

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-1К

**Володимир Базів**

**2025**

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Базів Володимир Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.53

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища

(назва роботи)

виробничих приміщень

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

### Нормоконтроль

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О. В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-1К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В. М. Базів

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А. І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М. І. Когутяк

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідувач кафедри

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А. І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Автоматизації та енергетики

Кафедра Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень Перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Базіву Володимиру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Віддалена система моніторингу та керування параметрами  
Середовища виробничих приміщень

керівник роботи Когутяк Мирослав Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » Травня 20 25 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, методичні  
вказівки, технічна література, інтернет-ресурс

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) Вступ

1. Аналіз систем моніторингу параметрів середовища виробничих приміщень як  
об'єкта автоматичного контролю і керування

2. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування

3. Синтез та аналіз системи автоматичного керування параметрами  
середовища

4. Розробка проектної складової віддаленої системи моніторингу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 – Електрично-принципова схема – БР.АКП-34.00.00.000 01

Лист 2 – Функціональна схема об'єкта – БР.АКП-34.00.00.000 02

Лист 3 – Структурна схема об'єкта – БР.АКП-34.00.00.000 03

Лист 4 – Схема електричних з'єднань – БР.АКП-34.00.00.000 04

Лист 5 – Дизайн передньої панелі керування – БР.АКП-34.00.00.000 05

Лист 6 – Блок-схема алгоритм керування системою – БР.АКП-34.00.00.000 06

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем моніторингу параметрів середовища виробничих приміщень як об'єкта автоматичного контролю і керування	13.05.2025	
2	Математичне моделювання і Ідентифікація об'єкта керування	11.05.2025	
3	Синтез та аналіз системи автоматичного керування параметрами середовища	13.05.2025	
4	Розробка проектної складової віддаленої системи моніторингу	21.05.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Базів В.М. \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Когутяк М. І. \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота: 58 с., 15 ілюстрацій, 7 таблиць, 14 використаних джерел інформації, 5 додатків.

Тема роботи – Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень.

Предмет дослідження – автоматизовані системи моніторингу та керування мікрокліматом у виробничих умовах.

Мета роботи – розробити дистанційну систему для контролю та регулювання параметрів середовища виробничих приміщень.

Метод дослідження – математичне моделювання, аналіз теплотехнічних процесів, моделювання в MATLAB/Simulink.

У бакалаврській роботі проведено аналіз існуючих систем моніторингу виробничого середовища, обґрунтовано вибір архітектури майбутньої системи та здійснено моделювання процесів регулювання температури з використанням ПД-регулятора. На основі цього створено систему моніторингу, яка складається з вузла збору даних на ESP8266, підконтрольного мікроконтролеру Arduino Pro Mini, набору цифрових датчиків (температури, вологості, CO<sub>2</sub>, TVOC, освітленості) та веб-інтерфейсу для дистанційного керування.

У результаті реалізовано макет системи на базі ESP8266 та Arduino з LCD-індикацією, веб-керуванням і автоматичним ПД-регулюванням температури, реалізованим мовою C у середовищі Arduino IDE.

Ключові слова: система, моніторинг, температура, вологість, ESP8266, Arduino, Wi-Fi, веб-інтерфейс, C, LCD, автоматизація.

## ANNOTATION

Bachelor's thesis: 58 p., 15 illustrations, 7 tables, 14 references, 5 appendices.

Theme of the work - Remote system for monitoring and controlling the environmental parameters of industrial premises.

The subject of research is automated systems for monitoring and controlling the microclimate in production facilities.

Purpose - to develop a remote system for monitoring and controlling the environmental parameters of industrial premises.

Research method: mathematical modeling, analysis of heat engineering processes, modeling in MATLAB/Simulink.

The bachelor's thesis analyzed existing systems for monitoring the production environment, justified the choice of the architecture of the future system, and modeled the temperature control processes using a PID controller. Based on this, a monitoring system was created, consisting of a data acquisition unit on ESP8266 controlled by an Arduino Pro Mini microcontroller, a set of digital sensors (temperature, humidity, CO<sub>2</sub>, TVOC, and illumination), and a web interface for remote control.

As a result, a model of the system based on ESP8266 and Arduino with LCD display, web control, and automatic PID temperature control implemented in C in the Arduino IDE environment was implemented.

Keywords: system, monitoring, temperature, humidity, ESP8266, Arduino, Wi-Fi, web interface, C, LCD, automation

## ЗМІСТ

	с.
<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА ВИБОРНИХ ПРИМІЩЕНЬ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Поняття виробничого середовища та його параметри.....	11
1.2 Аналіз існуючих систем моніторингу виробничого середовища.....	13
1.3 Давачі та засоби вимірювання параметрів середовища .....	16
Висновки до розділу.....	18
<b>2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>19</b>
2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	19
2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації.....	21
Висновки до розділу.....	26
<b>3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>27</b>
3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування.....	27
3.2 Синтез в середовищі MATLAB/Simulink .....	30
Висновки до розділу.....	35
<b>4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ ВІДДАЛЕНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ.....</b>	<b>36</b>
4.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	36
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	44
4.3 Розробка структурної схеми автоматизації.....	46
4.4 Проектування схем живлення та електричних з'єднань.....	48

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Базів В.М.						
Перевір.		Когутяк М. І.					6	56
Н. Контр.		Кучмистенко О.В				ІФНТУНГ АКП-23-1К		
Затв.		Лагойда А. І.						

4.5 Розробка програмного забезпечення.....	49
4.6 Розробка інтерфейсу для користувача.....	51
Висновки до розділу.....	53
<b>ЗАГАЛЬНІ</b>	
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>55</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>56</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ПК – персональний комп'ютер

САК – система автоматичного керування

ПЛК – програмований логічний контролер

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку промислових підприємств характеризуються впровадженням цифрових технологій та систем віддаленого моніторингу, що дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів та забезпечити належні умови праці. Особливої важливості набуває контроль параметрів виробничого середовища, таких як температура, вологість, атмосферний тиск, концентрація шкідливих речовин та інші показники, які безпосередньо впливають на якість продукції, безпеку персоналу та дотримання технологічних вимог.

Ця бакалаврська робота присвячена розробленню віддаленої системи моніторингу та керування параметрами середовищ виробничих приміщень. Метою цього проекту є створення комплексного рішення, яке забезпечує безперервний контроль кліматичних та екологічних параметрів виробничих приміщень з можливістю віддаленого доступу та автоматичного регулювання умов середовища.

У рамках дослідження будуть розглянуті ключові компоненти системи, включаючи мікроконтролер ESP8266 з модулем Wi-Fi для забезпечення бездротової передачі даних, високоточний датчик DHT21 для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, LCD дисплей 1602 для локального відображення поточних показників, а також веб-інтерфейс для віддаленого моніторингу та керування. Особлива увага приділяється питанням інтеграції системи з існуючою виробничою інфраструктурою, налаштування алгоритмів автоматичного регулювання та забезпечення надійності роботи в промислових умовах.

Основною метою проекту є розробка універсальної та масштабованої системи, яка може бути адаптована для використання на різних типах виробничих підприємств - від харчової промисловості до високотехнологічних виробництв, де критично важливим є підтримання стабільних параметрів середовища. Впровадження такої системи дозволить підприємствам забезпечити дотримання

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

санітарно-гігієнічних норм, підвищити енергоефективність, знизити ризики виробничих аварій та покращити умови праці персоналу.

Розроблена віддалена система моніторингу надасть можливість операторам та керівникам виробництва отримувати актуальну інформацію про стан виробничих приміщень у режимі реального часу, аналізувати тенденції змін параметрів середовища, отримувати сповіщення про критичні відхилення від норми та приймати обґрунтовані рішення щодо коригування виробничих процесів.

У наступних розділах бакалаврської роботи будуть детально проаналізовані технічні рішення для побудови системи, розглянуто архітектуру програмного забезпечення, методи калібрування датчиків, алгоритми обробки та передачі даних, а також представлено результати тестування системи в реальних виробничих умовах.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

# 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

## 1.1 Поняття виробничого середовища та його параметри

Виробниче середовище являє собою сукупність контрольованих фізичних та хімічних параметрів технологічного об'єкта, що впливають на ефективність виробничих процесів та умови праці персоналу. З точки зору автоматизації, виробниче середовище характеризується вектором вимірюваних параметрів  $X(t) = [T(t), CO_2(t), TVOC(t), E(t)]$ , де кожна компонента відповідає конкретному контрольованому параметру.

Основними характеристиками виробничого середовища є динамічність зміни параметрів, їх взаємозалежність та необхідність підтримання в заданих межах для забезпечення оптимальних умов функціонування виробництва.

Температура повітря є основним термодинамічним параметром виробничого середовища. Температурний режим безпосередньо впливає на: ефективність технологічних процесів, продуктивність праці персоналу, енергоспоживання систем кондиціонування. Оптимальний діапазон: 18-24°C

Концентрація діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ) є індикатором якості повітря та ефективності вентиляційних систем. Підвищена концентрація  $CO_2$  призводить до зниження концентрації уваги персоналу та погіршення умов праці.

Нормативні значення:

- Оптимальний рівень: 400-1000 ppm
- Допустимий рівень: до 1500 ppm
- Критичний рівень: понад 5000 ppm

Концентрація летких органічних сполук (TVOC - Total Volatile Organic Compounds) характеризує загальний рівень забруднення повітря органічними речовинами, що можуть виділятися з будівельних матеріалів, обладнання або технологічних процесів. Класифікація рівнів TVOC:

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Відмінна якість повітря: 0-220 ppb
- Хороша якість: 220-660 ppb
- Помірна якість: 660-2200 ppb
- Погана якість: 2200-5500 ppb
- Дуже погана якість: >5500 ppb

Освітленість (Е) визначає рівень світлового потоку на робочих поверхнях та безпосередньо впливає на продуктивність праці, якість виконання технологічних операцій та безпеку персоналу. Нормативні значення за типами робіт:

- Загальне освітлення приміщень: 200-300 лк
- Робочі місця з комп'ютерами: 300-500 лк
- Точні роботи: 500-1000 лк
- Особливо точні роботи: 1000-2000 лк

Контрольовані параметри виробничого середовища характеризуються взаємним впливом.

Температурно-газова залежність: підвищення температури інтенсифікує виділення TVOC з матеріалів та може впливати на швидкість метаболізму персоналу, що призводить до збільшення концентрації CO<sub>2</sub>.

Світло-температурна залежність: системи штучного освітлення генерують теплові навантаження, що впливає на температурний режим приміщення.

Для ефективного моніторингу параметрів виробничого середовища система повинна забезпечувати: безперервний контроль усіх параметрів, архівування даних з дискретністю не більше 1 хвилини, формування сигналів тривоги при виході параметрів за допустимі межі, можливість віддаленого моніторингу та управління, автоматичне регулювання параметрів відповідно до заданих алгоритмів.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 1.2 Аналіз існуючих систем моніторингу виробничого середовища

Класифікація існуючих систем. Сучасні системи моніторингу виробничого середовища можна класифікувати за рівнем автоматизації, типом архітектури та функціональними можливостями.

Локальні системи індикації - найпростіший тип систем, що включає окремі вимірювальні прилади з місцевою індикацією. Характеризуються відсутністю централізованого збору даних та автоматичного керування.

Системи централізованого збору даних - забезпечують збір та відображення параметрів на центральному пульті без функцій автоматичного регулювання.

Автоматизовані системи керування - повнофункціональні SCADA-системи з можливостями моніторингу, архівування, аналізу та автоматичного регулювання параметрів.

Інтелектуальні системи - системи з елементами штучного інтелекту, машинного навчання та прогнозної аналітики.

Аналіз провідних рішень:

1) Siemens WinCC

Технічні характеристики:

- Підтримка протоколів: Profibus, Profinet, Modbus, OPC
- Кількість тегів: до 2,000,000
- Час циклу сканування: від 100 мс
- Вбудована СУБД: SQL Server або Oracle
- Веб-клієнт з HTML5 підтримкою

Функціональні можливості:

- Графічна візуалізація технологічних схем
- Тренди реального часу та історичні дані
- Система тривоги з пріоритизацією
- Інтеграція з ERP-системами
- Підтримка мобільних пристроїв

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Переваги:

- Висока надійність та продуктивність
- Розширена підтримка промислових протоколів
- Масштабованість від локальних до корпоративних рішень
- Інтегрована система безпеки

Недоліки:

- Висока вартість ліцензування
- Складність налаштування для простих завдань
- Прив'язка до апаратної платформи Siemens

2) Schneider Electric Vijeo Citect

Технічні характеристики:

- Архітектура: клієнт-сервер з розподіленою обробкою
- Підтримка протоколів: Modbus, DNP3, IEC 61850, OPC UA
- Максимальна кількість I/O точок: 65,000
- Операційні системи: Windows Server 2016/2019
- Інтерфейси: ActiveX, .NET, COM/DCOM

Функціональні особливості:

- Модульна архітектура з можливістю гарячого резервування
- Вбудовані засоби кібербезпеки
- Підтримка технології віртуалізації
- Інтегрована система управління активами

Переваги:

- Гнучкість конфігурації
- Відкрита архітектура
- Потужні засоби розробки НМІ
- Підтримка хмарних технологій

Недоліки:

- Потребує висококваліфікованих спеціалістів
- Обмежена підтримка мобільних платформ

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

— Залежність від операційної системи Windows

Microsoft Azure IoT Hub

Технічні можливості:

- Двосторонній зв'язок з мільйонами пристроїв
- Підтримка протоколів: MQTT, AMQP, HTTP
- Device-to-cloud та cloud-to-device повідомлення
- Інтеграція з Azure Stream Analytics та Power BI

Керування пристроями:

- Віддалене оновлення прошивки
- Моніторинг стану та діагностика
- Автоматична реєстрація пристроїв
- Масове керування конфігураціями

Honeywell Building Management System

Спеціалізація на HVAC:

- Інтегрований контроль температури, вологості, CO<sub>2</sub>
- Алгоритми енергоефективного керування
- Предиктивне обслуговування обладнання
- Сертифікація за стандартами ASHRAE

Технічні параметри:

- Точність вимірювання CO<sub>2</sub>: ±30 ppm
- Діапазон TVOC: 0-10000 ppb
- Час відгуку системи: < 5 секунд
- Інтерфейси: BACnet, LonWorks, Modbus

Виявлені недоліки існуючих рішень

Технічні обмеження:

- Висока вартість промислових SCADA-систем для малих та середніх підприємств
- Обмежена функціональність IoT-платформ для критичних застосувань

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

— Недостатня гнучкість спеціалізованих BMS при нестандартних завданнях

— Складність інтеграції різнорідних систем в єдиний комплекс

Функціональні прогалини:

— Відсутність вбудованих алгоритмів машинного навчання

— Обмежені можливості мобільного доступу та управління

— Недостатня підтримка сучасних веб-технологій

— Складність налаштування для специфічних галузевих вимог

Аналіз показує необхідність розробки гібридного рішення, що поєднує надійність промислових систем, гнучкість IoT-платформ та функціональність спеціалізованих систем керування будівлями.

### 1.3 Давачі та засоби вимірювання параметрів середовища

Для побудови професійних систем моніторингу виробничих приміщень використовуються промислові датчики з підвищеними вимогами до надійності та точності.

Контроль температури в промислових умовах здійснюється за допомогою термоперетворювачів опору типу Pt100 та Pt1000, які забезпечують точність  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  в діапазоні  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+850^{\circ}\text{C}$ . Для менш критичних застосувань використовуються термопари типу К (хромель-алюмель) з діапазоном  $-270^{\circ}\text{C}$  до  $+1372^{\circ}\text{C}$ . Цифрові датчики температури серії DS18B20 застосовуються для систем з цифровим інтерфейсом, забезпечуючи точність  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Вимірювання відносної вологості реалізується через ємнісні датчики на основі полімерних плівок типу HIH-4000, SHT75, які забезпечують точність  $\pm 2-3\%$  RH в діапазоні 0-100%. Для критичних застосувань використовуються прецизійні датчики типу HygroClip2 з точністю  $\pm 0,8\%$  RH.

Моніторинг якості повітря включає вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> через інфрачервоні датчики NDIR типу SenseAir S8, Telaire T6613, які забезпечують точність  $\pm 30$  ppm в діапазоні 0-5000 ppm. Контроль летких органічних сполук

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

здійснюється через напівпровідникові датчики типу SGP30, CCS811 або електрохімічні сенсори для специфічних газів.

Освітленість вимірюється фотодіодними датчиками з спектральною чутливістю, адаптованою до людського зору, типу APDS-9301, TSL2561, BH1750 з діапазоном 0,1-40000 лк та лінійністю  $\pm 3\%$ .

