

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні

Назва теми

КвРАКІТ.21045.01.18.ПЗ

Рівень вищої освіти перший

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

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

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-21-1


Підпис

Богдан СЛОБОДЕНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис

Микола ФЕДУЛА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 18 » червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Слободенюку Богдану Дмитровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні

Керівник роботи Федула Микола Васильович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.




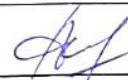
3 Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Дослідження вимог до мікроклімату серверних приміщень, Проектування автоматизованої системи на базі Siemens LOGO! 8, Реалізація логіки керування і тестування системи

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення з тематикою, узгодження індивідуальної теми, постановка задач	31.12.2024	виконано
2	Збір матеріалу за темою: дослідження вимог до мікроклімату, нормативів та існуючих технічних рішень	20.02.2025	виконано
3	Проектування системи: побудова структурної схеми, вибір компонентів, розробка алгоритму	20.03.2025	виконано
4	Реалізація логіки системи у LOGO! Soft Comfort, тестування, симуляція	30.04.2025	виконано
5	Тестування, моделювання критичних сценаріїв, підготовка висновків	10.05.2025	виконано
6	Написання вступу, висновків, анотації, змісту, списку джерел	20.05.2025	виконано
7	Перевірка КвР на плагіат, нормоконтроль, підписання консультантами	25.05.2025	виконано
8	Здача КвР на кафедрі, підготовка до захисту: створення доповіді, презентації, реєстрація	30.05.2025	виконано
9	Захист КвР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент


Підпис

Богдан СЛОБОДЕНІУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Микола ФЕДУЛА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні».

Автор роботи: Богдан СЛОБОДЕНЮК.

Керівник роботи:

Пояснювальна записка: 78 с., 14 рис., 12 табл., 3 дод., 41 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА, НАДІЙНІСТЬ, РЕЗЕРВУВАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, СТАБІЛЬНІСТЬ, АВАРІЙНЕ ОПОВІЩЕННЯ.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему підтримки мікроклімату в серверному приміщенні з урахуванням функціональної безпеки та надійності. Розроблено структурну модель системи керування температурою, вологістю та якістю повітря з використанням контролера Siemens LOGO 8. Проведено аналіз впливу критичних параметрів на працездатність серверного обладнання та запропоновано метод підвищення надійності через дублювання вимірювальних каналів. Імітаційне тестування показало, що система забезпечує стабільні параметри мікроклімату та своєчасне сповіщення про аварійні ситуації, що відповідає поставленим задачам.



Підпис студента

17.06.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В СЕРВЕРНИХ ПРИМІЩЕННЯХ.....	7
1.1 Призначення та особливості серверних приміщень.....	7
1.2 Вимоги до параметрів мікроклімату в серверних приміщеннях.....	12
1.3 Класифікація та порівняння систем підтримки мікроклімату.....	17
1.4 Висновки до першого розділу	22
2 ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОГО ПРИМІЩЕННЯ	28
2.1 Структурна схема та розподіл функцій	28
2.2 Вибір та характеристика основних компонентів.....	30
2.3 Розробка алгоритму функціонування системи	34
2.4 Схема підключення компонентів системи	37
2.5 Висновки до другого розділу. Оцінка надійності системи та аналіз резервування.....	47
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ	49
3.1 Реалізація логіки в LOGO! Soft Comfort.....	49
3.2 Імітаційне моделювання роботи системи.....	54
3.3 Оцінка ефективності реалізованої системи.....	62
3.4 Аналіз стабільності в часі та обслуговування системи.....	64
3.5 Методика тестування.....	66

КвРАКІТ.021045.01.18 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Слободенюк Б.Д.	<i>[Підпис]</i>	17.06.25
Перевірів		Федуча М.В.	<i>[Підпис]</i>	17.06.25
Н. Контр.		Корецька Л.О.	<i>[Підпис]</i>	17.06.25
Затв.		Мартинюк В.В.	<i>[Підпис]</i>	17.06.25
25 Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні. Пояснювальна записка				
		Літ.	Лист	Листів
			2	79
<i>ХНУ, гр. АКІТ-21-1</i>				

3.6 Аналіз результатів тестування.....	69
3.7 Висновки до третього розділу.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	75
ДОДАТОК А.....	79
ДОДАТОК Б.....	80
ДОДАТОК В.....	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС	–	автоматизована система
ПЛК	–	програмований логічний контролер
LOGO!	–	програмований логічний контролер Siemens LOGO!
AI	–	аналоговий вхід
I	–	цифровий вхід
Q	–	цифровий вихід
RH	–	відносна вологість
CO ₂	–	вуглекислий газ
GSM	–	глобальна система мобільного зв'язку
СП	–	серверне приміщення

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			

ВСТУП

Сучасні інформаційні технології потребують високої надійності, стабільності та безперебійної роботи серверного обладнання. Одним із ключових чинників, що впливають на працездатність серверних систем, є параметри мікроклімату в приміщеннях, де вони розміщуються. Надмірна температура, недостатня або надмірна вологість, а також забруднене повітря можуть призводити до збоїв, зниження ресурсу обладнання та навіть його виходу з ладу.

