017. - № 2. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_2_16.
36. Бакало О. О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці / О. О. Бакало, Ю. М. Пилипенко. // Технології та дизайн. - 2018. № 3 (28). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_3_19.
37. Аркадьєв В. Ю. Аналіз похибок квантування в мікропроцесорній системі управління електроприводом шліхтувальної машини / В. Ю. Аркадьєв, Ю. О. Лебеденко. // ААЕКС. –Херсон: ХДТУ. – 2000. № 2. – Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=waDet8oAAAAJ&citation_for_view=waDet8oAAAAJ:Tyk-4Ss8FVUC
38. Демківський О. Б. Статистична обробка результатів вимірювань та експериментальних даних в текстильній промисловості // О. Б. Демківський, С. М. Краснитський, Ю. М. Пилипенко, А. М. Слізков. //

КНУТД. – 2012. - Режим доступу:
https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/6123/1/20120424_Demkivskiy.pdf


```
// Підключення бібліотек
#include <АHT10.h>
#include <Rtc_Pcf8563.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>

// Ініціалізація об'єктів
LiquidCrystal LCD(8, 9, 4, 5, 6, 7);
Rtc_Pcf8563 rtc;
АHT10 myАHT20(АHT10_ADDRESS_0X38, АHT20_SENSOR);

// Ініціалізація змінних
int adc_key_in = 0, lcd_key = 0, target_temp = 20, target_humidity = 47,
target_soil_moisture = -20, temp = 0, k;
int count = 1, last_press = 0, soil_moisture_sensor = 0, count_1 = 0, light_sensor,
target_light = 90;
byte btn_state = 0, btn_prev_state = 0;
float t = 0, h = 0;

enum {
    btnRIGHT,
    btnUP,
    btnDOWN,
    btnLEFT,
    btnSELECT,
    btnNONE
} Buttons;

#define DEBUG 1
#define pump 13
#define fan 12
```

```
#define light_strip 11

//Визначення кнопок
int read_LCD_buttons() {
    static unsigned long last_time = millis();
    if (millis() - last_time > 20)
    {
        last_time = millis();
        adc_key_in = analogRead(A1);
        if (adc_key_in > 800) return btnNONE;
        if (adc_key_in <= 100) return btnRIGHT;
        if (adc_key_in <= 200 && adc_key_in > 100) return btnUP;
        if (adc_key_in <= 390 && adc_key_in > 200) return btnDOWN;
        if (adc_key_in <= 590 && adc_key_in > 390) return btnLEFT;
        if (adc_key_in <= 800 && adc_key_in > 590) return btnSELECT;
        return btnNONE;
    }
};

//Меню
void btn_and_count (int key) {
    if (key == btnNONE && btn_state == 1 ) {
        btn_state = 0;
    }
    if (key != btnNONE && btn_state == 0) {
        btn_state = 1;
    }
    if (key == btnUP && btn_state && !btn_prev_state && count_1 == 0)
    {
        if (count != 1) count--;
    }
}
```