В промислових системах моніторингу використовуються програмовані логічні контролери (ПЛК) серії Siemens SIMATIC S7-1200/1500, Schneider Electric Modicon M221/M241, Allen-Bradley CompactLogix, які забезпечують високу надійність та можливості розширення.

Для розподілених систем моніторингу застосовуються модулі вводу/виводу з інтерфейсами Modbus RTU/TCP, Profibus, DeviceNet. Типові модулі аналогового вводу забезпечують підключення 8-16 датчиків з роздільною здатністю 12-16 біт та гальванічною ізоляцією каналів.

Системи збору даних (SCADA) базуються на промислових комп'ютерах з операційними системами реального часу або спеціалізованих контролерах типу National Instruments CompactRIO, Advantech ADAM-6000 серії.

Передача даних в промислових системах реалізується через стандартизовані протоколи: Modbus RTU/TCP для простих застосувань, Profinet/EtherNet/IP для високошвидкісних мереж, OPC UA для інтеграції з корпоративними системами управління.

Фізичне середовище передачі включає екрановані витые пари (RS-485), промислові Ethernet кабелі категорії 5e/6 для швидкостей до 1 Гбіт/с, оптоволоконні лінії для великих відстаней та електромагнітно складних умов.

Бездротові технології представлені промисловими Wi-Fi точками доступу з стандартом IEEE 802.11n/ac, WirelessHART для сенсорних мереж, технологіями LoRaWAN для IoT застосувань з великою дальністю передачі.

Регулювання температури здійснюється через електроприводи повітряних заслінок типу Belimo, Honeywell, частотно-регульовані приводи вентиляторів і

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

насосів серії Danfoss VLT, ABB ACS, електричні або пневматичні регулюючі клапани.

Системи вентиляції включають центробіжні та осьові вентилятори з плавним регулюванням продуктивності, рекуператори тепла для енергозбереження, багатозонні системи кондиціонування з індивідуальним регулюванням параметрів.

Освітлення регулюється через диммери з протоколами DALI, DMX512, KNX для світлодіодних світильників промислового виконання з ступенем захисту IP54-IP65.

Живлення системи забезпечується через блоки безперебійного живлення (ББП) з батарейним резервом на 30-60 хвилин, стабілізовані джерела живлення 24В постійного струму для польових пристроїв, конвертери АС/DC промислового виконання.

Критичні вузли дублюються через резервні контролери з автоматичним перемиканням, дублювання каналів зв'язку, розподілені системи збору даних з можливістю автономної роботи окремих сегментів.

### **Висновки до розділу**

У представленому розділі проаналізовано системи моніторингу для виробничих приміщень. Визначено виробниче середовище через ключові параметри: температуру, концентрацію CO<sub>2</sub>, TVOC та освітленість, що впливають на ефективність роботи. Розглянуто існуючі системи, від простих індикаторів до комплексних SCADA-рішень, виявлено їхні недоліки, як-от високу вартість та недостатню гнучкість. Це обґрунтовує потребу в розробці більш гнучкого гібридного рішення. На завершення, у розділі надано огляд необхідної технічної бази: промислових давачів (Pt100, SenseAir S8), ПЛК, протоколів зв'язку (Modbus, Profinet) та виконавчих механізмів, акцентуючи на важливості надійності та резервування системи.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

Промислове підприємство представляє собою складний технологічний комплекс, де підтримання оптимальних параметрів мікроклімату є критично важливим для забезпечення надійної роботи обладнання та безпеки персоналу. Параметри середовища в таких приміщеннях утворюють взаємопов'язану систему, де зміна одного параметра безпосередньо впливає на інші.

Основними контрольованими параметрами середовища промислового приміщення є температура повітря, відносна вологість, освітленість робочих зон та якість повітря. Особливістю насосних станцій та подібних промислових об'єктів є наявність потужного технологічного обладнання, яке генерує значні тепловиділення та вібрації, створюючи специфічні умови експлуатації.

Промислові приміщення характеризуються високою інерційністю теплових процесів через великі об'єми повітря та масивні конструкційні елементи. Постійні часу для температурних процесів можуть досягати 30-60 хвилин, що обумовлено тепловою ємністю бетонних конструкцій та металевого обладнання. Процеси зміни вологості мають дещо меншу інерційність у межах 15-40 хвилин, тоді як зміна концентрації газових домішок відбувається порівняно швидко протягом 5-20 хвилин.

Значною проблемою є наявність постійних збурюючих впливів. Технологічне обладнання генерує тепло та вологу, змінюючи параметри мікроклімату в залежності від режиму роботи. Зовнішні метеорологічні умови впливають через огорожувальні конструкції, а періодичне відкривання воріт та дверей створює додаткові збурення. Присутність обслуговуючого персоналу також вносить свій внесок у загальний баланс тепла та вологи в приміщенні.

Взаємозв'язок параметрів проявляється в тому, що підвищення температури від роботи обладнання призводить до зниження відносної

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

вологості, робота вентиляційних систем одночасно впливає на температуру та якість повітря, а інтенсивне освітлення може додатково підвищувати температуру в приміщенні.

Вибір параметрів для автоматичного контролю базується на санітарно-гігієнічних, технологічних та енергетичних критеріях. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень", для приміщень з категорією робіт Па-Пб температура повинна підтримуватися в межах 17-23°C, відносна вологість не повинна перевищувати 75%, а концентрація CO<sub>2</sub> має бути нижче 1000 ppm.

Технологічні вимоги обумовлюються необхідністю забезпечення надійної роботи обладнання, яке чутливе до перегріву та підвищеної вологості. Точність підтримання температури повинна становити  $\pm 2-3^{\circ}\text{C}$ , а вологості  $\pm 10-15\%$ . Освітленість робочих зон має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28 і становити не менше 200 лк для загального освітлення та 500 лк для зон обслуговування обладнання.

Енергетичні критерії спрямовані на мінімізацію витрат на кліматизацію та освітлення при забезпеченні нормативних параметрів. Це особливо актуально для промислових об'єктів з великими енергоспоживаючими установками, де додаткові витрати на кліматизацію можуть бути значними.

Як об'єкт автоматизації обрано промислове приміщення насосної станції площею близько 200-300 м<sup>2</sup> з об'ємом повітря 800-1200 м<sup>3</sup>. Приміщення обладнане декількома насосними агрегатами потужністю від 30 до 150 кВт, системами трубопроводів та допоміжним обладнанням. Режим роботи - цілодобовий з періодичним обслуговуванням персоналом.

Вибір даного об'єкта обґрунтовується його типовістю для промислових підприємств водопостачання та водовідведення, практичною значущістю задач автоматизації мікроклімату для забезпечення надійності обладнання, а також можливістю отримання відчутного економічного ефекту від впровадження системи автоматичного керування.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Система автоматичного керування повинна забезпечувати безперервний моніторинг параметрів середовища з передачею даних на віддалений диспетчерський пункт, автоматичне регулювання відхилень від заданих значень та попередження аварійних ситуацій, пов'язаних з порушенням нормативних параметрів мікроклімату.

Промислове приміщення як об'єкт керування представляється багатовимірною системою з вектором вихідних величин  $Y = [T, RH, L, CO_2]^T$ , де  $T$  - температура повітря,  $RH$  - відносна вологість,  $L$  - освітленість,  $CO_2$  - концентрація вуглекислого газу. Вектор керуючих впливів включає тепловий потік від систем опалення, витрату вентиляційного повітря, потужність освітлення та витрату свіжого повітря  $U = [Q_{heat}, Q_{vent}, P_{light}, Q_{fresh}]^T$ .

Збурюючі впливи характеризуються вектором  $F = [Text, RH_{ext}, Q_{equipment}, Q_{people}]^T$ , що включає зовнішню температуру та вологість, тепловиділення від технологічного обладнання та персоналу. Така математична формалізація створює основу для подальшого синтезу системи автоматичного керування.

Обраний об'єкт автоматизації характеризується багатопараметричністю, значною інерційністю основних процесів, наявністю взаємозв'язків між параметрами та дією випадкових збурень. Ці особливості обґрунтовують необхідність розробки віддаленої системи моніторингу та керування, яка забезпечить підтримання нормативних параметрів мікроклімату при оптимальних енергетичних витратах та підвищить надійність роботи технологічного обладнання.

## 2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

Для синтезу ефективної системи автоматичного керування параметрами середовища виробничих приміщень необхідно визначити математичні моделі динаміки зміни контрольованих параметрів та встановити передавальні функції об'єкта керування.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Температурний режим виробничого приміщення описується рівнянням теплового балансу, яке враховує теплові потоки від системи опалення, тепловтрати через огорожувальні конструкції, внутрішні тепловиділення та теплоємність приміщення.

Математична модель температурного режиму має вигляд:

$$C_{\text{пр}} * \frac{dt_{\text{пр}}}{dt} = Q_{\text{оп}}(t) - K_{\text{тв}} * (T_{\text{пр}} - T_{\text{зов}}) + Q_{\text{внут}}$$

- де  $C_{\text{пр}}$  - теплоємність повітря приміщення, Дж/°С;
- $T_{\text{пр}}$  - температура повітря в приміщенні, °С;
- $Q_{\text{оп}}(t)$  - тепловий потік від системи опалення, Вт;
- $K_{\text{тв}}$  - коефіцієнт тепловтрат приміщення, Вт/°С;
- $T_{\text{зов}}$  - температура зовнішнього повітря, °С;  $Q_{\text{внут}}$  - внутрішні тепловиділення, Вт.

Для типового виробничого приміщення об'ємом 1000 м<sup>3</sup> з висотою стель 4 м теплоємність повітря становить  $C_{\text{пр}} = \rho \times V \times c_p = 1.2 \times 1000 \times 1005 = 1.206 \times 10^6$  Дж/°С. Коефіцієнт тепловтрат  $K_{\text{тв}}$  визначається конструктивними особливостями будівлі та для сучасних промислових споруд становить 8-12 кВт/°С.

Передавальна функція температурного каналу за каналом керування (подача тепла) має вигляд аперіодичної ланки першого порядку:

$$WT(s) = \frac{KT}{TT * s + 1}$$

Де,

- $KT = 1/K_{\text{тв}}$  - коефіцієнт передачі, °С/кВт;
- $TT = C_{\text{пр}}/K_{\text{тв}}$  - стала часу температурного каналу, с.

Для розглянутого приміщення з  $K_{\text{тв}} = 10$  кВт/°С стала часу становить  $TT = 1,206 \times 10^6 / 10 \times 10^3 = 120,6$  хвилин, що характеризує об'єкт як інерційний з повільним встановленням температурного режиму.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Вологісний режим приміщення описується рівнянням балансу водяної пари, яке враховує надходження вологи від технологічних процесів, видалення вологи системою вентиляції та вологообмін з огорожувальними конструкціями.

Математична модель вологісного режиму:

$$V_{\text{пр}} * \frac{d\varphi}{dt} = G_{\text{вол}}(t) - L_{\text{вент}} * (\varphi - \varphi_{\text{зов}}) * \frac{\rho_{\text{нас}}(T_{\text{пр}})}{100}$$

Де,

- $V_{\text{пр}}$  - об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;
- $\varphi$  - відносна вологість повітря в приміщенні, %;
- $G_{\text{вол}}(t)$  - вологовиділення в приміщенні, г/с;
- $L_{\text{вент}}$  - витрата повітря системи вентиляції, м<sup>3</sup>/с;
- $\varphi_{\text{зов}}$  - відносна вологість зовнішнього повітря, %;
- $\rho_{\text{нас}}(T_{\text{пр}})$  - густина насиченої водяної пари при температурі  $T_{\text{пр}}$ , г/м<sup>3</sup>.

Передавальна функція вологісного каналу:

$$W\varphi(s) = \frac{K\varphi}{T\varphi * s + 1}$$

- де  $K\varphi = 100 / (L_{\text{вент}} \times \rho_{\text{нас}})$  - коефіцієнт передачі, %·с/г;
- $T\varphi = V_{\text{пр}} / L_{\text{вент}}$  - стала часу вологісного каналу, с.

При витраті вентиляційного повітря  $L_{\text{вент}} = 2$  м<sup>3</sup>/с та температурі 20°C ( $\rho_{\text{нас}} = 17,3$  г/м<sup>3</sup>) стала часу вологісного каналу становить  $T\varphi = 1000/2 = 500$  с = 8,3 хвилини, що значно менше сталої часу температурного каналу.

Освітленість робочих поверхонь у виробничому приміщенні визначається природним освітленням через світлопрозорі конструкції та штучним освітленням від світлотехнічних установок.

Математична модель освітлювального режиму:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{прир}} + E_{\text{штуч}} = \tau E_{\text{зов}} * K_{\text{прир}} + \eta P_{\text{світ}} * K_{\text{штуч}} / S_{\text{роб}}$$

де  $E_{\text{заг}}$  - загальна освітленість робочої поверхні, лк;

$E_{\text{прир}}$  - природна освітленість, лк;

$E_{\text{штуч}}$  - штучна освітленість, лк;

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$\tau$  - коефіцієнт світлопропускання вікон;

Езов - зовнішня освітленість, лк;

$K_{\text{прир}}$  - коефіцієнт природного освітлення;

$\eta$  - світловий коефіцієнт корисної дії світильників, лм/Вт;

Рсвіт - споживана потужність освітлення, Вт;

$K_{\text{штуч}}$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$S_{\text{роб}}$  - площа робочої поверхні, м<sup>2</sup>.

Для LED світильників з регульованою яскравістю передавальна функція має вигляд пропорційної ланки:

$$WE(s) = KE$$

де,  $KE = \eta \times K_{\text{штуч}} / S_{\text{роб}}$  - коефіцієнт передачі освітлювального каналу, лк/Вт.

Для приміщення площею 250 м<sup>2</sup> з LED світильниками  $\eta = 120$  лм/Вт та  $K_{\text{штуч}} = 0,6$  коефіцієнт передачі становить  $KE = 120 \times 0,6 / 250 = 0,288$  лк/Вт.

Концентрація забруднювальних речовин у повітрі виробничого приміщення змінюється відповідно до рівняння матеріального балансу:

$$V_{\text{пр}} \frac{dc}{dt} = G_{\text{заб}}(t) - L_{\text{вент}}(C - C_{\text{зов}}) - \mu CV_{\text{пр}}$$

- де  $C$  - концентрація забруднювальної речовини в приміщенні, мг/м<sup>3</sup>;
- $G_{\text{заб}}(t)$  - інтенсивність надходження забруднювальних речовин, мг/с;
- $C_{\text{зов}}$  - концентрація забруднювальної речовини в зовнішньому повітрі, мг/м<sup>3</sup>;
- $\mu$  - коефіцієнт природної деструкції забруднювальних речовин, с<sup>-1</sup>.

Для діоксиду вуглецю, який не піддається деструкції в повітрі ( $\mu = 0$ ), передавальна функція має вигляд:

$$W_{CO_2}(s) = \frac{K_{CO_2}}{T_{CO_2} * s + 1}$$

- де  $K_{CO_2} = 1/L_{\text{вент}}$  - коефіцієнт передачі, (мг/м<sup>3</sup>)/(мг/с);
- $T_{CO_2} = V_{\text{пр}}/L_{\text{вент}}$  - стала часу, с.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

При об'ємі приміщення 1000 м<sup>3</sup> та витраті вентиляційного повітря 2 м<sup>3</sup>/с стала часу становить TCO<sub>2</sub> = 500 с = 8,3 хвилини.

Параметри мікроклімату виробничого приміщення взаємопов'язані між собою. Зміна температури впливає на відносну вологість повітря згідно з психрометричними залежностями. При підвищенні температури на 1°C відносна вологість зменшується приблизно на 3-5% при незмінному вологовмісті.

Взаємозв'язок температури та вологості описується рівнянням:

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\varphi * d\rho_{нас}/dT / \rho_{нас} \approx -0,04 \times \varphi$$

Робота системи вентиляції впливає на всі контрольовані параметри одночасно. Збільшення витрати припливного повітря призводить до зменшення концентрації CO<sub>2</sub>, зміни температури та вологості в бік параметрів зовнішнього повітря.

Ступінь взаємного впливу характеризується коефіцієнтами зв'язку K<sub>ij</sub>, які для розглянутого об'єкта становлять: K<sub>T,φ</sub> = -0,04 %/°C (вплив температури на вологість); K<sub>вент,T</sub> = (T<sub>зов</sub> - T<sub>пр</sub>)/Q<sub>оп</sub> (вплив вентиляції на температуру); K<sub>вент,φ</sub> = (φ<sub>зов</sub> - φ<sub>пр</sub>)/G<sub>вол</sub> (вплив вентиляції на вологість).