У зв'язку з цим постає необхідність у впровадженні автоматизованих систем підтримки мікроклімату, здатних здійснювати постійний моніторинг параметрів повітряного середовища та своєчасно реагувати на їх відхилення. Використання сучасних програмованих логічних контролерів, таких як Siemens LOGO! 8, дозволяє реалізувати гнучке та надійне керування вентиляцією, охолодженням, зволоженням і аварійною сигналізацією.

Мета даної кваліфікаційної роботи полягає у розробці автоматизованої системи підтримки мікроклімату в серверному приміщенні з використанням доступних технічних засобів. Система має забезпечувати стабільні значення температури, вологості та якості повітря, з можливістю оповіщення у разі виникнення аварійних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати вимоги до мікроклімату в серверних приміщеннях;
- дослідити існуючі технічні рішення та засоби автоматизації;
- обґрунтувати вибір обладнання для реалізації системи;
- розробити структурну схему системи та алгоритм її функціонування;
- оцінити ефективність та надійність роботи автоматизованої системи.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			5

Об'єктом дослідження є процес забезпечення стабільного мікроклімату в серверному приміщенні. Предметом дослідження є методи та технічні засоби автоматизованого керування параметрами мікроклімату.

Практичне значення роботи полягає у створенні теоретично обґрунтованої моделі автоматизованої системи, яка може бути впроваджена для підвищення надійності функціонування серверного обладнання на підприємствах, в організаціях та установах.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			6

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В СЕРВЕРНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

1.1 Призначення та особливості серверних приміщень

У результаті детального аналізу сучасних інформаційних інфраструктур було встановлено, що серверні приміщення є критично важливими зонами, призначеними для розміщення телекомунікаційного, обчислювального та мережевого обладнання. Такі приміщення функціонують у режимі 24/7, забезпечуючи безперервність роботи цифрових систем [1-5], обробку даних, зберігання інформації та зв'язок між структурними підрозділами підприємств.

Особливістю серверних є підвищена щільність тепловиділення, чутливість техніки до зовнішніх умов, а також необхідність забезпечення високої надійності, стабільності та захисту. Серверні кімнати, як правило, мають ізольований доступ, системи резервного живлення (UPS), автоматичне пожежогасіння та контроль клімату [6].

Серед основних факторів, що впливають на надійність серверного обладнання, слід зазначити температуру повітря, оскільки перегрів може призвести до відмови пристроїв. Важливу роль відіграє також вологість: як надмірна, так і занадто низька, вона здатна спричинити утворення конденсату або накопичення статичної електрики. Не менш критичним є вплив пилу, що осідає на вентиляторах, електронних платах і радіаторах, ускладнюючи процес охолодження. Нарешті, параметри повітрообміну також мають значення, адже відсутність вентиляції призводить до перегрівів і застою повітря в приміщенні.

У серверних приміщеннях надзвичайно важливо підтримувати стабільні параметри мікроклімату щоб забезпечити безперебійну роботу обладнання та продовжити термін його служби. Температура повітря повинна зберігатися в діапазоні від вісімнадцяти градусів до двадцяти семи градусів за Цельсієм при мінімальних коливаннях протягом дня оскільки навіть незначні зміни можуть

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	7
		№ докум.	Підпис			

призводити до перегріву процесорів та збоїв роботи жорстких дисків. Вологість повітря має утримуватися в межах від сорока до шістдесяти відсотків щоб уникнути утворення конденсату на поверхнях обладнання та запобігти статисти водночас надмірна вологість здатна сприяти корозії контактів та внутрішніх компонентів. Контроль точки роси відіграє ключову роль оскільки зниження температури при високій вологості несприятливо впливає на шарувате конденсування і може призводити до коротких замикань. Ефективне охолодження забезпечується шляхом організації спрямованого руху холодного та теплого повітря щоб уникнути змішування потоків холод у холодну зону подається безпосередньо до передніх панелей серверів а нагріте відводиться в зону повернення систем кондиціонування. Використання вискоефективних фільтрів тонкого очищення гарантує мінімальний рівень пилу в повітрі оскільки забруднення може осідати всередині вентиляторів та радіаторів приводячи до зниження продуктивності охолодження. Підтримка невеликого позитивного надлишкового тиску у серверній перешкоджає проникненню забрудненого повітря з коридорів і сусідніх приміщень а також зменшує ймовірність накопичення пилу в обладнанні.

Наявність резервних та дублюючих систем кондиціонування створює високий рівень надійності оскільки припинення подачі холодного повітря навіть на декілька хвилин може спричинити критичне перевищення температури вузлів обчислювального обладнання. Автоматичні системи моніторингу в реальному часі вимірюють основні параметри температури вологості та тиску і повідомляють технічному персоналу про відхилення з встановленим інтервалом оповіщень що дозволяє оперативно реагувати на неполадки. Система живлення кондиціонерів повинна мати резервні джерела безперебійного живлення щоб навіть при знеструмленні підтримувати необхідний рівень охолодження до відновлення основного живлення.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			8

Параметри акустичного впливу на оточення та до вібраційних навантажень також входять до загальних вимог мікроклімату оскільки надмірний шум та вібрація здатні шкодити чутливим компонентам встановлених у стойках накопичувачів та серверних плат. Відповідна ізоляція та демпфуючі кріплення допомагають знизити передачу вібрації до критичних елементів. Профілактичне технічне обслуговування систем кондиціонування фільтрів та датчиків забезпечує довготривалу точність вимірювань та ефективність охолодження тим самим підтримуючи оптимальний мікроклімат у серверному центрі.