Продовження додатку А

```
else count = 6;
}
if (key == btnDOWN && btn_state && !btn_prev_state && count_1 == 0)
{
    if (count != 6) count++;
    else count = 1;
}
if (key == btnRIGHT && count_1 == 1 && btn_state && !btn_prev_state)
{
    target_temp++;
}
if (key == btnLEFT && count_1 == 1 && btn_state && !btn_prev_state)
{
    target_temp--;
}
if (key == btnRIGHT && count_1 == 2 && btn_state && !btn_prev_state)
{
    target_humidity++;
}
if (key == btnLEFT && count_1 == 2 && btn_state && !btn_prev_state)
{
    target_humidity--;
}
if (key == btnRIGHT && count_1 == 5 && btn_state && !btn_prev_state)
{
    target_soil_moisture++;
}
if (key == btnLEFT && count_1 == 5 && btn_state && !btn_prev_state)
{
```

```
target_soil_moisture--;  
}  
if (key == btnRIGHT && count_1 == 6 && btn_state && !btn_prev_state)  
{  
    target_light++;  
}  
if (key == btnLEFT && count_1 == 6 && btn_state && !btn_prev_state)  
{  
    target_light--;  
}  
if (key == btnSELECT && btn_state && !btn_prev_state)  
{  
    if (count_1 != 0) count_1 = 0;  
    else count_1 = count;  
  
}  
if (k == btnSELECT && !btn_state && btn_prev_state)  
{  
    //запам'ятовування всіх значень датчиків  
    EEPROM.put(0, target_temp);  
    EEPROM.put(2, target_humidity);  
    EEPROM.put(4, target_soil_moisture);  
    EEPROM.put(6, target_light);  
    Serial.println("Done");  
}  
k = key;  
btn_prev_state = btn_state;  
}  
// Вивід інформації
```

```
void lcdprint (int cnt, int cnt_1) {
    static unsigned long last_time = millis();
    if (millis() - last_time > 100) {
        last_time = millis();
        LCD.setCursor (1, 0);
        LCD.print("      ");
        LCD.setCursor (1, 1);
        LCD.print("*      ");
        LCD.setCursor(1, 0);
        if (cnt_1 == 0 ) {
            if (cnt == 1) {
                LCD.print("T:");
                LCD.print(t);
                LCD.setCursor(1, 1);
                LCD.print("H:");
                LCD.print(h);
            }
            if (cnt == 2) {
                LCD.print("H:");
                LCD.print(h);
                LCD.setCursor(1, 1);
                LCD.print("Time:");
                LCD.print(rtc.formatTime());
            }
            if (cnt == 3) {
                LCD.print("Time:");
                LCD.print(rtc.formatTime());
                LCD.setCursor(1, 1);
                LCD.print("D:");
            }
        }
    }
}
```

```
LCD.print(rtc.formatDate());
}
if (cnt == 4) {
    LCD.print("D:");
    LCD.print(rtc.formatDate());
    LCD.setCursor(1, 1);
    LCD.print("C_h:");
    LCD.print(soil_moisture_sensor);
    LCD.print("%");
}
if (cnt == 5) {
    LCD.print("C_h:");
    LCD.print(soil_moisture_sensor);
    LCD.print("%");
    LCD.setCursor(1, 1);
    LCD.print("L:");
    LCD.print(light_sensor);
}
if (cnt == 6) {
    LCD.print("L:");
    LCD.print(light_sensor);
    LCD.setCursor(1, 1);
    LCD.print("T:");
    LCD.print(t);
}
}
else {
    if (cnt_1 == 1)
    {
```

```
LCD.print("T:");
  LCD.print(t);
  LCD.setCursor (1, 1);
  LCD.print("target:");
  LCD.print(target_temp);
}
if (cnt_1 == 2)
{
  LCD.print("H:");
  LCD.print(h);
  LCD.setCursor (1, 1);
  LCD.print("target:");
  LCD.print(target_humidity);
}
if (cnt_1 == 5)
{
  LCD.print("C_h:");
  LCD.print(soil_moisture_sensor);
  LCD.print("%");
  LCD.setCursor (1, 1);
  LCD.print("target:");
  LCD.print(target_soil_moisture);
}
if (cnt_1 == 6){
  LCD.print("L:");
  LCD.print(light_sensor);
  LCD.setCursor(1, 1);
  LCD.print("target:");
  LCD.print(target_light);
```

Продовження додатку А

```

    }
  }
}
}
// розрахунок ПІД регулювання
int pid (int input, int target, float kp, float ki, float dt)
{
  static float prevErr = 0, integral = 0;
  int err = target - input;
  integral += err * dt;
  return (err * kp + integral * ki);
}
//встановлення границь
void confines() {
  if (t <= target_temp - 1 || h <= target_humidity - 2) digitalWrite(fan, LOW);
  if (t >= target_temp + 1 || h >= target_humidity + 2) digitalWrite(fan, HIGH);
  if (soil_moisture_sensor <= target_soil_moisture - 2) digitalWrite(pump,
HIGH);
  if (soil_moisture_sensor >= target_soil_moisture + 2) digitalWrite(pump,
LOW);
  static unsigned long timer = millis();
  if(millis() - timer > 100)
    analogWrite(light_strip, pid(light_sensor, target_light, 1.0, 2.0, 0.1));
}
void sensors() {
  soil_moisture_sensor = (analogRead (A0) * 100) / 850;
  light_sensor = (analogRead(A2) * 100) / 800;
  t = myAHT20.readTemperature(AHT10_FORCE_READ_DATA);
  h = myAHT20.readHumidity();
}