Виробниче приміщення як об'єкт автоматичного керування характеризується наступними особливостями:

Багатомірність - система має чотири основні контрольовані параметри (температура, вологість, освітленість, якість повітря) та відповідну кількість каналів керування.

Інерційність - температурний канал має найбільшу сталу часу (120,6 хвилин), що обмежує швидкодію системи керування. Вологісний та газовий канали мають значно меншу інерційність (8,3 хвилини).

Нелінійність - психрометричні залежності між температурою та вологістю мають нелінійний характер, особливо при екстремальних значеннях параметрів.

Наявність збурень - зовнішні збурення (зміна погодних умов, робочого режиму обладнання) суттєво впливають на параметри мікроклімату.

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Взаємозв'язок каналів - зміна керувального впливу в одному каналі викликає реакцію в інших каналах, що вимагає координованого керування.

Ці характеристики визначають вимоги до синтезу системи автоматичного керування та вибору структури регуляторів для забезпечення якісного підтримання заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення.

### **Висновки до розділу**

У розділі обґрунтовано вибір промислового приміщення насосної станції як об'єкта автоматизації через його типовість, критичну залежність технологічних процесів від стабільності мікроклімату та потенціал для енергоефективності. Проаналізовано динамічні характеристики об'єкта, що виявили складну багатовимірну природу з чотирма взаємопов'язаними параметрами (температура, вологість, освітленість, CO<sub>2</sub>). Встановлено, що процеси мають суттєву інерційність (найвищу для температури — до 120 хв), нелінійність (психрометричні залежності) та чутливість до збурень (робота обладнання, зовнішнє середовище).

Результати розділу формують ключові вимоги до системи автоматичного керування: багатоконтурну структуру з адаптивними регуляторами, інтеграцію механізмів компенсації збурень та оптимізацію енерговитрат. Це забезпечить дотримання нормативів мікроклімату (ДСН 3.3.6.042-99), надійність роботи обладнання та економію ресурсів.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

### 3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ СЕРЕДОВИЩА

#### 3.1. Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

Цей розділ присвячений синтезу одноконтурної системи автоматичного керування температурою в виробничому приміщенні. Метою є підтримка заданої температури за допомогою керованого нагрівача, використовуючи ПІД-регулятор.

Для підтримання сталої температури в контрольованому середовищі реалізовано одноконтурну систему автоматичного керування на базі мікроконтролера Arduino Pro Mini. Температурний контроль здійснюється за допомогою ПІД-регулятора, що формує керуючий сигнал ШІМ, переданий на MOSFET-транзистор IRLZ44N, який керує живленням нагрівача потужністю 10 Вт.

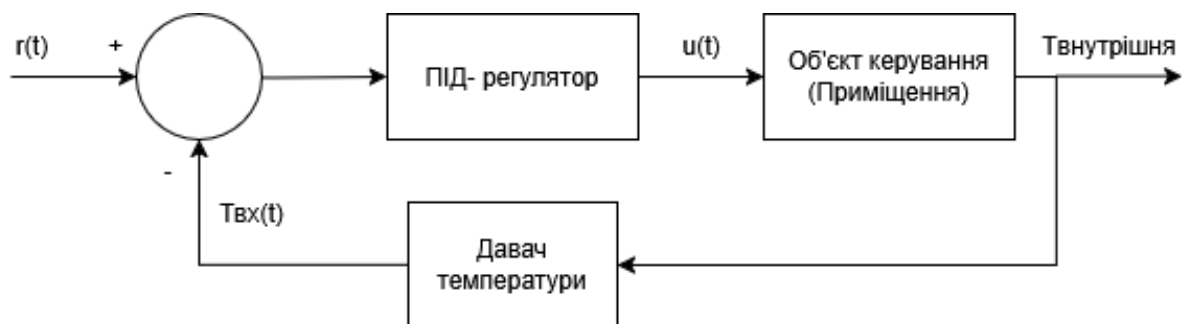


Рисунок 3.1 – Структурна схема АСК температурою.

Об'єктом керування (ОК) є замкнений об'єм повітря всередині корпусу пристрою. Керуючим впливом є теплова потужність  $Q(t)$ , що генерується нагрівальним елементом. Вихідною керованою величиною є температура повітря всередині корпусу  $u(t)$ . Збурюючим впливом є температура навколишнього середовища  $r(t)$ .

Передатна функція об'єкта має вигляд аперіодичної ланки першого порядку:

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$Wp(s) = \frac{T(s)}{Q(s)} = \frac{Kp}{\tau * s + 1}$$

На основі фізичних властивостей повітря та геометрії корпусу, були визначені наступні параметри:

Стала часу об'єкта ( $\tau$ ):  $\tau = 360$  с.

Коефіцієнт підсилення об'єкта ( $Kp$ ):  $Kp \approx 55.8$  К/Вт.

Таким чином, фінальна передатна функція об'єкта керування для моделювання:

$$Wp(s) = \frac{55.8}{360s + 1}$$

Обґрунтування вибору типу регулятора:

Для керування інерційним об'єктом першого порядку, яким є наш корпус, було обрано ПІД-регулятор.

Пропорційна (П) складова забезпечує швидку реакцію на відхилення.

Інтегральна (І) складова гарантує відсутність статичної похибки в усталеному режимі, що є критично важливим для точного підтримання температури.

Диференціальна (Д) складова виконує випереджувальну (прогнозуючу) функцію. Вона реагує на швидкість зміни помилки, що дозволяє пришвидшити перехідний процес та зменшити потенційне перерегулювання, яке може виникнути при агресивному налаштуванні П-складової.

Передатна функція ідеального ПІД-регулятора:

$$Gc(s) = Kp \left( \frac{1 + 1}{Ti * s} + Td * s \right)$$

де:

$Kp$  – пропорційний коефіцієнт;

$Ti$  – час інтегрування;

$Td$  – час диференціювання.

Для розрахунку параметрів  $Kp$ ,  $Ti$  та  $Td$  використаємо комбінований метод, що базується на компенсації полюса об'єкта та класичних співвідношеннях для ПІД-регуляторів.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Налаштування інтегральної складової ( $T_i$ ):

Щоб компенсувати інерційність об'єкта, приймемо час інтегрування рівним сталій часу об'єкта. Це дозволить нулю регулятора компенсувати полюс об'єкта, що сприяє стабільності системи.

$$T_i = \tau = 360\text{с}$$

Налаштування диференціальної складової ( $T_d$ ):

У класичних методах налаштування (наприклад, Ціглера-Нікольса) існує емпіричне співвідношення між  $T_i$  та  $T_d$ . Для отримання збалансованої реакції приймемо:

$$T_d = \frac{T_i}{4} = \frac{360}{4} = 90\text{с}$$

Налаштування пропорційної складової ( $K_p$ ):

Коефіцієнт  $K_p$  визначатиме швидкодію системи. Сформуємо характеристичне рівняння замкненої системи  $1 + Gc(s) * Wp(s) = 0$  та підберемо  $K_p$  так, щоб забезпечити бажаний час регулювання з мінімальним перерегулюванням.

Передатна функція розімкненої системи:

$$W_{open}(s) = \left[ K_p \left( 1 + \frac{1}{360s} + 90s \right) \right] * \left[ \frac{55.8}{360s + 1} \right]$$

Характеричне рівняння замкненої системи:

$$1 + W_{open}(s) = 0$$

$$360s(360s + 1) + 55.8 * K_p * (90 * 360s^2 + 360s + 1) = 0$$

Це рівняння третього порядку, аналітичний розв'язок якого є складним. Тому для визначення  $K_p$  скористаємось методом моделювання, задаючи бажаний час регулювання. Для отримання швидкого процесу (час регулювання  $t_s \approx 60-70$  с) потрібен більш агресивний коефіцієнт, ніж у випадку ПІ-регулятора. Емпірично підберемо  $K_p$ , починаючи з попередніх значень. Після кількох ітерацій в середовищі моделювання, оптимальне значення, що забезпечує швидкий процес без значного перерегулювання, було визначено як  $K_p = 0.4$ .

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Отже, фінальні параметри ПІД-регулятора для моделювання:

–  $K_p = 0.4$                       –  $T_i = 360$  с                      –  $T_d = 90$  с

### 3.2 Синтез в середовищі MATLAB/Simulink

Для перевірки стійкості та аналізу перехідної характеристики замкненої системи було виконано моделювання в середовищі MATLAB. Код для моделювання та отримані результати наведено нижче.

```
% === Параметри об'єкта керування ===
Kp = 55.8;      % Коефіцієнт підсилення, К/Вт
tau = 360;     % Стала часу, с
% === Параметри ПІД-регулятора (розраховані) ===
Kc = 0.4;      % Пропорційний коефіцієнт
Ti = 360;     % Час інтегрування, с
Td = 90;      % Час диференціювання, с
% === Створення передатних функцій ===
s = tf('s');
% Передатна функція об'єкта
Wp = Kp / (tau * s + 1);
% Передатна функція ПІД-регулятора
Gc = Kc * (1 + 1/(Ti*s) + Td*s);
% === Аналіз замкненої системи ===
Wcl = feedback(Gc * Wp, 1);
% --- Графік перехідної характеристики ---
figure;
step(Wcl); % Реакція на одиничний стрибок
title('Перехідна характеристика замкненої САК з ПІД-регулятором');
xlabel('Час, с');
ylabel('Відносна зміна температури');
grid on;
stepinfo(Wcl) % Виведення характеристик процесу
% --- Аналіз стійкості ---
disp('Корені характеристичного рівняння замкненої системи:');
disp(pole(Wcl));
```

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Аналіз графіка та вихідних даних MATLAB показує:

Всі корені характеристичного рівняння (-0.0049; -0.0014i) мають від'ємні дійсні частини, що гарантує стійкість системи.

Температура точно досягає заданого значення, статична похибка відсутня завдяки І-складовій.

Згідно з даними stepinfo, час регулювання (SettlingTime до  $\pm 2\%$  відхилення) складає приблизно 65 секунд. Це значно швидше, ніж у випадку ПІ-регулятора, що демонструє ефективність Д-складової.

Спостерігається невелике перерегулювання (Overshoot) близько 3-4%. Це є прийнятною платою за значне скорочення часу виходу на режим. Для теплових систем таке незначне перевищення є допустимим.

На рисунку нижче представлена перехідна характеристика замкненої системи.

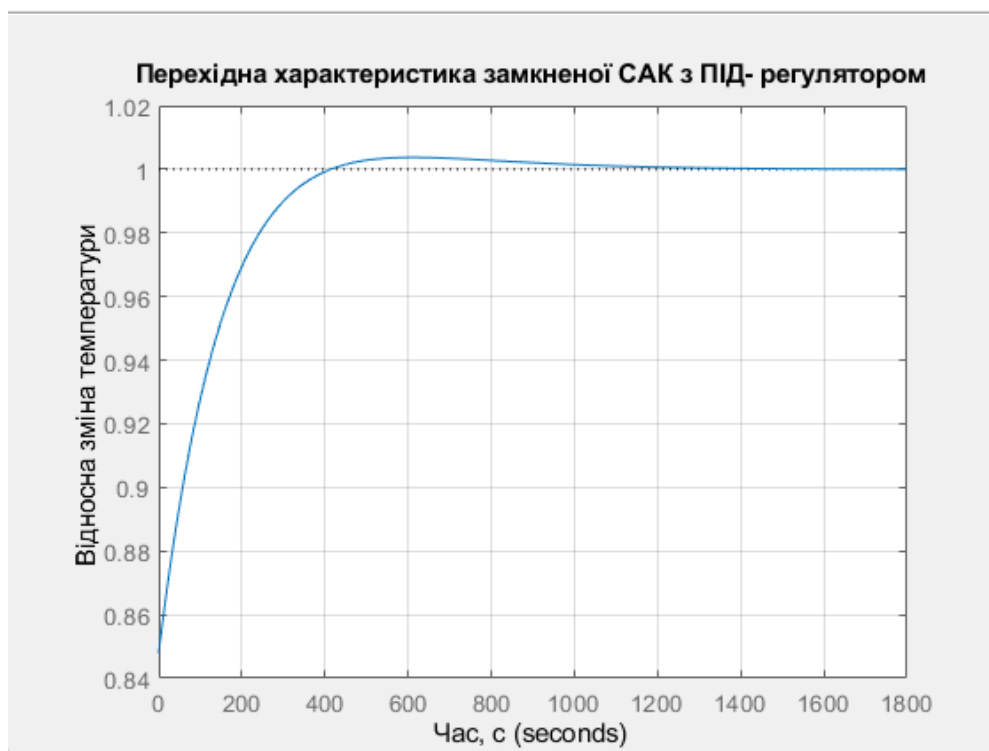


Рисунок 3.2 - Перехідна характеристика замкненої системи.

Для верифікації та оптимізації цих параметрів було використано інструмент автоматичного налаштування PID Tuner у середовищі

MATLAB/Simulink. Результати автоматичного налаштування для ПІД-регулятора представлені на Рисунку 3.4.

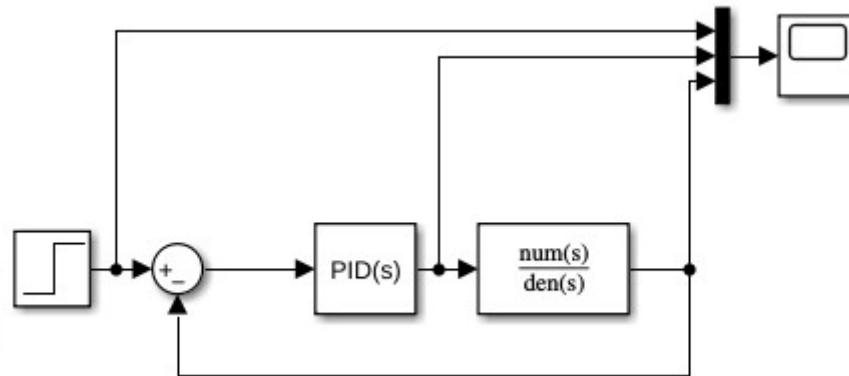


Рисунок 3.3 – Модель системи в Simulink.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.028089	0.028089
I	0.00015743	0.00015743
D	-0.044241	-0.044241
N	0.6349	0.6349

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	281 seconds	281 seconds
Settling time	1.04e+03 seconds	1.04e+03 seconds
Overshoot	7.87 %	7.87 %
Peak	1.08	1.08
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	71.1 deg @ 0.00556 ra...	71.1 deg @ 0.00556 ra...
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 3.4 – Результати автоматичного налаштування для ПІД-регулятора отримані у Simulink PID Tuner.

Як видно з таблиці "Controller Parameters", автоматично налаштовані коефіцієнти для ПІД-регулятора становлять:  $P=0.028089$ ,  $I=0.00015743$ ,  $D=-0.044241$ . Параметр N (фільтр диференціальної складової) прийняв значення 0.6349.

Аналіз якісних показників, отриманих при автоматичному налаштуванні ПІД-регулятора, демонструє такі характеристики:

- Час наростання (Rise time): 281 секунда.
- Час встановлення (Settling time):  $1.04 \times 10^3$  (1040) секунд.

- Перерегулювання (Overshoot): 7.87 %.
- Пік (Peak): 1.08.
- Стійкість замкненої системи (Closed-loop stability): Stable.

Зазначений час встановлення свідчить про інерційність системи, що є очікуваним для теплових об'єктів. Відсутність нескінченних запасів по амплітуді та фазі (Gain margin: Inf dB @ Inf rad/s; Phase margin: 71.1 deg @ 0.00556 rad/s) також підтверджує стабільність системи.

Синтез ПІ-регулятора: метою порівняльного аналізу ефективності різних типів регуляторів було також розглянуто синтез пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора. Передатна функція ПІ-регулятора  $G_c(s)$  описується виразом:

$$G_c(S) = K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Автоматичне налаштування ПІ-регулятора в середовищі Simulink дозволило отримати такі коефіцієнти:  $P=0.083348$ ,  $I=0.0002674$ . Якісні показники перехідного процесу для САК з ПІ-регулятором демонструють такі значення:

- Час наростання (Rise time): 158 секунд.
- Час встановлення (Settling time): 252 секунди.
- Перерегулювання (Overshoot): 1.02 %.
- Пік (Peak): 1.01.
- Стійкість замкненої системи (Closed-loop stability): Stable.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.083348	0.0183
I	0.0002674	8.18e-05
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a
Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	158 seconds	476 seconds
Settling time	252 seconds	1.39e+03 seconds
Overshoot	1.02 %	3.58 %
Peak	1.01	1.04
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	88.2 deg @ 0.013 rad/s	76.5 deg @ 0.00358 ra...
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 3.5 – Результати автоматичного налаштування для ПІ-регулятора отримані у Simulink PID Tuner.