Окрему увагу варто надати тому, як саме влаштовані серверні приміщення на практиці. Залежно від призначення та масштабу інфраструктури, вони можуть відрізнятися за рівнем захисту, площами, наявністю додаткових систем безпеки, доступом, розташуванням обладнання та способом організації охолодження.

У дрібних офісах, наприклад, роль серверної часто виконує невелике приміщення із шафою на 1–2 стійки, обладнане побутовим кондиціонером. У таких випадках контроль мікроклімату практично не здійснюється автоматизовано, що створює ризики при спекотній погоді або збої в живленні. Натомість у середніх дата-центрах чи вузлах зв'язку вже використовуються спеціалізовані системи вентиляції з фільтрами, дренажем, підтримкою вологості та аварійним живленням. Ще складніше в великих корпоративних центрах: там застосовуються ЦОДи із системами моніторингу, резервуванням охолодження та інтеграцією в диспетчеризацію.

Слід зазначити, що вдень і вночі, при навантаженні на обладнання або під час технічного обслуговування, параметри повітря постійно змінюються. Наприклад, при відкритті дверей або підключенні додаткового обладнання температура може зростати на 1–2 °C за декілька хвилин. Якщо вентиляція не спрацює – перегрів неминучий. Висока температура негативно впливає на жорсткі диски, блоки живлення, мережеві комутатори. У свою чергу, надмірна

сухість повітря ($RH < 30\%$) підвищує ризик накопичення статичної електрики, а надлишкова вологість – конденсації.

Ще один важливий аспект – пил. Він не тільки знижує ефективність охолодження (засмічуючи вентиляційні решітки та радіатори), а й може спричиняти коротке замикання, особливо у поєднанні з вологою. В умовах відсутності фільтрації, пил накопичується дуже швидко, особливо якщо серверна має вентиляцію, спільну з іншими приміщеннями.

На практиці існує чимало прикладів, коли відсутність належного контролю мікроклімату призводила до аварій. У деяких кейсах обладнання перегрівалося вже за 30–40 хвилин після зупинки кондиціонера, а повне охолодження після цього тривало годинами. В іншому випадку, через тривалу роботу з порушенням вологості, почала вийти з ладу материнська плата мережевого маршрутизатора через мікроконденсат.

Для кращого розуміння масштабів потенційних ризиків, що виникають при порушенні параметрів мікроклімату, доцільно систематизувати найбільш поширені проблеми у Таблиці 1.1. В ній наведено типові ситуації, які можуть виникати в серверних приміщеннях, та описано їх можливі наслідки, що впливають на стабільність і надійність роботи обладнання.

Таблиця 1.1 – Наслідки порушення мікроклімату в СП

Порушення мікроклімату	Можливі наслідки
Перегрів повітря в серверній	Вихід з ладу жорстких дисків, блоків живлення, зависання серверів
Надмірна сухість повітря ($RH < 30\%$)	Накопичення статичної електрики, ризик пошкодження електроніки

Продовження таблиці 1.1 - Наслідки порушення мікроклімату в СП

Підвищена вологість (RH > 70%)	Утворення конденсату, корозія контактів, коротке замикання
Низька швидкість руху повітря	Застій тепла, локальні перегріву в стійках з обладнанням
Наявність пилу на обладнанні	Погіршення охолодження, підвищення температури, можливе КЗ

Як видно з таблиці, навіть незначне порушення одного з параметрів – температури, вологості або повітрообміну – може мати серйозні наслідки.

Найчастіше негативний вплив проявляється не одразу, а накопичується з часом. Наприклад, регулярна робота при підвищеній температурі призводить до деградації електролітів у конденсаторах, погіршення тепловідведення, поступового висихання контактів. Надмірна сухість може роками не проявляти себе, поки одного разу не відбудеться розряд статички й не виведе з ладу ключове обладнання.

Такі випадки ще раз підкреслюють, що контроль мікроклімату не є просто "опцією" чи другорядною функцією, а критично необхідною умовою при проектуванні будь-якої сучасної ІТ-інфраструктури. Відсутність належного контролю мікрокліматичних параметрів здатна спричинити кумулятивні пошкодження обладнання [7], які згодом переростають у повномасштабні відмови. Саме тому особливої ваги набуває впровадження автоматизованих систем, які не лише відстежують температуру та вологість у режимі реального часу, а й здатні самостійно ініціювати відповідні дії ще до того, як ситуація досягне критичних меж. Автоматизовані системи забезпечують своєчасне реагування, дозволяють уникнути впливу людського фактору та гарантують безперервність контролю навіть у разі відсутності персоналу.

На рисунку 1.1 представлено приклад серверної кімнати з телекомунікаційними стійками, вентиляційними шахтами, системою кондиціонування та контрольним обладнанням, що ілюструє базову організацію інфраструктури приміщення [8].