```



```
}  
void setup() {  
  pinMode(pump, OUTPUT);  
  pinMode(fan, OUTPUT);  
  pinMode(light_strip, OUTPUT);  
  LCD.begin(16, 2);  
  rtc.initClock();  
  rtc.setDate(8, 4, 6, 20, 23);  
  rtc.setTime(17, 49, 0);  
#ifdef DEBUG  
  Serial.begin(115200);  
  while (myAHT20.begin() != true)  
  {  
    Serial.println(F("AHT20 not connected or fail to load calibration  
coefficient"));  
    delay(1000);  
  }  
  Serial.println(F("AHT20 OK"));  
#else  
  myAHT20.begin();  
#endif  
  EEPROM.get(0, temp);  
  if (temp >= -30 && temp <= 300) target_temp = temp;  
  EEPROM.get(2, temp);  
  if (temp >= -40 && temp <= 200) target_humidity = temp;  
  EEPROM.get(4, temp);  
  if (temp >= -30 && temp <= 200) target_soil_moisture = temp;  
  EEPROM.get(6, temp);  
  if (temp >= 0 && temp <= 200) target_light = temp;
```

Продовження додатку А

```
}  
void loop () {  
  sensors();  
  confines();  
  lcd_key = read_LCD_buttons();  
  btn_and_count(lcd_key);  
  lcdprint(count, count_1);  
}
```



**Матеріали
X Всеукраїнської
науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти
та молодих вчених
з автоматичного управління**

*присвячена
Дню ракетно-космічної галузі України*

**12 квітня 2023 р.
Херсон-Хмельницький**

УДК 004.9:681.5

В.Б. Дроменко, К.В. ПлаксіїКиївський національний університет технологій та дизайну
dromenko.vb@knuutd.edu.ua**БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАМКНеноМУ ПРОСТОРИ**

Система контролю технологічних параметрів в замкненому просторі має відмінності від системи контролю у відкритому просторі [1-2]. Насамперед, це точність вимірювання технологічних параметрів та спосіб контролю вимірювання. У відкритому просторі точність вимірювання нижча, адже на неї неминуче впливають фактори навколишнього середовища, а спосіб контролю – зазвичай візуальний. У замкненому просторі точність вимірювання є вищою [3], оскільки всі фактори навколишнього середовища, що можуть впливати на виміри технологічних параметрів, зведено до мінімуму. Однак, візуальний контроль технологічних параметрів в замкненому просторі є малоприматним. Тому, задача контролю технологічних параметрів в замкненому просторі є актуальною. Прикладом такої системи може слугувати Growbox [4].

Об'єктом дослідження є процес контролю технологічних параметрів в замкненому просторі за допомогою багатофункціональної мікропроцесорної системи.

Предметом дослідження є прийняття рішення про дотримання певних меж таких параметрів, як температура і вологість повітря, а також вологість ґрунту.

Тому, досліджуючи [5-7], було розроблено і випробувано у лабораторних умовах модель мікропроцесорної системи контролю параметрів в замкненому просторі. Тобто, через меню, що виводитиметься на екран, можна встановити межі допустимих значень вологості ґрунту, температури та вологості повітря, освітлення, на які впливають подача води та вентиляція простору, а багатофункціональна мікропроцесорна система виводитиме на екран числове значення вимірювання того чи іншого параметру і прийматиме рішення, чи знаходиться параметр в межах допустимих значень.

Структура багатофункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі представлена на рис. 1 та має наступні рівні: вимірювальний та взаємодії (контролюючий).