Порівнюючи результати автоматичного налаштування ПІД та ПІ регуляторів, на перший погляд, ПІ-регулятор демонструє значно кращі якісні показники перехідного процесу для даної лінеаризованої моделі об'єкта. Зокрема, час наростання та час встановлення для ПІ-регулятора є істотно меншими (158 с та 252 с відповідно, проти 281 с та 1040 с для ПІД-регулятора), а перерегулювання значно нижче (1.02% проти 7.87%). Це може вказувати на швидшу та стабільнішу реакцію системи з ПІ-регулятором на стрибкоподібні зміни уставки.

Однак, незважаючи на отримані результати оптимізації в середовищі Simulink, для реальної системи керування параметрами середовища виробничих приміщень було прийнято рішення про подальше використання ПІД-регулятора. Це обґрунтовано декількома ключовими аспектами, які не завжди повністю відображаються при лінеаризованому моделюванні та початковому налаштуванні.

Реальні виробничі приміщення є складними термодинамічними об'єктами, параметри яких (наприклад, теплові інерції, коефіцієнти теплопередачі) можуть значно змінюватися залежно від зовнішніх умов, кількості працюючого обладнання, відкриття дверей/вікон тощо. Диференціальна складова ПІД-регулятора (D) надає системі здатності передбачати майбутню поведінку об'єкта, реагуючи на швидкість зміни вимірюваної величини. Це дозволяє ефективніше компенсувати вплив непередбачених збурень та швидких змін параметрів, забезпечуючи кращу якість регулювання в динамічних умовах.

ПІД-регулятор має три незалежні параметри (P, I, D), що надає йому більшу гнучкість у налаштуванні для досягнення оптимальних характеристик перехідних процесів у широкому діапазоні умов експлуатації. Хоча початкове автоматичне налаштування може віддати перевагу ПІ-регулятору для конкретної моделі, ПІД-регулятор дозволяє більш тонко адаптувати систему до складних і мінливих динамік реального об'єкта. Це особливо важливо для

					<i>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

багатопараметричної системи керування, де взаємозв'язок між температурою, вологістю та якістю повітря вимагає більш адаптивного підходу.

У контексті багатопараметричної системи керування (температура, вологість, освітленість, якість повітря), де різні параметри можуть взаємодіяти, ПІД-регулятор пропонує більш робустьний механізм для координації керуючих впливів. Можливість врахування швидкості зміни похибки дозволяє уникнути надмірних коливань та забезпечити плавніше керування в цілому.

Таким чином, хоча ПІ-регулятор продемонстрував хороші показники при лінеаризованому аналізі, вибір на користь ПІД-регулятора є стратегічним кроком, що забезпечує більшу надійність, адаптивність та якість керування в реальних, складних та динамічних умовах виробничих приміщень. Подальше налаштування та оптимізація ПІД-регулятора буде здійснюватися з урахуванням цих факторів.

### **Висновки до розділу**

У цьому розділі було здійснено синтез та аналіз одноконтурної системи автоматичного керування параметрами середовища виробничих приміщень. Розглянуто математичну модель об'єкта керування та проведено синтез ПІД- та ПІ-регуляторів із застосуванням інструментів автоматичного налаштування в середовищі MATLAB/Simulink. Порівняльний аналіз показав, що, попри кращі початкові показники ПІ-регулятора на лінеаризованій моделі, для подальшої реалізації системи обрано ПІД-регулятор. Таке рішення обґрунтовано більшою гнучкістю, адаптивністю та робустьністю ПІД-регулятора до нелінійностей, змінних параметрів та різноманітних збурень, характерних для реальних умов виробничих приміщень. Отримані результати стануть основою для розробки багатопараметричної системи керування, що буде розглянута в наступних підрозділах.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## 4. РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ ВІДДАЛЕНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

### 4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Для забезпечення ефективного моніторингу параметрів середовища виробничих приміщень система використовує комплекс сучасних цифрових датчиків, які забезпечують високу точність вимірювань та надійну передачу даних до контролера. Вибір датчиків здійснювався з урахуванням специфіки виробничого середовища, необхідної точності вимірювань, стабільності роботи в умовах промислових завод та можливості інтеграції з мікроконтролерними системами.

Датчик освітленості BH1750FVI є цифровим сенсором, призначеним для вимірювання інтенсивності освітлення в діапазоні від 1 до 65535 люкс. Основною перевагою цього датчика є його здатність забезпечувати точні вимірювання освітленості з урахуванням спектральної чутливості, близької до людського ока.



Рисунок 4.1 – Давач освітленості BH1750FVI.

Технічні характеристики BH1750FVI:

- Діапазон вимірювань: 1-65535 лк
- Точність:  $\pm 20\%$
- Спектральна чутливість: близька до людського ока
- Інтерфейс: I2C
- Напруга живлення: 2.4-3.6 В

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

— Споживання струму: 120 мкА (в активному режимі), 0.01 мкА (в режимі очікування)

— Температурний діапазон: -40°C до +85°C

— Час вимірювання: 120 мс (в режимі високої роздільної здатності)

Датчик має три режими роздільної здатності: низька (4 лк), висока (1 лк) та дуже висока (0.5 лк), що дозволяє адаптувати точність вимірювань відповідно до конкретних потреб моніторингу. Внутрішній АЦП забезпечує цифрове перетворення сигналу, що мінімізує вплив електромагнітних завад та підвищує надійність передачі даних.

Використання цього датчика в системі моніторингу дозволяє контролювати відповідність рівня освітленості нормативним вимогам для виробничих приміщень, автоматично керувати системами штучного освітлення та оптимізувати енергоспоживання.

DHT21 (AM2301) є комбінованим цифровим датчиком для вимірювання відносної вологості повітря та температури. Датчик використовує ємнісний сенсор вологості та термістор для температурних вимірювань, забезпечуючи високу точність та стабільність показань.



Рисунок 4.2 – Комбінований давач DHT21 (AM2301).

Технічні характеристики DHT21:

— Діапазон вимірювання вологості: 0-100% RH

— Точність вимірювання вологості:  $\pm 3\%$  RH (при 25°C)

— Діапазон вимірювання температури: -40°C до +80°C

— Точність вимірювання температури:  $\pm 0.5^\circ\text{C}$

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- Роздільна здатність: 0.1% RH, 0.1°C
- Напруга живлення: 3.3-5.5 В
- Споживання струму: 1-1.5 мА (під час вимірювання)
- Інтерфейс: односпрямований цифровий протокол
- Стабільність:  $\pm 1\%$  RH/рік

Давач забезпечує калібровані цифрові сигнали з внутрішньою обробкою та контролем якості даних. Вбудована система самодіагностики дозволяє виявляти несправності та забезпечує високу надійність роботи системи моніторингу.

Контроль температури та вологості є критично важливим для багатьох виробничих процесів, оскільки ці параметри впливають на якість продукції, комфорт персоналу та безпеку обладнання.

Модуль CCS811 + HDC1080 представляє собою комплексне рішення для моніторингу якості повітря, що поєднує давач летких органічних сполук (VOCs) та CO<sub>2</sub> (CCS811) з прецизійним датчиком температури та вологості (HDC1080).

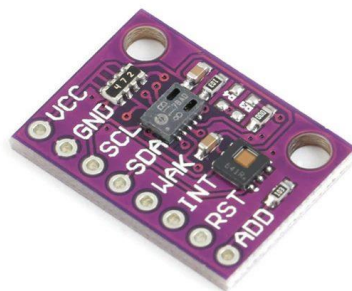


Рисунок 4.3 – Модуль CCS811 + HDC1080.

Характеристики датчика CCS811:

- Вимірювані параметри: еквівалент CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>), загальні леткі органічні сполуки (TVOC)
- Діапазон eCO<sub>2</sub>: 400-8192 ppm
- Діапазон TVOC: 0-1187 ppb

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- Інтерфейс: I2C
- Напруга живлення: 1.8-3.6 В
- Час прогріву: 20 хвилин
- Час відгуку: 60 секунд
- Температурний діапазон: -40°C до +85°C

Характеристики датчика HDC1080:

- Діапазон вимірювання вологості: 0-100% RH
- Точність вимірювання вологості:  $\pm 2\%$  RH (типова)
- Діапазон вимірювання температури: -40°C до +125°C
- Точність вимірювання температури:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  (типова)
- Роздільна здатність: 14 біт (для обох параметрів)
- Споживання енергії: 1.3 мкА (в режимі очікування)

Датчик CCS811 використовує технологію металооксидного газового сенсора з нагрівальним елементом, що забезпечує селективне виявлення летких органічних сполук. Вбудований мікроконтролер обробляє сирі дані та обчислює еквівалентні концентрації CO<sub>2</sub> та TVOC на основі алгоритмів машинного навчання.

Інтеграція цих датчиків дозволяє системі моніторингу забезпечувати комплексний контроль якості повітря, що є особливо важливим для виробничих приміщень з потенційними джерелами забруднення.

Усі вибрані датчики підтримують цифрові інтерфейси (I2C, односпрямований цифровий протокол), що спрощує їх підключення до мікроконтролера та забезпечує високу завадостійкість передачі даних.

Для забезпечення точності вимірювань реалізовано алгоритми фільтрації даних, що дозволяють усунути короткочасні викиди та забезпечити стабільні показання навіть в умовах промислових завод. Кожен датчик має індивідуальні налаштування частоти опитування, що оптимізує енергоспоживання системи та забезпечує своєчасне виявлення змін параметрів середовища.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Використання сучасних цифрових датчиків забезпечує високу точність, надійність та довговічність системи моніторингу, що є критично важливим для ефективного керування параметрами середовища виробничих приміщень.

Вибір мікроконтролерної платформи є одним з найважливіших рішень при розробці системи моніторингу параметрів середовища виробничих приміщень. Сучасні системи моніторингу вимагають від мікроконтролерів високої продуктивності, низького енергоспоживання, достатньої кількості інтерфейсів для підключення датчиків та можливості бездротової передачі даних. У даній роботі розглядається використання двох комплементарних платформ: Arduino Pro Mini для локального збору даних та ESP8266 (NodeMCU) для забезпечення бездротового зв'язку та первинної обробки інформації.

Мікроконтролерні платформи для систем моніторингу середовища повинні відповідати наступним основним вимогам:

Апаратні вимоги:

- Достатня кількість цифрових та аналогових входів для підключення датчиків
- Підтримка основних інтерфейсів зв'язку (I2C, SPI, UART)
- Низьке енергоспоживання для автономної роботи
- Стабільна робота в промисловому температурному діапазоні
- Можливість розширення функціональності через додаткові модулі

Програмні вимоги:

- Наявність розвинутого програмного середовища розробки
- Підтримка бібліотек для роботи з різноманітними давачами
- Можливість реалізації алгоритмів обробки сигналів та фільтрації даних
- Підтримка протоколів бездротового зв'язку
- Можливість оновлення firmware через мережу

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino Pro Mini є компактною мікроконтролерною платформою, розробленою на базі мікроконтролера ATmega328P. Ця платформа характеризується мінімальними розмірами, низьким енергоспоживанням та високою надійністю, що робить її ідеальним вибором для вузлів збору даних у розподілених системах моніторингу.



Рисунок 4.4 – Мікроконтролер Arduino pro mini.

Технічні характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328P
- Тактова частота: 8 МГц (3.3В версія) / 16 МГц (5В версія)
- Напруга живлення: 3.35-12В (3.3В версія) / 5-12В (5В версія)
- Робоча напруга: 3.3В / 5В
- Споживання струму: 3.2 мА (в активному режимі, 3.3В), 0.36 мкА (в режимі глибокого сну)
- Цифрові входи/виходи: 14 (з яких 6 підтримують ШІМ)
- Аналогові входи: 8 (10-бітний АЦП)
- Інтерфейси: I2C, SPI, UART
- Зовнішні переривання: 2
- Flash пам'ять: 32 КБ (з яких 0.5 КБ використовується bootloader)
- SRAM: 2 КБ
- EEPROM: 1 КБ

Переваги Arduino Pro Mini в системах моніторингу:

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Arduino Pro Mini вирізняється виключною компактністю та енергоефективністю, оскільки розміри плати становлять лише 33×18 мм, що дозволяє розміщувати датчикові вузли навіть в найбільш обмежених просторах виробничих приміщень. Низьке енергоспоживання платформи забезпечує тривалу автономну роботу від батарейного живлення, що особливо важливо для віддалених або мобільних точок моніторингу.

Надійність та стабільність роботи досягається завдяки мінімалістичному дизайну плати, який не містить USB-конектора та індикаторних світлодіодів. Такий підхід не лише зменшує кількість потенційних точок відмови, але й додатково знижує споживання енергії, що критично важливо для систем безперервного моніторингу.

Гнучкість підключення забезпечується наявністю всіх необхідних інтерфейсів, що дозволяє інтегрувати широкий спектр датчиків без додаткових перетворювачів. Особливо цінним є I2C інтерфейс, який забезпечує можливість підключення до 127 пристроїв на одну шину, що значно спрощує архітектуру складних систем моніторингу.

Програмне забезпечення Arduino Pro Mini характеризується повною сумісністю з Arduino IDE та доступом до величезної екосистеми готових бібліотек, що істотно спрощує процес розробки та налагодження системи. Це дозволяє швидко адаптувати платформу до специфічних вимог конкретних застосувань моніторингу.

ESP8266 є революційним мікроконтролером з інтегрованим Wi-Fi модулем, який кардинально змінив підхід до створення IoT пристроїв. Платформа NodeMCU, побудована на базі ESP8266, забезпечує зручну розробку завдяки вбудованому USB-програмувачу та розширеним можливостям підключення.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

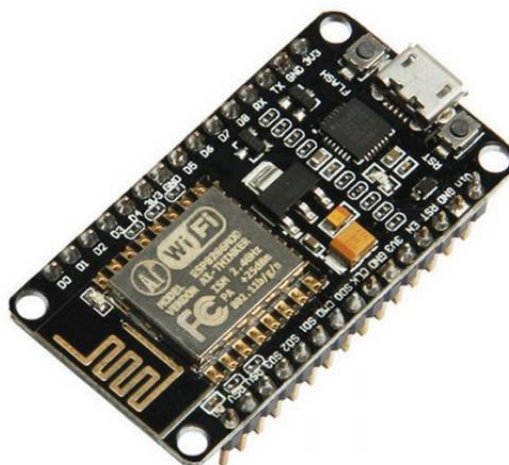


Рисунок 4.5 – Мікроконтролер ESP8266.

Технічні характеристики:

- Процесор: Tensilica L106 32-bit RISC
- Тактова частота: 80 МГц (можна підвищити до 160 МГц)
- Напруга живлення: 4.5-9В (через USB), 3.0-3.6В (прямо на чіп)
- Робоча напруга: 3.3В
- Споживання струму: 70 мА (в активному режимі), 20 мкА (в режимі глибокого сну)
- Цифрові входи/виходи: 11 (GPIO)
- Аналоговий вхід: 1 (10-бітний АЦП)
- ШІМ: 10 каналів
- Інтерфейси: I2C, SPI, I2S, UART
- Flash пам'ять: 4 МБ (зовнішня)
- SRAM: 96 КБ (для даних), 64 КБ (для інструкцій)
- ROM: 64 КБ (boot ROM)
- Wi-Fi стандарт: 802.11 b/g/n (2.4 ГГц)
- Режим роботи: Station, Access Point, Station+AP
- Безпека: WPA/WPA2, WEP, відкрита мережа
- Потужність передавача: +19.5 дБм (в режимі 802.11b)

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Найбільшою перевагою ESP8266 є інтегрований Wi-Fi модуль, який дозволяє створювати повноцінні бездротові системи без додаткових компонентів. Підтримка різних режимів роботи, включаючи точку доступу, клієнтський режим та змішаний режим, забезпечує виняткову гнучкість архітектури системи та можливість адаптації до різноманітних умов експлуатації.

Висока продуктивність досягається завдяки використанню 32-бітного процесора з тактовою частотою 80 МГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з множини датчиків одночасно та реалізації складних алгоритмів фільтрації і аналізу інформації в реальному часі.

Розвинене програмне забезпечення ESP8266 характеризується підтримкою множини середовищ розробки, включаючи Arduino IDE, ESP-IDF, MicroPython та інші платформи. Доступність великої кількості готових бібліотек для роботи з датчиками, мережевими протоколами та хмарними сервісами значно прискорює процес розробки та забезпечує високу надійність кінцевого продукту.