Для забезпечення надійної та безперервної роботи серверного обладнання надзвичайно важливо підтримувати визначені параметри мікроклімату в межах нормативно допустимих значень. У більшості випадків навіть короточасне відхилення температури або вологості від рекомендованого діапазону може спричинити перегрів, конденсацію вологи на компонентах, накопичення статичної електрики або інші несправності.

Основними регламентуючими документами, що встановлюють вимоги до параметрів мікроклімату в технічних приміщеннях, є:

- ДБН В.2.5-67:2013 – Інженерне обладнання будівель та споруд. Системи вентиляції та кондиціонування; [3]
- ДСН 3.3.6.042-99 – Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень; [4]
- ASHRAE TC 9.9 – Міжнародний стандарт для приміщень з ІТ-обладнанням; [5]
- ISO/IEC 30134 – Серія стандартів енергоефективності ЦОД. [6]

Серед усіх параметрів мікроклімату найбільший вплив на стабільність роботи серверного обладнання мають температура та відносна вологість. Вони прямо впливають на теплові режими компонентів, електричну провідність, стан контактів і навіть швидкість деградації матеріалів.

Згідно з ДБН та рекомендаціями ASHRAE, для більшості серверних приміщень оптимальна температура має бути в межах 20–22 °С, із допустимим діапазоном від 18 до 27 °С. Більшість телекомунікаційного обладнання має максимальну робочу температуру до 35 °С, але стабільність роботи при таких значеннях не гарантується.

Перегрів елементів – один з найбільш поширених факторів відмов. Підвищення температури на кожні 10 °С приблизно вдвічі скорочує строк служби електронних компонентів (за правилом Арреніуса). Наприклад, якщо жорсткий диск постійно працює при температурі 35 °С замість рекомендованих 25 °С, його ресурс знижується майже вдвічі.

Окремо варто зазначити, що різниця температур між частинами приміщення, наприклад між верхньою та нижньою зоною стійки [7], може становити 3–5 °С. Це створює локальні “гарячі точки”, які непомітні без зонального моніторингу. Відносна вологість повітря (RH) впливає на електричні властивості середовища, накопичення статичної електрики та ймовірність утворення конденсату. Згідно з нормативами, оптимальний діапазон RH становить 45–55%, допустимий – від 40 до 60%.

$RH < 30\%$ сприяє накопиченню статички, особливо у приміщеннях з синтетичними підлоговими покриттями, кабелями без екранів, пластиковими стійками. Електростатичні розряди можуть пошкодити контролери, материнські плати, модулі пам’яті.

У свою чергу, $RH > 70\%$ може спричинити утворення мікроконденсату на холодних поверхнях, особливо у місцях з недостатньою вентиляцією. Якщо повітря не рухається, волога осідає на конденсаторах, роз’ємах, друкованих платах – і запускається процес окислення.

Вологість також впливає на системи охолодження: при $RH < 35\%$ часто починають пересихати гумові ущільнення, шланги, псується фільтри та може з’являтися шум у вентиляторах через пересушені втулки.

Відповідно до вищенаведених джерел, оптимальні [8] параметри мікроклімату для серверних приміщень наведено в Таблиці 1.2.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			14

Таблиця 1.2 – Рекомендований мікроклімат для серверних приміщень

Параметр	Рекомендоване значення	Допустимий діапазон
Температура повітря	+20...+22 °С	+18...+27 °С
Відносна вологість	45–55 %	40–60 %
CO ₂	< 800 ppm	До 1000 ppm
Рівень пилу	Мінімальний (із фільтрацією)	Не більше 75 мкг/м ³
Швидкість руху повітря	0,2 – 0,5 м/с	До 1 м/с
Рівень шуму	До 55 дБ	До 65 дБ

Хоча в таблиці 1.2 наведені всі основні параметри, доцільно окремо зупинитись на декількох менш очевидних, але не менш важливих показниках: концентрація вуглекислого газу, рівень запиленості, швидкість повітряного потоку та шумове навантаження.

У нормальних умовах концентрація вуглекислого газу (CO₂) у повітрі має не перевищувати 800 ppm, що відповідає загальноприйнятим нормам для приміщень з перебуванням людини. У серверних, де зазвичай постійно працює персонал, це також важливо. Підвищення рівня CO₂ свідчить про недостатню вентиляцію. У крайніх випадках це може призвести до локального перегріву

через застій повітря. До того ж, сенсори CO₂ часто використовуються як індикатор ефективності повітрообміну, особливо в закритих ЦОДах.

Запиленість у серверних зазвичай недооцінюється, особливо на невеликих об'єктах. Однак пил може спричиняти часткове коротке замикання, накопичення вологи та перегрів елементів. Згідно з рекомендаціями ASHRAE, максимальний вміст завислих твердих часток не має перевищувати 75 мкг/м³. У практиці бувають випадки, коли фільтри вентиляції в серверних не змінювались роками, що призводило до перегріву обладнання через зниження ефективності охолодження [12].