Рівень взаємодії поділяється на наступні підрівні:

- вимірювальні пристрої, такі як датчик вологості та температури повітря (AHT20), ємнісний датчик вологості ґрунту (Capacitive Soil moisture sensor v1.2), модуль годинника реального часу для синхронізації даних (RTC. PCF8563), фоторезистор;
- актуатори, такі як водяна помпа, що розрахована на напругу 5В та електричну потужність 0,5 Вт, вентилятор, що розрахований на напругу 12В та електричну потужність 1,5 Вт, світлодіодна стрічка, що розрахована на напругу 5В.

Рівень взаємодії виконує такі функції:

- збір та синхронізація даних;
- протокольний мережевий обмін інформацією з мікроконтролером;
- вплив на замкнений простір.

Контролюючий рівень – це апаратна обчислювальна платформа Arduino Nano на мікроконтролері ATmega328 та панель з рідко-кристалічним екраном та клавіатурою, що виконують:

- збір даних з датчиків і зберігання даних у пам'яті мікроконтролера;
- алгоритмічну обробку;
- реалізацію керуючих сигналів по закладеним алгоритмам на керуючі пристрої;
- візуалізацію інформації;
- введення допустимих меж значень параметрів від користувача;
- протокольний мережевий обмін даними з датчиками.

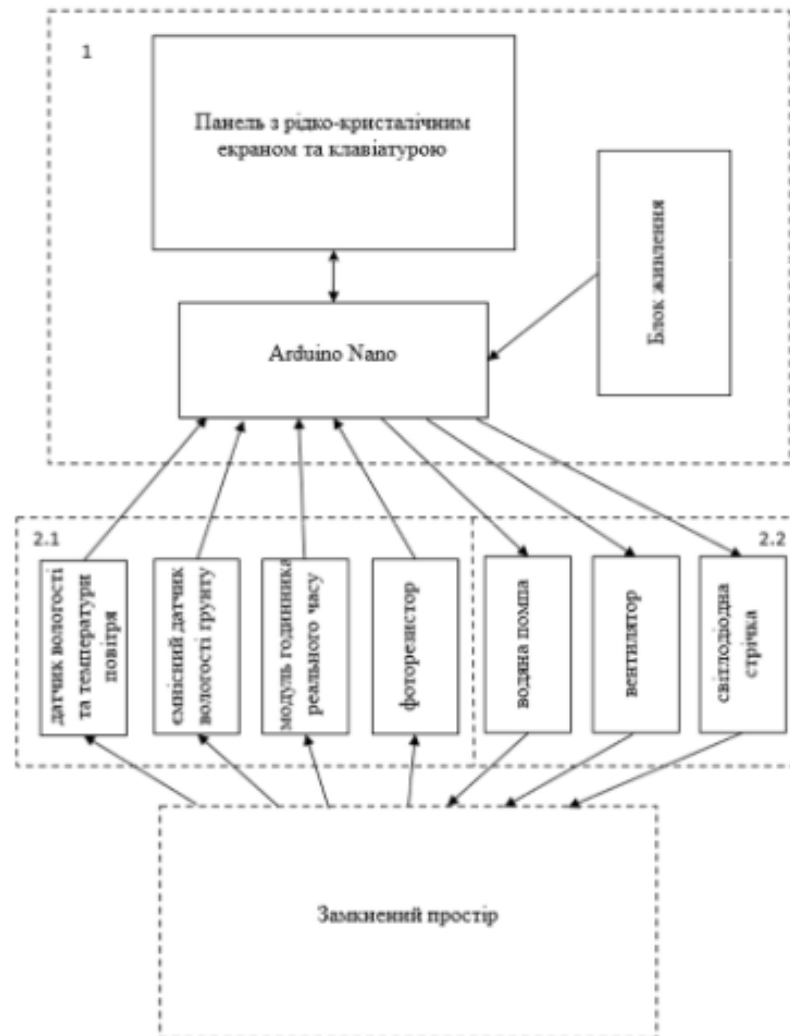


Рисунок 1 – Структура багатфункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкнутому просторі: 1 - контролюючий рівень, 2 – рівень взаємодії (2.1 – датчики; 2.2 – актуатори (виконавчі механізми))

Зовнішній вигляд розроблюваної багатфункціональної мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкнутому просторі наведено на рис. 2.