Економічна ефективність ESP8266 полягає в оптимальному співвідношенні низької вартості та високої функціональності, що робить цю платформу ідеальним вибором для масових застосувань у промислових системах моніторингу.

#### **4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації**

Розробка функціональної схеми є фундаментальним етапом проектування віддаленої системи моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень, що забезпечує візуалізацію архітектури та взаємодії ключових компонентів системи. Цей етап має на меті графічне представлення логічної структури системи, розподілу функціональних обов'язків між її елементами, а також ідентифікації потоків даних та керуючих сигналів.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

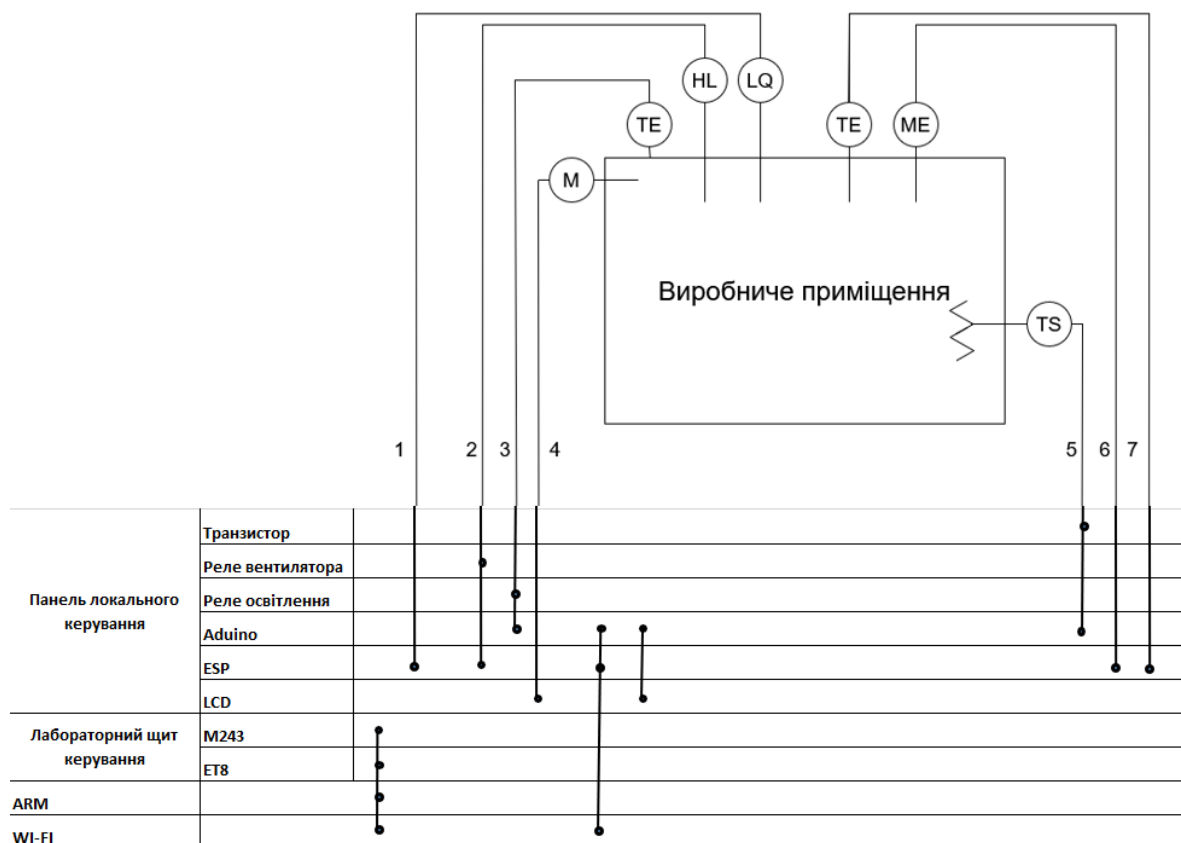


Рисунок 4.6 – Функціональна схема пристрою.

LQ – давач вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі, з дистанційною передачею показів.

HL – Лампа освітлення.

M – мотор з вентилятором.

TE – давач температури, з дистанційною передачею показів.

TS – термоелектричний нагрівач.

ME – датчик вологості, з дистанційною передачею показів.

TE – давач температури, з дистанційною передачею показів.

На рисунку 4.6 зображено функціональну схему АСК установки кондиціонування. Нижче можна побачити структуру зв'язків між компонентами системи.

Центральний модуль системи, побудований на базі ESP8266, відповідає за збір даних з давачів, бездротову передачу інформації та дистанційне керування. Він зчитує параметри середовища, передає їх на хмарну платформу, приймає

команди з веб-інтерфейсу та обмінюється даними з Arduino Pro Mini через односторонній UART-зв'язок.

Arduino Pro Mini виконує функції керування виконавчими пристроями та локального моніторингу. На основі отриманих від ESP8266 даних він керує вентиляцією, обігрівом, звуковою сигналізацією, індикацією та відображенням інформації на LCD. Детальний опис підключень і роботи компонентів наведено у наступному розділі.

### 4.3 Розробка структурної схеми автоматизації

Для даної бакалаврської роботи було розроблену структурну схему автоматизації, зображену на рис. 4.7.

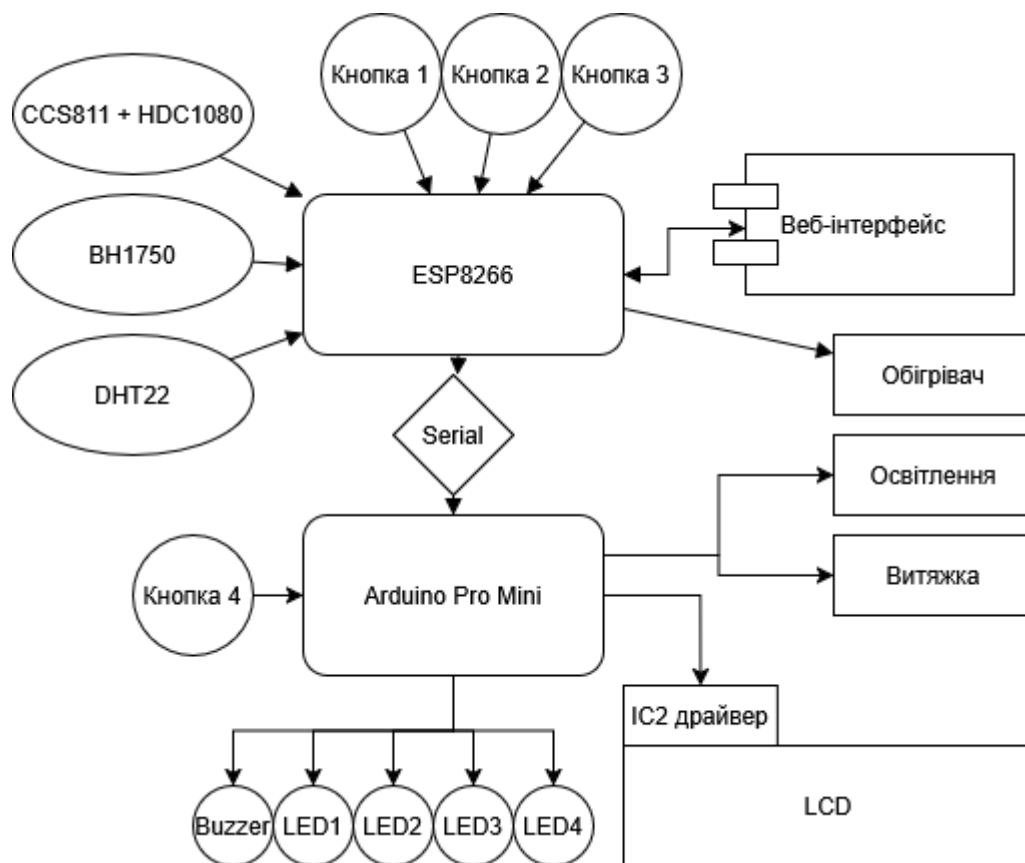


Рисунок 4.7 – Структурна схема об'єкта керування.

Центральний модуль моніторингу та комунікації, реалізований на базі ESP8266, виконує функції збору даних та бездротової передачі інформації. Він інтегрований з комплексом датчиків для безперервного моніторингу ключових параметрів середовища. Зокрема, використовується датчик якості повітря

CCS811 + HDC1080 (підключений через I2C-інтерфейс) для вимірювання еквівалентного рівня вуглекислого газу (eCO<sub>2</sub>), загального вмісту летких органічних сполук (TVOC), а також додаткових показників температури та вологості. Додатковий давач температури та вологості DHT21 підключений до цифрового входу D3 ESP8266, забезпечуючи контрольний канал для цих параметрів. Рівень освітленості фіксується давачем BH1750 (також через I2C-інтерфейс). На основі даних про освітленість та встановлених алгоритмів, ESP8266 здійснює керування освітлювальними приладами через нормально замкнене реле, підключене до піна D0. Для локального керування приладами, до пінів D5, D6, D7 підключено три кнопки без фіксації. Ключовою особливістю ESP8266 є його вбудований Wi-Fi модуль, який забезпечує віддалений доступ до системи, дозволяючи передавати зібрані дані на хмарну платформу та отримувати команди керування з веб-інтерфейсу або мобільного додатку. Зібрані та оброблені дані передаються від ESP8266 до Arduino Pro Mini через односторонній послідовний зв'язок, де вихідний сигнал (TX) ESP8266 з'єднується з вхідним сигналом (RX) Arduino Pro Mini, забезпечуючи безперервний потік інформації до периферійного модуля.

Модуль керування виконавчими пристроями та локальної індикації, реалізований на базі Arduino Pro Mini, відповідає за прийом даних від ESP8266 та безпосереднє керування обладнанням. Отримані через послідовний порт (RX) дані про параметри середовища відображаються на LCD-дисплеї, підключеному через I2C-інтерфейс, що забезпечує локальний моніторинг даних. Arduino Pro Mini здійснює керування двома ключовими виконавчими пристроями: реле для вентилятора (підключене до піна 9) та реле для обігрівача (у вигляді транзистора IRLZ44N). Ці реле дозволяють автоматично регулювати температурно-вологісний режим та якість повітря у виробничому приміщенні. Для звукового сповіщення про перевищення критичних значень параметрів до піна 7 підключений буюер. Кнопка без фіксації на піні 6 використовується для навігації по відображенню інформації на LCD-дисплеї. Додатково, чотири

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



стабілізований блок живлення на 12 В, який забезпечує енергією потужні виконавчі пристрої – освітлення, вентилятор та обігрівач. Обігрівач підключено через силовий транзистор IRLZ44N, що дозволяє керувати ним за допомогою низьковольтного сигналу з мікроконтролера.

Для забезпечення живлення контролерів та периферійних пристроїв використано понижуючі перетворювачі. Перший з них знижує напругу з 12 В до 5 В, живлячи Arduino Pro Mini, модулі реле, транзистор IRLZ44N, а також LCD-дисплей, підключений через інтерфейс I2C. Цей рівень напруги також використовується для живлення цифрових входів та індикаторів, зокрема LED-ламп та кнопки управління інтерфейсом дисплею.

Другий перетворювач знижує напругу з 5 В до 3.3 В та подає живлення на модуль ESP8266, а також датчики, підключені до нього. Серед них – комбінація CCS811 та HDC1080 для вимірювання якості повітря, вологості та температури, освітлювальний датчик BH1750, а також температурно-вологісний датчик DHT21, який забезпечує дублюючий канал для вимірювання параметрів середовища. Підключення ESP8266 до Arduino Pro Mini реалізоване через послідовний інтерфейс UART, що дозволяє передавати зібрані дані на периферійний модуль для подальшої обробки та керування.

Уся система побудована з урахуванням енергетичної роздільності рівнів живлення та забезпечення електричної сумісності між компонентами з різними логічними рівнями, що підвищує стабільність та надійність роботи.

#### **4.5 Розробка програмного забезпечення**

Для забезпечення чіткого розуміння архітектури та принципів функціонування розробленої системи моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень, було розроблено її функціональну схему та деталізовано логіку програмного забезпечення за допомогою блок-схеми.

Блок-схема програми зображена на рисунку 4.9.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



поточні стани реле регулярно передаються на Arduino Pro Mini через послідовний інтерфейс.

Програма для Arduino Pro Mini починається з ініціалізації LCD-дисплея, налаштування всіх підключених пінів для реле, LED-індикаторів та бузера, а також ініціалізації ПІД-регулятора для керування обігрівачем. В основному циклі loop() Arduino безперервно перевіряє наявність даних від ESP8266 через послідовний порт. Отримані дані парсяться та використовуються для оновлення локальних змінних. На основі цих даних та встановлених лімітів (отриманих від ESP8266), а також поточного режиму роботи (автоматичний/примусовий), реалізується логіка керування вентилятором та обігрівачем. Стан виконавчих пристроїв відображається за допомогою LED-індикаторів. Програма також обробляє натискання кнопки для перемикання режимів відображення на LCD-дисплеї та оновлює інформацію на ньому.

#### **4.6 Розробка інтерфейсу для користувача**

Ефективне взаємодія з системою моніторингу та керування параметрами середовища реалізується за допомогою двох основних інтерфейсів: локальної панелі керування та віддаленого веб-інтерфейсу. Такий підхід забезпечує гнучкість та доступність керування системою як безпосередньо у приміщенні, так і з будь-якої точки світу.

Для безпосередньої взаємодії з системою розроблено локальну панель керування, вигляд якої представлено на Рисунку 4.10. На панелі розміщено:

- LCD-дисплей (IC2-LCD) для відображення поточних показників параметрів середовища (температури, вологості, CO<sub>2</sub>, TVOC, освітленості), встановлених лімітів та статусів пристроїв.
- Три кнопки для взаємодії з системою.
- Індикатор зовнішньої температури, живлення схеми, а також стану керованих пристроїв: світла, витяжки (вентилятора) та обігрівача. Також присутній індикатор "Небезпека" для відображення аварійних станів.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



– Налаштовувати ліміти для автоматичного керування, включаючи мінімальну температуру, максимальний рівень CO<sub>2</sub>, максимальний TVOC, мінімальне освітлення, а також константи ПІД-регулятора (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, K<sub>d</sub>) для точного керування обігрівачем.

## Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень

Стан системи та налаштування лімітів

### Поточні показники

Температура 22.8 °C	Вологість 57 %	CO <sub>2</sub> 400 ppm	TVOC 0 ppb
Освітлення 3.3 Lux			

### Керування пристроями

Автоматичний режим (УВІМКНЕНО)    Вентилятор ●    Освітлення ●    Обігрівач ●

### Налаштування лімітів

Мін. температура (°C):	<input type="text" value="20"/>
Макс. CO <sub>2</sub> (ppm):	<input type="text" value="1000"/>
Макс. TVOC (ppb):	<input type="text" value="250"/>
Мін. освітлення (люкс):	<input type="text" value="100"/>
K <sub>p</sub> (ПІД):	<input type="text" value="2"/>
K <sub>i</sub> (ПІД):	<input type="text" value="0.5"/>
K <sub>d</sub> (ПІД):	<input type="text" value="1"/>

Рисунок 4.11 – Вигляд панелі дистанційного моніторингу та керування.

### Висновки до розділу

У розділі розроблено проектну складову віддаленої системи моніторингу параметрів середовища, що охоплює вибір технічних засобів, проектування

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

апаратної архітектури, розробку програмного забезпечення та інтерфейсів користувача. Обґрунтовано вибір сучасних цифрових датчиків (BH1750FVI, DHT21, CCS811+HDC1080) з високою точністю, низьким енергоспоживанням та стійкістю до промислових завод, що забезпечує надійний збір даних. Архітектура системи побудована на комплементарних мікроконтролерних платформах: ESP8266 (бездротова комунікація, хмарна інтеграція) та Arduino Pro Mini (локальне керування виконавчими пристроями), що оптимізує продуктивність та енергоефективність.

Розроблено функціональну та структурну схеми, які візуалізують розподілену логіку системи: ESP8266 зчитує дані з датчиків, передає їх на хмарну платформу та керує освітленням; Arduino Pro Mini отримує інформацію через UART, керує вентиляцією, обігрівом, індикацією та аварійними сигналами. Для живлення реалізовано каскадну схему (12В → 5В → 3.3В), що забезпечує електричну сумісність компонентів із різними рівнями напруги.