Хоча цей параметр рідко контролюється, він має ключове значення. Занадто низька швидкість (менше 0,2 м/с) означає, що повітря не встигає охолоджувати всі зони в приміщенні. Надто висока – створює аеродинамічні турбуленції, які можуть зірвати теплові завіси між холодною та гарячою зонами. Ідеальний діапазон – 0,2–0,5 м/с, при цьому слід уникати "мертвих зон" без циркуляції.

Хоча на перший погляд шум не впливає на техніку, він має значення для обслуговуючого персоналу. Робота в приміщенні з рівнем шуму понад 55 дБ викликає втому, зниження концентрації, а тривалий вплив може призводити до проблем зі слухом. Тому системи вентиляції й кондиціонування мають проектуватись не лише з точки зору продуктивності, але й акустичної безпеки.

Таким чином, ефективне регулювання параметрів мікроклімату у серверних приміщеннях має базуватись не лише на загальних нормативних вимогах, але й на розумінні фізичних процесів [13], які впливають на роботу обладнання. Контроль температури, вологості, запиленості та повітрообміну повинен здійснюватися комплексно, із залученням як сенсорних засобів, так і інтелектуальної логіки керування. Це дозволяє мінімізувати ризики виходу обладнання з ладу, зберегти стабільність роботи інфраструктури та продовжити її ресурс.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			16

Відхилення від вказаних параметрів призводить до порушення теплового режиму, прискореного зносу обладнання, виникнення перегрівів, появи конденсату та втрати працездатності серверної інфраструктури. Саме тому системи керування мікрокліматом повинні працювати в автоматичному режимі з можливістю постійного моніторингу та швидкого реагування на зміни умов [14].

1.3 Класифікація та порівняння систем підтримки мікроклімату

Системи підтримки мікроклімату, що застосовуються в серверних приміщеннях, класифікуються за ступенем автоматизації, технічним рівнем, функціональністю та принципом дії. Залежно від особливостей об'єкта та вимог до надійності, можуть використовуватися як прості, так і високотехнологічні рішення.

Це базовий рівень організації мікроклімату, при якому управління здійснюється персоналом вручну. Наприклад, кондиціонери або вентиляційне обладнання вмикаються та вимикаються безпосередньо оператором, за показниками побутових термометрів чи візуальною оцінкою.

На практиці такі рішення часто зустрічаються у невеликих офісах або на підприємствах, де серверне приміщення розташоване в коморі, технічному закутку чи навіть у звичайному кабінеті. У таких випадках контроль мікроклімату зводиться до періодичного вмикання кондиціонера вручну, відкривання вікон або встановлення побутового вентилятора. Температура не вимірюється точно, обмежується лише суб'єктивним відчуттям “занадто жарко” або “нормально”. Часто персонал забуває вимкнути або ввімкнути обладнання вчасно, що призводить до перегріву, особливо вночі або у вихідні дні. Такий підхід має певні переваги: його просто реалізувати, він не потребує складного обладнання, а витрати на впровадження – мінімальні. Проте істотними

недоліками залишаються повна відсутність точного контролю параметрів, залежність від людського фактору та велика ймовірність затримки реакції на зміну умов середовища. Це значно знижує надійність і стабільність роботи серверного обладнання, особливо при тривалій експлуатації.

До вказаних систем підтримки мікроклімату належать рішення з використанням реле температури, реле вологості, таймерів тощо [15]. Керування виконавчими пристроями здійснюється на основі одного чи кількох параметрів, зазвичай без центрального процесора або контролера.

У невеликих технічних приміщеннях часто, наприклад, встановлюється реле, яке подає живлення на вентилятор або кондиціонер при досягненні температури 28 °С. Схема проста: термореле в розетку, і до нього підключається охолоджувач. Подібне можна побачити навіть у деяких дата-шафах або стійках, де вмонтовано мініатюрні вентилятори. Усе працює “автономно”, але без жодного логічного контролю – система не враховує вологість, кількість працюючого обладнання або годину доби. Вона просто вмикає навантаження, коли стає жарко.

Попри те, що такі системи забезпечують певний рівень автономності та не потребують складного налаштування, вони мають суттєві обмеження. Зокрема, відсутня гнучкість керування, немає можливості адаптувати логіку під зміну умов, а також унеможливлена інтеграція додаткових функцій або датчиків. Це знижує ефективність у довгостроковій перспективі, особливо в умовах нестабільного мікроклімату.

Найбільш сучасний і функціональний підхід – використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), таких як Siemens LOGO! [16] або аналоги. Такі системи дозволяють комплексно керувати температурою, вологістю, рівнем CO₂, режимами вентиляції, аварійною сигналізацією, а також забезпечують збирання та збереження даних. Контролер взаємодіє з аналоговими та цифровими датчиками, обробляє сигнали та подає команди на відповідні

виконавчі механізми [17]. Можливе використання режимів "день/ніч", віддалене керування, резервування, сповіщення про несправності тощо. Подібні системи зазвичай реалізуються на підприємствах, де обладнання працює цілодобово і від нього залежить стабільність роботи основного бізнесу. Наприклад, у серверній може бути встановлено кілька аналогових датчиків температури й вологості, підключених до ПЛК, який аналізує ці параметри та керує вентиляторами, зволожувачем або кондиціонером. Якщо температура перевищує 26 °C – включається активне охолодження; якщо RH падає нижче 40 % – подається сигнал на зволоження. При виході за критичні межі активується звукова чи візуальна тривога, або надсилається SMS-повідомлення адміністратору. Усе це працює без участі людини, а логіку роботи системи можна змінювати у будь-який момент – як під час початкового впровадження, так і в процесі подальшої експлуатації.