З метою досягнення поставленої задачі контролю технологічних параметрів в замкнутому просторі за допомогою багатфункціональної мікропроцесорної системи розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера. У розроблюваній системі є можливість швидкої зміни проектного програмного забезпечення, призначеного для користувача, без порушення функціонування системи. Багатфункціональна мікропроцесорна система контролю технологічних параметрів в замкнутому просторі має гнучку структуру з можливістю масштабування, що передбачає модифікацію алгоритмів основних контурів контролю технологічних параметрів, таких як вологість ґрунту, температура та вологість повітря, освітлення, подача води та контроль вентиляції простору.

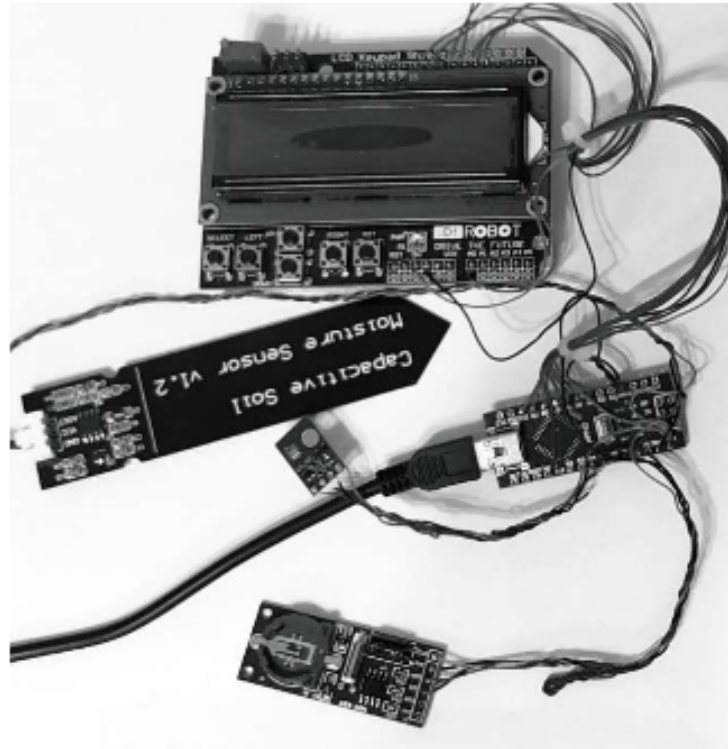


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд системи контролю технологічних параметрів

В наступному етапі подальшої роботи планується застосування теорії автоматичного регулювання зі зворотнім зв'язком до розробленої мікропроцесорної системи контролю технологічних параметрів в замкненому просторі. Завдяки цьому буде отримана можливість через меню користувача змінювати в автоматичному режимі стани актуаторів, таких як ввімкнення/вимкнення помпи, освітлення та вентилятора, та зміни значень параметрів вологості ґрунту, температури та вологості повітря, освітлення, подачі води та вентиляції замкненого простору.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 344 с.
2. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації: навч. посібник. Д.: Національний гірничий університет, 2013. 268 с.
3. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навч. посібник. Вінниця, ВДГУ, 2001. 244 с.
4. Сайт «Growbox». URL: <https://grow.in.ua/growbox>
5. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. 552 с.
6. Левченко Ю. М., Голубев Л. П., Пилипенко Ю. М., Дроменко В. Б. Розробка системи контролю та моніторингу вологості і температури приміщення. *Технології та дизайн*. 2017. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_4_16.
7. Лісовець С.М., Дроменко В.Б., Кучма Р.А., Бондаренко С.В. Застосування мікросистеми збору даних з інтерфейсом USB m-DAQ12/DAC для автоматизації швидкоплинних технологічних процесів. *Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості: Матеріали I Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (17 листопада 2020 р., м. Київ)*. К.: КНУТД, 2020. С. 278-285.
8. Ельперін І. В. Промислові контролери: навчальний посібник. К.: НУХТ, 2003. 320 с.