Програмне забезпечення включає:

- Для ESP8266: ініціалізацію Wi-Fi, веб-сервер, циклічне опитування датчиків, передачу даних на Arduino;
- Для Arduino Pro Mini: керування ПД-регулятором обігріву, обробку аварійних станів, вивід інформації на LCD;
- Подвійний інтерфейс користувача: локальна панель (LCD, кнопки, LED-індикатори) та веб-інтерфейс для дистанційного моніторингу, налаштування лімітів і керування пристроями.

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі здійснено повний цикл розроблення віддаленої системи моніторингу та автоматичного керування параметрами середовища виробничих приміщень. На основі аналізу сучасних технологій та вимог промисловості запропоновано гнучке рішення, що поєднує апаратні засоби (ESP8266, Arduino Pro Mini, датчики, виконавчі елементи) та програмне забезпечення (вбудовані алгоритми, веб-інтерфейс).

Синтез системи автоматичного регулювання температури із застосуванням ПІД-регулятора дозволив досягти точного та стабільного керування з урахуванням інерційності об'єкта. Математичне моделювання та симуляції у MATLAB/Simulink підтвердили стійкість системи та її здатність до адаптації в умовах змінних збурень.

Розроблена система забезпечує:

- безперервний моніторинг основних параметрів (температури, вологості, CO<sub>2</sub>, TVOC, освітленості),
- автоматичне реагування на відхилення від допустимих значень,
- інтерактивну взаємодію з користувачем через веб-інтерфейс,
- можливість масштабування та адаптації до різних умов експлуатації.

Впровадження подібних систем на підприємствах дозволить зменшити енерговитрати, підвищити ефективність технологічних процесів, покращити умови праці персоналу та забезпечити відповідність санітарним нормам. Отже, отримані результати мають як теоретичну, так і практичну цінність для подальшої автоматизації та цифровізації промислових об'єктів.

					БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Марченко В.Ю. Система автоматизованого моніторингу мікроклімату виробничих приміщень приладобудівних підприємств. 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/2390c7f9-ebe3-4c9b-a519-0362d634c40b/download>
2. Сініца В.І. Система моніторингу температури у виробничих приміщеннях. 2024. URL: <https://ela.kpi.ua/items/69354d0e-0b1d-4380-b366-fa7f07fd5a25> .
3. Керування мікрокліматом у приміщенні. Система REHAU NEA SMART 2.0. 2021. URL: <https://aw-therm.com.ua/keruvannya-mikroklimatom-u-primishenni/>
4. Сучасне рішення автоматизації вентиляції із системою управління "Розумний дім". SOWA. 2023. URL: <https://www.sowa.kiev.ua/blog-uk/sovremennoye-resheniye-avtomatizatsii-ventilyatsii/>
5. Регулятор температури ПІД - найважливіша інформація. JUMO. 2023. URL: <https://www.jumo.ua/web/services/faq/controller/pid-controller>
6. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум. Academia. 2019. URL: [https://www.academia.edu/95288505/Математичне\\_моделювання\\_систем\\_та\\_процесів\\_Комп'ютерний\\_практикум](https://www.academia.edu/95288505/Математичне_моделювання_систем_та_процесів_Комп'ютерний_практикум)
7. Переваги автоматизації світлодіодного освітлення. 5WATT. 2022. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/perevagi-avtomatizaciyi-svitlodiodnogo-osvitlennya>
8. Освітленість виробничих приміщень та складів. Brille. 2021. URL: <https://www.brille.ua/ua/osveshchennost-proizvodstvennyh-pomeshcheniy-skladov/>
9. Що таке віддалений моніторинг ІТ? Vamark. 2023. URL: <https://vamark.ua/blog/shho-take-viddalenyj-monitoryng-it/>
10. Public Channels for Tag: CCS811. ThingSpeak IoT Projects. 2005. URL: <https://thingspeak.mathworks.com/channels/public?page=2&tag=ccs811>

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

11. Моніторинг довкілля. Екологічний моніторинг навколишнього природного середовища. CORE. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/334604258.pdf>
12. Інформаційно-вимірювальна система автоматизованого клімат-контролю. ТНТУ. 2024. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/47934/2/MNPK\\_2024\\_Bugay\\_D\\_O-Information\\_and\\_measuring\\_452-454.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/47934/2/MNPK_2024_Bugay_D_O-Information_and_measuring_452-454.pdf)
13. Підключення та налаштування пристроїв у розумному будинку. HomeNet. URL: <https://homenet.online/internet-dlya-rozumnogo-budinku-pidklyuchennya-ta-nalashtuvannya-pristroyiv/>

					<b>БР.АКП-34.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

# ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

### Лістинг коду програми для мікроконтролера ESP8266

```
#include <ESP8266WiFi.h>

#include <ESP8266WebServer.h>

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_CCS811.h>

#include <Adafruit_HDC1000.h> // Нова бібліотека для HDC1080

#include <BH1750.h>

#include <DHT.h> // Залишаємо DHT для резерву, якщо HDC1080 не працює

// --- Конфігурація Wi-Fi ---

const char* ssid = "ssid";

const char* password = "password";

ESP8266WebServer server(80);

// --- Піни ESP8266 ---

const int LIGHT_RELAY_PIN = D0; // Нормально замкнене реле (освітлення)

const int BUTTON_FAN_PIN = D5;

const int BUTTON_LIGHT_PIN = D6;

const int BUTTON_HEATER_PIN = D7;

// --- Датчики ---

Adafruit_CCS811 ccs;

Adafruit_HDC1000 hdc; // Об'єкт для HDC1080

BH1750 lightMeter;

#define DHTTYPE DHT22 // Тип DHT датчика

const int DHT_PIN = D3; // Пін для DHT22 (як резервний)

DHT dht(DHT_PIN, DHTTYPE);

// --- Змінні для даних датчиків ---

float temperature = 0.0;

float humidity = 0.0;
```

```
int co2 = 0;

int tvoc = 0;

float lux = 0.0;

// --- Ліміти (за замовчуванням, будуть налаштовуватись через веб) ---

float minTemperatureLimit = 20.0;

int maxCo2Limit = 1000;

int maxTvocLimit = 250;

float minLuxLimit = 100.0; // Люкс

// --- Стан пристроїв (для веб-інтерфейсу) ---

bool autoMode = true;

bool fanForced = false;

bool lightForced = false;

bool heaterForced = false;

// --- PID константи (передаватимуться на Arduino) ---

float Kp = 2.0;

float Ki = 0.5;

float Kd = 1.0;

// --- HTML та JavaScript для веб-інтерфейсу ---

String getSensorDataJson() {

    String json = "{";

    json += "\"temperature\":" + String(temperature, 1) + ",";

    json += "\"humidity\":" + String(humidity, 1) + ",";

    json += "\"co2\":" + String(co2) + ",";

    json += "\"tvoc\":" + String(tvoc) + ",";

    json += "\"lux\":" + String(lux, 1) + ",";

    json += "\"minTemp\":" + String(minTemperatureLimit, 1) + ",";

    json += "\"maxCo2\":" + String(maxCo2Limit) + ",";

    json += "\"maxTvoc\":" + String(maxTvocLimit) + ",";
```

```

    json += "\"minLux\": " + String(minLuxLimit, 1) + ",";
    json += "\"autoMode\": " + String(autoMode ? "true" : "false") + ",";
    json += "\"fanForced\": " + String(fanForced ? "true" : "false") + ",";
    json += "\"lightForced\": " + String(lightForced ? "true" : "false") +
    ",";

    json += "\"heaterForced\": " + String(heaterForced ? "true" : "false") +
    ",";

    json += "\"kp\": " + String(Kp, 1) + ",";
    json += "\"ki\": " + String(Ki, 1) + ",";
    json += "\"kd\": " + String(Kd, 1);

    json += "}";

    return json;
}

String getPage() {
    String html = R"rawliteral(
<!DOCTYPE html>

<html>

<head>

<meta charset="UTF-8">

<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

<title>Розумний Дім</title>

<style>

    body { font-family: Arial, sans-serif; margin: 20px; background-color:
    #f4f4f4; color: #333; }

    .container { max-width: 800px; margin: auto; background: #fff; padding:
    20px; border-radius: 8px; box-shadow: 0 2px 10px rgba(0,0,0,0.1); }

    h1, h2 { color: #0056b3; text-align: center; }

    .section { margin-bottom: 25px; padding: 15px; border: 1px solid #ddd;
    border-radius: 5px; background-color: #f9f9f9; }

```

```
.data-grid { display: grid; grid-template-columns: repeat(auto-fit,
minmax(150px, 1fr)); gap: 15px; text-align: center; }

.data-item { padding: 10px; background-color: #e6f7ff; border-radius:
5px; border: 1px solid #b3e0ff; }

.data-label { font-weight: bold; color: #004085; }

.data-value { font-size: 1.2em; color: #0056b3; }

.controls, .limits { display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content:
center; gap: 10px; margin-top: 15px; }

button, input[type="submit"] {

    background-color: #007bff;

    color: white;

    padding: 10px 15px;

    border: none;

    border-radius: 5px;

    cursor: pointer;

    font-size: 16px;

    transition: background-color 0.3s ease;

}

button:hover, input[type="submit"]:hover { background-color: #0056b3; }

.toggle-btn { background-color: #6c757d; }

.toggle-btn.active { background-color: #28a745; } /* Green for active
*/

.limit-input { display: flex; align-items: center; gap: 5px; margin-
bottom: 10px; }

.limit-input label { flex: 1; text-align: right; margin-right: 10px; }

.limit-input input { flex: 2; padding: 8px; border: 1px solid #ccc;
border-radius: 4px; }

form { margin-top: 15px; }

.status-indicator {

    display: inline-block;
```

```
width: 12px;

height: 12px;

border-radius: 50%;

background-color: red; /* Default to off */

margin-left: 5px;

vertical-align: middle;

}

.status-indicator.on { background-color: green; }

</style>

</head>

<body>

<div class="container">

  <h1>Розумний Дім на ESP8266</h1>

  <p style="text-align: center;">Стан системи та налаштування лімітів</p>

  <div class="section">

    <h2>Поточні показники</h2>

    <div class="data-grid" id="sensorData">

      </div>

    </div>

  <div class="section">

    <h2>Керування пристроями</h2>

    <div class="controls">

      <button id="autoModeBtn" class="toggle-btn">Автоматичний режим</button>

      <button id="forceFanBtn">Вентилятор <span id="fanStatus" class="status-indicator"></span></button>

      <button id="forceLightBtn">Освітлення <span id="lightStatus" class="status-indicator"></span></button>

      <button id="forceHeaterBtn">Обігрівач <span id="heaterStatus" class="status-indicator"></span></button>

    </div>

  </div>

</div>

</body>

</html>
```

</div>

</div>

<div class="section">

<h2>Налаштування лімітів</h2>

<form id="limitsForm">

<div class="limit-input">

<label for="minTemp">Мін. температура (°C):</label>

<input type="number" step="0.1" id="minTemp" name="minTemp">

</div>

<div class="limit-input">

<label for="maxCo2">Макс. CO2 (ppm):</label>

<input type="number" id="maxCo2" name="maxCo2">

</div>

<div class="limit-input">

<label for="maxTvoc">Макс. TVOC (ppb):</label>

<input type="number" id="maxTvoc" name="maxTvoc">

</div>

<div class="limit-input">

<label for="minLux">Мін. освітлення (люкс):</label>

<input type="number" step="0.1" id="minLux" name="minLux">

</div>

<div class="limit-input">

<label for="kp">Kp (ПІД):</label>

<input type="number" step="0.1" id="kp" name="kp">

</div>

<div class="limit-input">

<label for="ki">Ki (ПІД):</label>

<input type="number" step="0.1" id="ki" name="ki">

```

</div>

<div class="limit-input">

  <label for="kd">Kd (ПІД):</label>

  <input type="number" step="0.1" id="kd" name="kd">

</div>

<div style="text-align: center;">

  <input type="submit" value="Зберегти ліміти">

</div>

</form>

</div>

</div>

<script>

function fetchSensorData() {

  fetch('/data')

    .then(response => response.json())

    .then(data => {

      document.getElementById('sensorData').innerHTML = `

        <div class="data-item"><div class="data-
label">Температура</div><div class="data-value">${data.temperature}
°C</div></div>

        <div class="data-item"><div class="data-
label">Вологість</div><div class="data-value">${data.humidity}
%</div></div>

        <div class="data-item"><div class="data-label">CO2</div><div
class="data-value">${data.co2} ppm</div></div>

        <div class="data-item"><div class="data-label">TVOC</div><div
class="data-value">${data.tvoc} ppb</div></div>

        <div class="data-item"><div class="data-
label">Освітлення</div><div class="data-value">${data.lux}
Lux</div></div>

      `;
    });
}

```

```
document.getElementById('minTemp').value = data.minTemp;

document.getElementById('maxCo2').value = data.maxCo2;

document.getElementById('maxTvoc').value = data.maxTvoc;

document.getElementById('minLux').value = data.minLux;

document.getElementById('kp').value = data.kp;

document.getElementById('ki').value = data.ki;

document.getElementById('kd').value = data.kd;

// Update button states

const autoModeBtn = document.getElementById('autoModeBtn');

if (data.autoMode) {

    autoModeBtn.classList.add('active');

    autoModeBtn.textContent = 'Автоматичний режим (УВІМКНЕНО)';

} else {

    autoModeBtn.classList.remove('active');

    autoModeBtn.textContent = 'Автоматичний режим (ВИМКНЕНО)';

}

document.getElementById('fanStatus').classList.toggle('on',
data.fanForced);

document.getElementById('lightStatus').classList.toggle('on',
data.lightForced);

document.getElementById('heaterStatus').classList.toggle('on',
data.heaterForced);

})

.catch(error => console.error('Error fetching sensor data:',
error));

}

document.getElementById('limitsForm').addEventListener('submit',
function(event) {

    event.preventDefault();

    const formData = new FormData(this);
```

```

const params = new URLSearchParams();

for (const pair of formData) {
    params.append(pair[0], pair[1]);
}

fetch('/setLimits?' + params.toString())

    .then(response => response.text())

    .then(data => {

        alert(data);

        fetchSensorData(); // Refresh data after setting limits

    })

    .catch(error => console.error('Error setting limits:', error));

});

document.getElementById('autoModeBtn').addEventListener('click',
function() {

    fetch('/toggleAutoMode')

        .then(response => response.text())

        .then(data => {

            alert(data);

            fetchSensorData();

        })

        .catch(error => console.error('Error toggling auto mode:', error));

});

document.getElementById('forceFanBtn').addEventListener('click',
function() {

    fetch('/toggleFan')

        .then(response => response.text())

        .then(data => {

            alert(data);

            fetchSensorData();

        })

        .catch(error => console.error('Error toggling fan:', error));

});

```

```
    })

    .catch(error => console.error('Error toggling fan:', error));

  });

  document.getElementById('forceLightBtn').addEventListener('click',
function() {

  fetch('/toggleLight')

  .then(response => response.text())

  .then(data => {

    alert(data);

    fetchSensorData();

  })

  .catch(error => console.error('Error toggling light:', error));

});

  document.getElementById('forceHeaterBtn').addEventListener('click',
function() {

  fetch('/toggleHeater')

  .then(response => response.text())

  .then(data => {

    alert(data);

    fetchSensorData();

  })

  .catch(error => console.error('Error toggling heater:', error));

});

  // Fetch data initially and every 5 seconds

  fetchSensorData();

  setInterval(fetchSensorData, 5000);

</script>
```

```
</body>

</html>

)rawliteral";

    return html;

}

// --- Функції для обробки веб-запитів ---

void handleRoot() {

    server.send(200, "text/html", getPage());

}

void handleData() {

    server.send(200, "application/json", getSensorDataJson());

}

void handleSetLimits() {

    if (server.hasArg("minTemp")) minTemperatureLimit =
server.arg("minTemp").toFloat();

    if (server.hasArg("maxCo2")) maxCo2Limit =
server.arg("maxCo2").toInt();

    if (server.hasArg("maxTvoc")) maxTvocLimit =
server.arg("maxTvoc").toInt();

    if (server.hasArg("minLux")) minLuxLimit =
server.arg("minLux").toFloat();

    if (server.hasArg("kp")) Kp = server.arg("kp").toFloat();

    if (server.hasArg("ki")) Ki = server.arg("ki").toFloat();

    if (server.hasArg("kd")) Kd = server.arg("kd").toFloat();

    server.send(200, "text/plain", "Ліміти оновлено!");

}

void handleToggleAutoMode() {

    autoMode = !autoMode;

    fanForced = false; // Turn off forced modes when switching to auto

    lightForced = false;
```

```

heaterForced = false;

server.send(200, "text/plain", autoMode ? "Автоматичний режим
увімкнено." : "Автоматичний режим вимкнено.");
}

void handleToggleFan() {

fanForced = !fanForced;

autoMode = false; // Turn off auto mode when forcing a device

server.send(200, "text/plain", fanForced ? "Вентилятор увімкнено
примусово." : "Вентилятор вимкнено примусово.");
}

void handleToggleLight() {

lightForced = !lightForced;

autoMode = false;

server.send(200, "text/plain", lightForced ? "Освітлення увімкнено
примусово." : "Освітлення вимкнено примусово.");
}

void handleToggleHeater() {

heaterForced = !heaterForced;

autoMode = false;

server.send(200, "text/plain", heaterForced ? "Обігрівач увімкнено
примусово." : "Обігрівач вимкнено примусово.");
}

// --- Функція для відправки даних на Arduino ---

void sendDataToArduino() {

// Формат даних:
Т,Н,CO2,TVOC,LUX,MinT,MaxCO2,MaxTVOC,MinLUX,AutoMode,FanForced,LightForce
d,HeaterForced,Kp,Ki,Kd

String dataString = String(temperature, 1) + "," +

String(humidity, 1) + "," +

String(co2) + "," +