Найважливішими перевагами такого підходу є висока точність контролю, стабільність роботи, масштабованість архітектури та можливість інтеграції в системи диспетчеризації. Водночас, слід враховувати і деякі обмеження – передусім це вища початкова вартість реалізації та необхідність детального проектування логіки керування відповідно до умов об'єкта.

Таким чином, вибір типу системи мікроклімату має базуватись на масштабі об'єкта, рівні відповідальності обладнання, вимогах до безперервної роботи та доступному бюджеті [18]. В умовах сучасних серверних приміщень найоптимальнішим є використання саме автоматизованих систем, які поєднують у собі гнучкість, автономність, швидкість реагування та можливість масштабування. Саме тому в межах цієї роботи було обрано реалізацію автоматизованої системи на базі Siemens LOGO! 8, що характеризується параметрами, вказаними у додатку А.

Щоб підтвердити обґрунтованість такого вибору, доцільно провести порівняльний аналіз основних типів систем підтримки мікроклімату за

ключовими технічними характеристиками. Це дозволяє виявити ключові переваги та недоліки кожного підходу.

У таблиці 1.3 наведено узагальнене порівняння трьох основних типів систем підтримки мікроклімату за такими критеріями: рівень автоматизації, точність регулювання, залежність від персоналу, гнучкість, складність реалізації та вартість.

Таблиця 1.3 – Порівняння типів систем підтримки мікроклімату

Критерій	Ручне керування	Напівавтоматична система	Автоматизована система (ПЛК)
Рівень автоматизації	Відсутній	Частковий	Повний
Точність регулювання	Низька	Середня	Висока
Залежність від персоналу	Повна	Часткова	Мінімальна
Гнучкість	Низька	Обмежена	Висока
Реагування на аварії	Немає	Обмежене	Повне
Можливість дистанційного моніторингу	Відсутня	Обмежена	Повна
Складність реалізації	Низька	Середня	Висока
Орієнтовна вартість	Низька	Середня	Висока

У такій конфігурації контролер Siemens LOGO! 8 отримує сигнали від датчиків температури, вологості та, за потреби, CO₂. На основі отриманих значень система автоматично вмикає відповідні виконавчі елементи: вентиляцію, охолодження, зволоження або аварійну сигналізацію. Сенсори забезпечують зворотний зв'язок постійно подаючи у контролер актуальні показники мікроклімату що дозволяє проводити порівняння з налаштованими пороговими значеннями і коригувати роботу виконавчих пристроїв. Керуючі сигнали надходять від контролера до вентилятора кондиціонера зволожувача локальної системи аварійної сигналізації та GSM модуля. Вентилятор забезпечує обмін повітря коли температура чи рівень CO₂ перевищує допустимі межі. Кондиціонер активується у разі перегріву підтримуючи необхідний тепловий баланс. Зволожувач увімкнеться коли вологість впаде нижче заданого мінімуму. Аварійна сигналізація спрацює при критичних відхиленнях будь-якого параметра забезпечуючи негайне попередження обслуговувального персоналу звуковим або світловим сигналом. GSM модуль необхідний для віддаленого сповіщення текстовими повідомленнями про аварійні стани та поточні параметри мікроклімату.

Сформулюємо завдання точніше: розробити автоматизовану систему підтримки мікроклімату для серверного приміщення, яка здатна здійснювати безперервний контроль температури та вологості, автоматично керувати роботою вентиляційного, охолоджувального та зволожувального обладнання, реагувати на аварійні ситуації і реалізується на базі контролера Siemens LOGO!.

У процесі функціонування система повинна реалізовувати кілька типових сценаріїв, кожен із яких відповідає певному стану повітряного середовища в серверному приміщенні. У нормальному режимі параметри залишаються в межах допустимих значень, тому система лише пасивно контролює стан середовища, а всі виконавчі пристрої або вимкнені, або працюють згідно з розкладом. Якщо зафіксовано наближення до граничних значень температури чи вологості, система

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			22

переходить у попереджувальний режим, у якому автоматично активується вентиляція або зволоження – залежно від характеру відхилення. У разі перевищення критичних порогів запускається аварійний режим: вмикається світлова або звукова сигналізація, охолоджувальні пристрої працюють на повну потужність, забезпечуючи швидке стабілізування умов. Багаторівнева логіка дає змогу гнучко реагувати на зміни в мікрокліматі без зайвих витрат енергії та людського втручання. Система повинна автоматично вмикати виконавчі пристрої (вентилятори, кондиціонери, зволожувачі) без затримок, у разі виявлення відхилень. Крім того, важливо передбачити функцію оповіщення оператора або відповідальної особи у випадках виходу параметрів за допустимі межі. Система повинна працювати автономно, без постійного нагляду, однак із потенціалом для подальшого розширення – наприклад, шляхом інтеграції GSM-модуля для аварійних сповіщень або передачі даних на SCADA-систему.

SCADA-система є комплексом програмно-апаратних засобів для централізованого моніторингу та керування технологічними процесами в режимі реального часу, який включає збір даних з розподілених датчиків і виконавчих пристроїв, їх візуалізацію через HMI-інтерфейс, обробку та архівування інформації, автоматичне або ручне регулювання параметрів виробництва і формування тривожних повідомлень при виході показників за встановлені межі. При цьому взаємодія між компонентами здійснюється по надійних промислових протоколах, а система забезпечує гнучку конфігурацію та масштабування під різні промислові завдання.

На периферії SCADA-системи може бути розташована велика кількість первинних пристроїв, таких як датчики, виконавчі механізми, контролери ПЛК і RTU які збирають цифрові та аналогові сигнали і виконують базову обробку даних. Інформація від цих пристроїв може передаватися до центрального вузла через індустріальні мережі з підтримкою протоколів Modbus TCP DNP, IEC, OPC UA або сучасних шин на зразок ProfiNet та EtherNet IP.

		№ докум.	Підпис		КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	23

З урахуванням поставлених задач, майбутня система повинна відповідати низці технічних вимог, які забезпечать її ефективність, надійність і можливість подальшого розвитку. Зокрема, необхідна наявність щонайменше двох аналогових входів для підключення датчиків температури та вологості, а також не менше трьох цифрових виходів, які використовуватимуться для керування вентиляцією, зволоженням і аварійною сигналізацією. Система має реалізовувати внутрішню логіку з можливістю зміни порогів спрацювання та гістерезису, щоб адаптувати поведінку до умов конкретного об'єкта. Передбачається підтримка трьох основних режимів роботи: нормального, попереджувального та аварійного. При цьому функціонування системи повинно залишатися автономним – з автоматичним відновленням після знеструмлення та збереженням конфігурації. Не менш важливо забезпечити можливість подальшого розширення за рахунок підключення зовнішніх модулів або додаткових сенсорів, що дозволить адаптувати систему до змін у структурі IT-інфраструктури.

Слід зазначити, що така система повинна бути адаптивною, масштабованою та доступною для реалізації навіть в умовах невеликого бюджету. При цьому вона має забезпечити належний рівень функціональної безпеки і стабільної роботи в режимі 24/7.

Крім того, важливо відзначити, що автоматизовані системи, побудовані на ПЛК, можуть масштабуватись. Наприклад, до базової логіки можна поступово додати функції: передача даних через Ethernet, ведення архівів температур, інтеграція з пожежною сигналізацією тощо. Це робить їх не лише ефективними, а й гнучкими – рішенням, яке “росте” разом із вимогами. Siemens LOGO! – це рішення, яке реально використовується в промисловості, тобто така система не буде виглядати як “іграшковий макет”, а має потенціал до впровадження в реальні об'єкти. Окрім того, доступність документації, прикладів схем, технічна підтримка та можливість придбати обладнання в Україні – все це є додатковими перевагами.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			24

Саме тому для даної кваліфікаційної роботи обрано варіант, що базується на використанні програмованого логічного контролера Siemens LOGO! 8, як оптимальну платформу для створення адаптивної та надійної системи мікроклімату.

В межах проєктованої системи на базі Siemens LOGO! 8 передбачається можливість поступового розширення, без необхідності повної перебудови логіки чи заміни обладнання. До найочевидніших напрямів розвитку системи можна віднести:

- підключення додаткових датчиків, зокрема: CO₂, тиску, якості повітря, детекторів диму чи пилу;
- впровадження віддаленого моніторингу через Ethernet-модуль LOGO! CMR або передачу даних на SCADA/ІоТ-платформи;
- інтеграцію з іншими системами безпеки (наприклад, охоронною сигналізацією або СКУД);
- автоматичне логування даних із збереженням історії температур і вологості для подальшого аналізу;
- оптимізація енергоспоживання шляхом додавання графіків активності системи відповідно до розкладу навантаження.

Проведений аналіз демонструє переваги автоматизованих систем, зокрема у критичних умовах роботи серверних приміщень. Забезпечення високої точності, незалежності від людського фактору та можливість швидкої реакції на зміну параметрів середовища робить такі рішення оптимальними для об'єктів з підвищеними вимогами до стабільності.

1.4 Висновки до першого розділу

Після проведеного аналізу особливостей серверних приміщень, нормативних вимог до мікроклімату та порівняння існуючих технічних рішень,

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			25

цілком очевидним є те, що для стабільної роботи телекомунікаційного обладнання необхідна автоматизована система, яка буде керувати параметрами середовища без участі людини або з мінімальним втручанням. В умовах реальної експлуатації, особливо в невеликих або середніх ІТ-інфраструктурах, дуже часто виникають ситуації, коли контроль за температурою чи вологістю здійснюється формально – наприклад, лише за допомогою побутового кондиціонера або взагалі вручну. Це, як показує практика, не тільки неефективно, а й створює додаткові ризики.

Виходячи з цього, можна зробити логічний висновок, що ручні або напівавтоматичні системи у даному випадку не відповідають сучасним вимогам. Їх функціональність обмежена, а відсутність централізованої логіки управління призводить до того, що система не може адекватно реагувати на зміну умов у режимі реального часу. Висока вартість потенційних простоїв або пошкодження серверного обладнання через перегрів, конденсат чи погану вентиляцію змушує шукати рішення на базі автоматизації.