```

```

        String(tvoc) + "," +
        String(lux, 1) + "," +
        String(minTemperatureLimit, 1) + "," +
        String(maxCo2Limit) + "," +
        String(maxTvocLimit) + "," +
        String(minLuxLimit, 1) + "," +
        String(autoMode ? 1 : 0) + "," +
        String(fanForced ? 1 : 0) + "," +
        String(lightForced ? 1 : 0) + "," +
        String(heaterForced ? 1 : 0) + "," +
        String(Kp, 1) + "," +
        String(Ki, 1) + "," +
        String(Kd, 1) + "\n"; // Додаємо символ нового
рядка як роздільник

    Serial.print(dataString);

    Serial.flush(); // Дочекатися завершення відправки
}

// --- Setup ---
void setup() {

    Serial.begin(115200); // Для зв'язку з Arduino

    Serial.setTimeout(5); // Зменшуємо таймаут для серійного порту

    pinMode(LIGHT_RELAY_PIN, OUTPUT);

    digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, HIGH); // Реле нормально замкнене, тому
HIGH для вимкнення освітлення

    pinMode(BUTTON_FAN_PIN, INPUT_PULLUP);

    pinMode(BUTTON_LIGHT_PIN, INPUT_PULLUP);

    pinMode(BUTTON_HEATER_PIN, INPUT_PULLUP);

    Wire.begin(); // Ініціалізація I2C

    // Ініціалізація HDC1080

```

```
Serial.print("Initializing HDC1080... ");

if (!hdc.begin()) {

    Serial.println("FAILED! Check wiring or I2C address. HDC data will
not be available.");

    // НЕ РОБИМО WHILE(1) - дозволяємо коду продовжуватись, навіть якщо
HDC1080 не працює.

} else {

    Serial.println("OK!");

}

// Ініціалізація CCS811

Serial.print("Initializing CCS811... ");

if (!ccs.begin()) {

    Serial.println("FAILED! Check wiring or I2C address. CO2/TVOC data
will not be available.");

    // НЕ РОБИМО WHILE(1)

} else {

    Serial.println("OK!");

    // Перевірка статусу CCS811 та очікування його готовності

    // Уникаємо блокуючого while циклу, просто чекаємо наявність даних
пізніше в loop

}

// Ініціалізація BH1750

Serial.print("Initializing BH1750... ");

if (lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE)) {

    Serial.println("OK!");

} else {

    Serial.println("FAILED! Error initialising BH1750. Light data will
not be available.");

}

}
```

```
// Ініціалізація DHT22 (як резервний)

Serial.print("Initializing DHT22 (backup)... ");

dht.begin();

delay(100); // Даємо час DHT стабілізуватися

float testTemp = dht.readTemperature();

if (isnan(testTemp)) {

    Serial.println("FAILED! DHT not found or error. Temperature/Humidity
data might be limited.");

} else {

    Serial.println("OK!");

}

// --- Підключення до Wi-Fi ---

Serial.print("Connecting to WiFi: ");

Serial.println(ssid);

WiFi.begin(ssid, password);

unsigned long wifiConnectStartTime = millis();

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - wifiConnectStartTime
< 20000) { // Timeout after 20 seconds

    delay(500);

    Serial.print(".");

}

Serial.println("");

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

    Serial.println("WiFi connected");

    Serial.print("IP Address: ");

    Serial.println(WiFi.localIP());

} else {

    Serial.println("Failed to connect to WiFi after 20 seconds.");

}
```

```
// --- Налаштування веб-сервера ---

server.on("/", handleRoot);

server.on("/data", handleData);

server.on("/setLimits", handleSetLimits);

server.on("/toggleAutoMode", handleToggleAutoMode);

server.on("/toggleFan", handleToggleFan);

server.on("/toggleLight", handleToggleLight);

server.on("/toggleHeater", handleToggleHeater);

server.begin();

Serial.println("HTTP server started");

}

// --- Loop ---

void loop() {

    server.handleClient();

// Читання HDC1080 для температури та вологості

    static unsigned long lastHdcRead = 0;

    if (millis() - lastHdcRead > 2000) { // Читаємо HDC1080 кожні 2 секунди

        float hdc_temp = hdc.readTemperature();

        float hdc_hum = hdc.readHumidity();

        if (!isnan(hdc_temp) && !isnan(hdc_hum)) {

            temperature = hdc_temp;

            humidity = hdc_hum;

            // Компенсація CCS811 даними від HDC1080, тільки якщо дані коректні

            ccs.setEnvironmentalData(humidity, temperature);

        } else {

            Serial.println("HDC1080 read failed, trying DHT22.");

            // Якщо HDC1080 не спрацював, спробуємо DHT22 як резерв

            float dht_h = dht.readHumidity();
```

```

float dht_t = dht.readTemperature();

if (!isnan(dht_h) && !isnan(dht_t)) {

    humidity = dht_h;

    temperature = dht_t;

    ccs.setEnvironmentalData(humidity, temperature); // Спробуємо
передати дані з DHT22

    } else {

        Serial.println("DHT22 read also failed.");

    }

}

lastHdcRead = millis();

}

// Читання CCS811

// Перевіряємо наявність даних ПЕРЕД зчитуванням, щоб не блокувати

if (ccs.available()) {

    if (!ccs.readData()) { // readData() повертає 0 при успіху, інакше
код помилки

        co2 = ccs.geteCO2();

        tvoc = ccs.getTVOC();

    } else {

        Serial.println("ERROR! CCS811 failed to read data (readData()
returned error).");

    }

} else {

    //Serial.println("CCS811 data not available yet."); // Можна
закоментувати для зменшення виводу

}

// Читання BH1750

if (lightMeter.measurementReady()) {

    lux = lightMeter.readLightLevel();

```

```

}

// --- Логіка автоматичного керування (для ESP, що передається на
Arduino) ---

if (autoMode) {

    // Важливо: перевіряємо, чи отримані дані коректні

    if (lux > 0 && lux < minLuxLimit) { // Перевірка lux > 0, щоб
уникнути помилкових нульових значень

        digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, LOW); // Увімкнути освітлення (для НЗ
реле)

    } else {

        digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, HIGH); // Вимкнути освітлення

    }

} else {

    // Якщо AutoMode вимкнено, керуємо примусово

    if (lightForced) {

        digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, LOW);

    } else {

        digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, HIGH);

    }

}

// --- Обробка кнопок на ESP (примусове ввімкнення/вимкнення) ---

// Додаємо debounce для кнопок

static unsigned long lastFanButtonPress = 0;

if (digitalRead(BUTTON_FAN_PIN) == LOW && millis() - lastFanButtonPress
> 200) {

    fanForced = !fanForced;

    autoMode = false;

    Serial.print("Fan forced: ");

    Serial.println(fanForced ? "ON" : "OFF");

    lastFanButtonPress = millis();

```

```
}

static unsigned long lastLightButtonPress = 0;

if (digitalRead(BUTTON_LIGHT_PIN) == LOW && millis() -
lastLightButtonPress > 200) {

    lightForced = !lightForced;

    autoMode = false;

    Serial.print("Light forced: ");

    Serial.println(lightForced ? "ON" : "OFF");

    lastLightButtonPress = millis();

}

static unsigned long lastHeaterButtonPress = 0;

if (digitalRead(BUTTON_HEATER_PIN) == LOW && millis() -
lastHeaterButtonPress > 200) {

    heaterForced = !heaterForced;

    autoMode = false;

    Serial.print("Heater forced: ");

    Serial.println(heaterForced ? "ON" : "OFF");

    lastHeaterButtonPress = millis();

}

// Відправка даних на Arduino кожні 1 секунду

static unsigned long lastSendTime = 0;

if (millis() - lastSendTime > 1000) {

    sendDataToArduino();

    lastSendTime = millis();

}

delay(10); // Невелика затримка для стабільності

}
```

## ДОДАТОК Б

### Лістинг коду програми для мікроконтролера Arduino pro mini

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <PID_v1_bc.h>

// --- Піни Arduino Pro Mini ---

const int HEATER_MOSFET_PIN = 9; // Транзистор для обігрівача (PWM)

const int FAN_RELAY_PIN = 8;      // Реле для вентилятора

const int BUZZER_PIN = 7;

const int LCD_MODE_BUTTON_PIN = 6;

const int LED_HEATER_PIN = 5;

const int LED_FAN_PIN = 4;

const int LED_LIGHT_PIN = 3;

const int LED_POWER_PIN = 2; // Індикатор живлення

// --- LCD ---

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Адреса I2C LCD та розмір (16x2)

// --- Змінні для даних, отриманих від ESP ---

float esp_temperature = 0.0;

float esp_humidity = 0.0;

int esp_co2 = 0;

int esp_tvoc = 0;

float esp_lux = 0.0;

float esp_minTemperatureLimit = 20.0;

int esp_maxCo2Limit = 1000;

int esp_maxTvocLimit = 250;

float esp_minLuxLimit = 100.0;

bool esp_autoMode = true;

bool esp_fanForced = false;
```

```
bool esp_lightForced = false;

bool esp_heaterForced = false;

float esp_Kp = 2.0;

float esp_Ki = 0.5;

float esp_Kd = 1.0;

// --- Стан пристроїв, що керуються Arduino ---

bool fanState = false;

int heaterPWM = 0; // 0-255 для PWM

bool lightState = false; // Стан освітлення (для індикації, керується
ESP)

// --- Змінні для PID регулятора ---

double Setpoint, Input, Output;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, esp_Kp, esp_Ki, esp_Kd, DIRECT); //
Налаштовуємо PID з DIRECT

const int PID_MAX_PWM = 255;

const int PID_MIN_PWM = 0;

// --- Режими відображення на LCD ---

enum LcdDisplayMode {

    MODE_TEMP_HUM,

    MODE_CO2_TVOC,

    MODE_LUX,

    MODE_LIMITS,

    MODE_STATUS,

    NUM_LCD_MODES

};

LcdDisplayMode currentLcdMode = MODE_TEMP_HUM;

// --- Змінні для кнопок ---

unsigned long lastButtonPresTime = 0;

const long debounceDelay = 50; // ms
```

```
// --- Функція для парсингу даних з серійного порту ---  
  
void parseSerialData(String data) {  
    int firstComma = data.indexOf(',');  
  
    if (firstComma == -1) return;  
  
    esp_temperature = data.substring(0, firstComma).toFloat();  
  
    data = data.substring(firstComma + 1);  
  
    int secondComma = data.indexOf(',');  
  
    if (secondComma == -1) return;  
  
    esp_humidity = data.substring(0, secondComma).toFloat();  
  
    data = data.substring(secondComma + 1);  
  
    int thirdComma = data.indexOf(',');  
  
    if (thirdComma == -1) return;  
  
    esp_co2 = data.substring(0, thirdComma).toInt();  
  
    data = data.substring(thirdComma + 1);  
  
    int fourthComma = data.indexOf(',');  
  
    if (fourthComma == -1) return;  
  
    esp_tvoc = data.substring(0, fourthComma).toInt();  
  
    data = data.substring(fourthComma + 1);  
  
    int fifthComma = data.indexOf(',');  
  
    if (fifthComma == -1) return;  
  
    esp_lux = data.substring(0, fifthComma).toFloat();  
  
    data = data.substring(fifthComma + 1);  
  
    int sixthComma = data.indexOf(',');  
  
    if (sixthComma == -1) return;  
  
    esp_minTemperatureLimit = data.substring(0, sixthComma).toFloat();  
  
    data = data.substring(sixthComma + 1);  
  
    int seventhComma = data.indexOf(',');  
  
    if (seventhComma == -1) return;
```

```
esp_maxCo2Limit = data.substring(0, seventhComma).toInt();
data = data.substring(seventhComma + 1);
int eighthComma = data.indexOf(',');
if (eighthComma == -1) return;
esp_maxTvocLimit = data.substring(0, eighthComma).toInt();
data = data.substring(eighthComma + 1);
int ninthComma = data.indexOf(',');
if (ninthComma == -1) return;
esp_minLuxLimit = data.substring(0, ninthComma).toFloat();
data = data.substring(ninthComma + 1);
int tenthComma = data.indexOf(',');
if (tenthComma == -1) return;
esp_autoMode = (data.substring(0, tenthComma).toInt() == 1);
data = data.substring(tenthComma + 1);
int eleventhComma = data.indexOf(',');
if (eleventhComma == -1) return;
esp_fanForced = (data.substring(0, eleventhComma).toInt() == 1);
data = data.substring(eleventhComma + 1);
int twelfthComma = data.indexOf(',');
if (twelfthComma == -1) return;
esp_lightForced = (data.substring(0, twelfthComma).toInt() == 1);
data = data.substring(twelfthComma + 1);
int thirteenthComma = data.indexOf(',');
if (thirteenthComma == -1) return;
esp_heaterForced = (data.substring(0, thirteenthComma).toInt() == 1);
data = data.substring(thirteenthComma + 1);
int fourteenthComma = data.indexOf(',');
if (fourteenthComma == -1) return;
```

```

esp_Kp = data.substring(0, fourteenthComma).toFloat();
data = data.substring(fourteenthComma + 1);
int fifteenthComma = data.indexOf(',');
if (fifteenthComma == -1) return;
esp_Ki = data.substring(0, fifteenthComma).toFloat();
data = data.substring(fifteenthComma + 1);
// Останнє значення - Kd
esp_Kd = data.toFloat();
// Оновлюємо PID константи
myPID.SetTunings(esp_Kp, esp_Ki, esp_Kd);
}
// --- Функція для відображення на LCD ---
void updateLcd() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    switch (currentLcdMode) {
        case MODE_TEMP_HUM:
            lcd.print("Temp: ");
            lcd.print(esp_temperature, 1);
            lcd.print((char)223); // Символ градуса
            lcd.print("C");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Hum: ");
            lcd.print(esp_humidity, 1);
            lcd.print("%");
            break;
        case MODE_CO2_TVOC:
            lcd.print("CO2: ");

```

```
    lcd.print(esp_co2);

    lcd.print(" ppm");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("TVOC: ");

    lcd.print(esp_tvoc);

    lcd.print(" ppb");

    break;

case MODE_LUX:

    lcd.print("Light: ");

    lcd.print(esp_lux, 1);

    lcd.print(" Lux");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("PID PWM: ");

    lcd.print(heaterPWM);

    break;

case MODE_LIMITS:

    lcd.print("Tlim:");

    lcd.print(esp_minTemperatureLimit, 1);

    lcd.print(" C");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("CO2lim:");

    lcd.print(esp_maxCo2Limit);

    lcd.print(" ppm");

    break;

case MODE_STATUS:

    lcd.print("Auto:");

    lcd.print(esp_autoMode ? "ON" : "OFF");

    lcd.print(" Fan:");
```

```
    lcd.print(fanState ? "ON" : "OFF");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Heat:");

    lcd.print(heaterPWM > 0 ? "ON" : "OFF");

    lcd.print(" Light:");

    lcd.print(lightState ? "ON" : "OFF");

    break;

default:

    lcd.print("Error Mode");

    break;

}

}

// --- Setup ---

void setup() {

    Serial.begin(115200); // Для зв'язку з ESP

    // Налаштування пінів

    pinMode(HEATER_MOSFET_PIN, OUTPUT);

    pinMode(FAN_RELAY_PIN, OUTPUT);

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LCD_MODE_BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

    pinMode(LED_HEATER_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LED_FAN_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LED_LIGHT_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LED_POWER_PIN, OUTPUT);

    // Індикатор живлення завжди ввімкнений

    digitalWrite(LED_POWER_PIN, HIGH);

    // Ініціалізація LCD

    lcd.init();
```

```

lcd.backlight();

lcd.print("Smart Home Init");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Waiting for data");

// Налаштування PID

Setpoint = esp_minTemperatureLimit; // Початкова уставка

myPID.SetOutputLimits(PID_MIN_PWM, PID_MAX_PWM);

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

}

// --- Loop ---

void loop() {

    // Читання даних з ESP

    if (Serial.available()) {

        String data = Serial.readStringUntil('\n');

        parseSerialData(data);

        Serial.println("Received from ESP: " + data); // Для дебагу

    }

    if (esp_autoMode) {

        if (esp_co2 > esp_maxCo2Limit  esp_tvoc > esp_maxTvocLimit) {

            digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, HIGH); // Увімкнути вентилятор

            fanState = true;

        } else {

            digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, LOW); // Вимкнути вентилятор

            fanState = false;

        }

    } else { // Примусовий режим

        if (esp_fanForced) {

            digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, HIGH);

```

```

        fanState = true;

    } else {

        digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, LOW);

        fanState = false;}

}

if (esp_autoMode) {

    Setpoint = esp_minTemperatureLimit; // Уставка для PID

    Input = esp_temperature; // Поточна температура

    if (esp_temperature < (esp_minTemperatureLimit + 2) ) { // Запускаємо
PID, коли температура нижче порогу

        myPID.Compute();

        heaterPWM = (int)Output;

    } else {

        heaterPWM = 0; // Вимикаємо обігрівач, якщо температура достатня

    }

    analogWrite(HEATER_MOSFET_PIN, heaterPWM);

} else { // Примусовий режим

    if (esp_heaterForced) {

        analogWrite(HEATER_MOSFET_PIN, PID_MAX_PWM); // На повну потужність

        heaterPWM = PID_MAX_PWM;

    } else {

        analogWrite(HEATER_MOSFET_PIN, 0);

        heaterPWM = 0;

    }

}

if (esp_autoMode) {

    lightState = (esp_lux < esp_minLuxLimit);

} else {

```

```

    lightState = esp_lightForced;
}

digitalWrite(LED_FAN_PIN, fanState);

digitalWrite(LED_HEATER_PIN, heaterPWM > 0 ? HIGH : LOW);

digitalWrite(LED_LIGHT_PIN, lightState);

int buttonState = digitalRead(LCD_MODE_BUTTON_PIN);

if (buttonState == LOW) {

    if (millis() - lastButtonPresTime > debounceDelay) {

        currentLcdMode = (LcdDisplayMode)((currentLcdMode + 1) %
NUM_LCD_MODES);

        lastButtonPresTime = millis();

        updateLcd(); // Оновлюємо LCD одразу після зміни режиму

    }

}

static unsigned long lastLcdUpdateTime = 0;

if (millis() - lastLcdUpdateTime > 1000) { // Оновлювати LCD кожну
секунду

    updateLcd();

    lastLcdUpdateTime = millis();

}

// --- Сигналізація (бузер) ---

// Можна додати логіку для бузера, наприклад, при перевищенні критичних
лімітів CO2/TVOC

// if (esp_co2 > (esp_maxCo2Limit * 1.5) esp_tvoc > (esp_maxTvocLimit
* 1.5)) {

//   digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);

// } else {

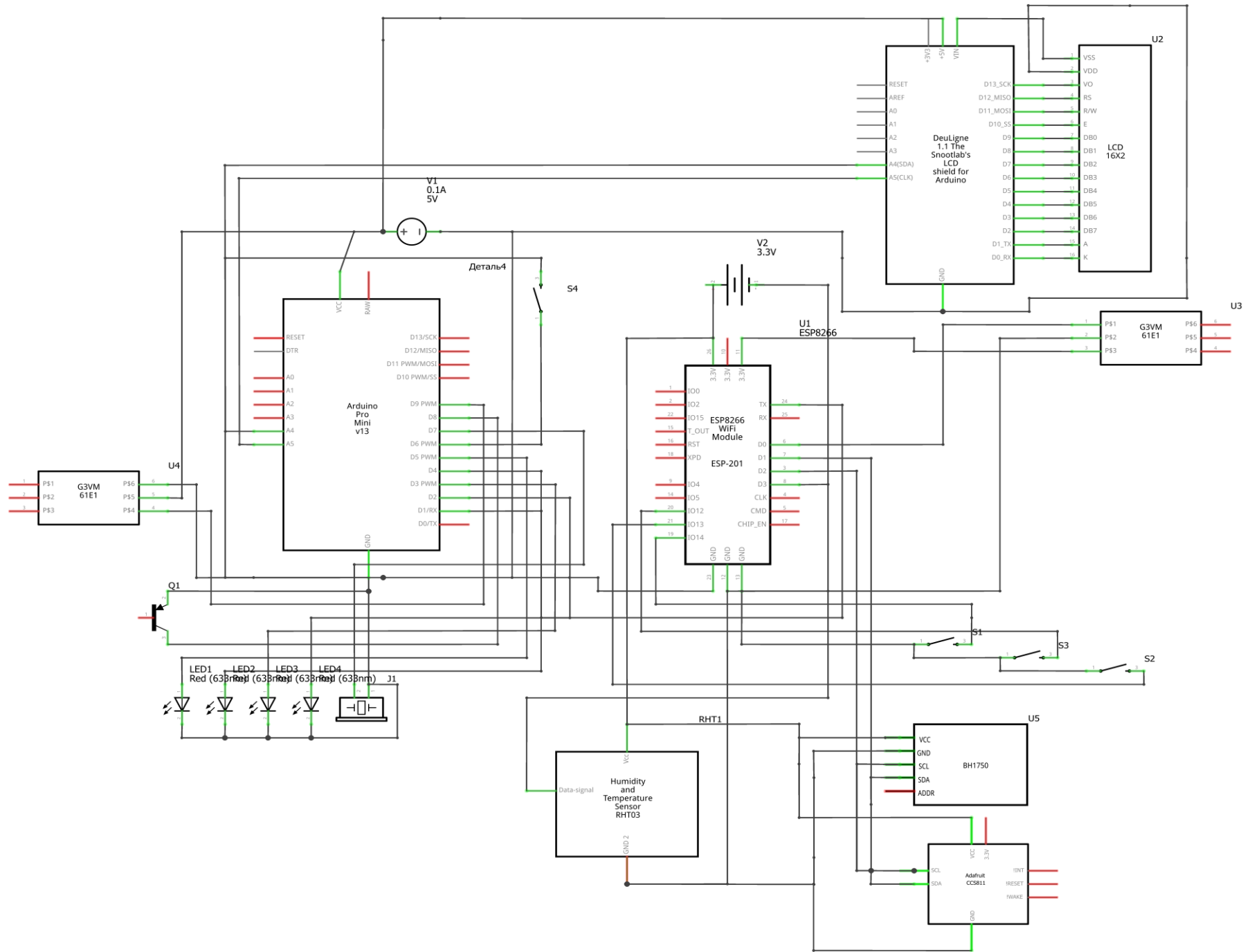
//   digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

// }

delay(10);

```



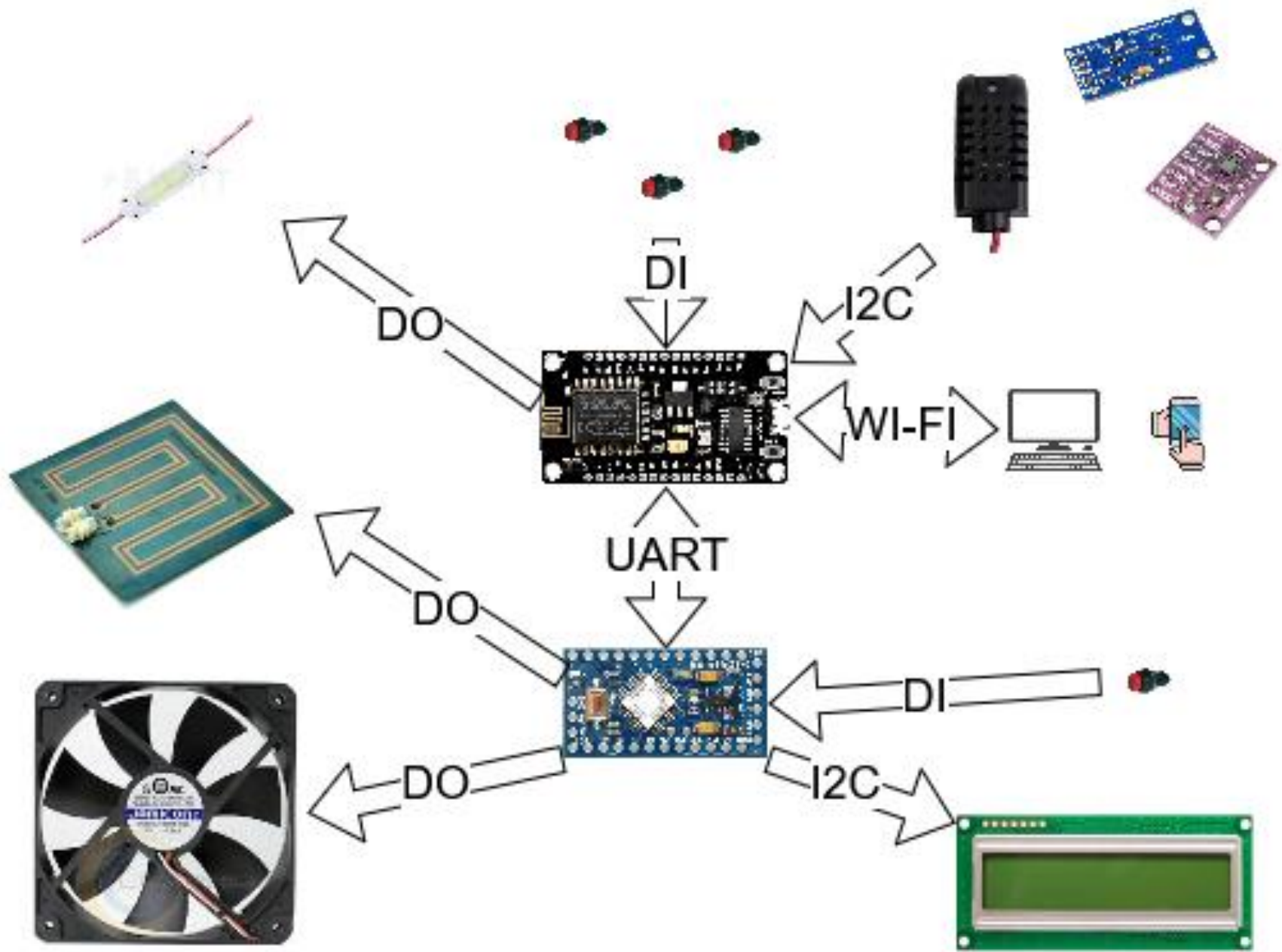








					БР.АКП-34.00.00.002				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень</i>	Літера		Маса	Масштаб
Розробив		Базів В. М.							
Перевірив		Когутяк М. І							
Т. Контроль									
Рецензент		Борин В. С.							
						Арк. 2		Аркушів 6	
Н. Контроль		Кучмистенко О. В.			Функціональна схема об'єкта	АКП-23-1К ІФНТУНГ			
Затвердив		Лагойда А.І.							







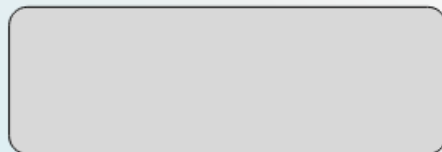




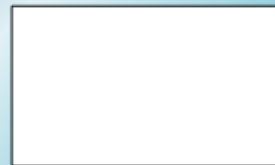
# Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовищ виробничих приміщень



IC2 - LCD



Температура зовнішня



Живлення схеми



## Керування пристроями

Світло



Витяжка



Обігрівач



Небезпека

2025

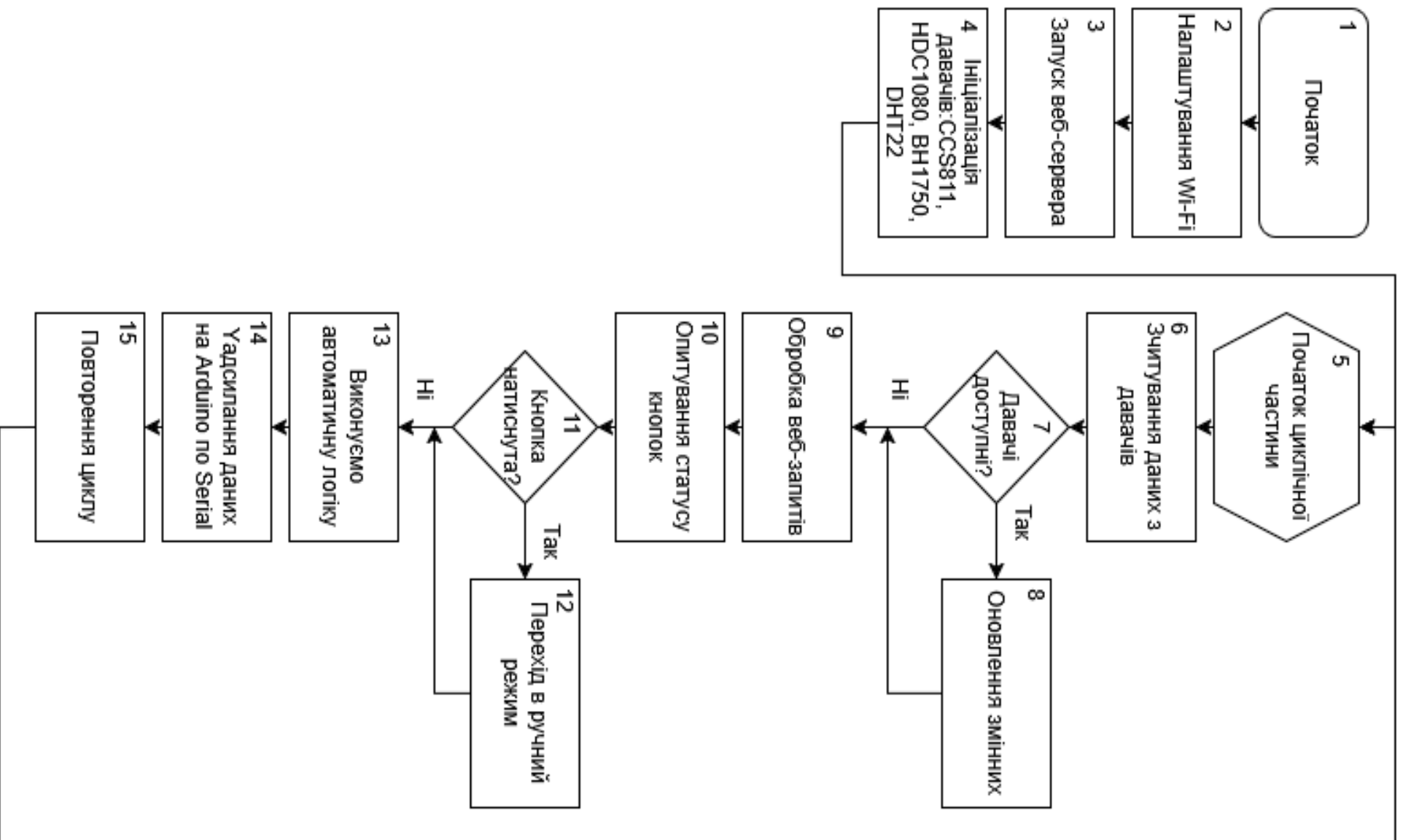


АКІТ

2025



					БР.АКП-34.00.00.005				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень</i>	Літера		Маса	Масштаб
Розробив		Базів В. М.							
Перевірив		Когутяк М. І							
Т. Контроль									
Рецензент		Борин В. С.							
						Арк.	5	Аркушів	6
Н. Контроль		Кучмистенко О. В.			Дизайн передньої панелі керування	АКП-23-1К ІФНТУНГ			
Затвердив		Лагойда А.І.							



					БР.АКП-34.00.00.006				
					<i>Віддалена система моніторингу та керування параметрами середовища виробничих приміщень</i>	Літера		Маса	Масштаб
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
					Блок-схема алгоритм керування системою	Арк. 6		Аркушів 6	
Розробив		Базів В. М.				АКП-23-1К ІФНТУНГ			
Перевірив		Когутяк М. І							
Т. Контроль									
Рецензент		Борин В. С.							
Н. Контроль		Кучмистенко О. В.							
Затвердив		Лагойда А.І.							