Таким чином, постає завдання розробити систему, яка буде здатна постійно контролювати ключові параметри мікроклімату – температуру, вологість, а за потреби й концентрацію CO₂ чи інші показники.

Для реалізації такої системи обґрунтовано обрано контролер Siemens LOGO 8. Це не надто складне у використанні обладнання, яке при цьому має достатній функціонал для побудови подібної схеми. LOGO! підтримує роботу з аналоговими і цифровими входами/виходами, дозволяє реалізувати просту логіку без навичок програмування на високих мовах, має зручне середовище розробки LOGO! Soft Comfort. Більше того, контролер не потребує складного налаштування, і його можна застосувати навіть у локальних системах, де немає великої серверної підтримки чи ІТ-відділу.

Таким чином, обрана архітектура не лише повністю покриває базові вимоги до контролю параметрів мікроклімату в серверному приміщенні, але й

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	26
		№ докум.	Підпис			

створює надійну платформу для подальшого функціонального розвитку системи. Це відкриває можливості для масштабування, адаптації під специфіку конкретного об'єкта, а також інтеграції додаткових функцій у разі потреби – зокрема, енергомоніторингу, дистанційного керування чи збирання статистики.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			27

2 ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОГО ПРИМІЩЕННЯ

2.1 Структурна схема та розподіл функцій

Автоматизована система мікроклімату має включати кілька ключових функціональних блоків: сенсорні елементи (датчики температури, вологості), керуючий пристрій (ПЛК), виконавчі механізми (вентиляція, зволожувач, сигналізація) та модулі сповіщення. Кожен компонент виконує чітко визначену роль у забезпеченні надійного підтримання параметрів середовища в серверному приміщенні.

Оснoву керування становить контролер Siemens LOGO! 8, що має 8 цифрових входів (I1–I8), 4 цифрових виходи (Q1–Q4) та можливість розширення аналоговими модулями. Для реалізації базової логіки використовується наступний розподіл входів/виходів:

- I1 – сигнал від аналогового датчика температури (через модуль LOGO! AM2)
- I2 – сигнал від аналогового датчика вологості
- I3 – аварійне ручне сповіщення (кнопка)
- Q1 – керування вентилятором
- Q2 – керування зволожувачем
- Q3 – увімкнення аварійної світлової сигналізації
- Q4 – активація GSM-модуля для сповіщення (опціонально)

На основі вхідних параметрів ПЛК виконує аналіз стану повітря в приміщенні та приймає рішення про вмикання/вимикання відповідних пристроїв згідно із заданою логікою. Критичні ситуації обробляються пріоритетно – з активацією тривожної індикації та надсиланням сповіщення відповідальній особі.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	28
		№ докум.	Підпис			

Загальна структурна схема системи наведена на рисунку 2.1.

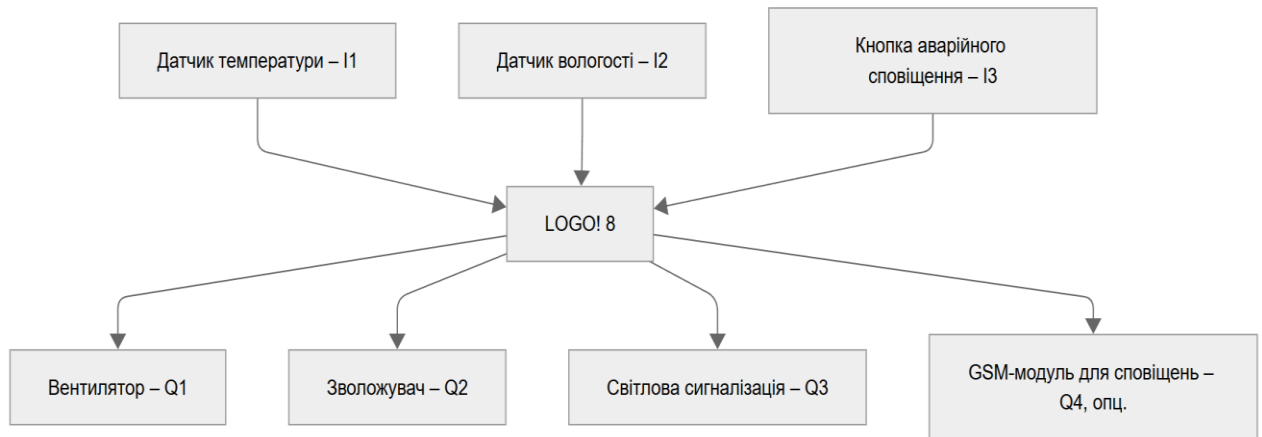


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи мікроклімату.

Схема на рисунку 2.1 ілюструє логіку взаємодії між основними компонентами автоматизованої системи мікроклімату. Контролер Siemens LOGO! 8 виступає як центральна ланка, до якої підключено сенсори середовища та виконавчі пристрої [20]. Кожен вхідний сигнал – це певний стан параметра (температура, вологість, аварійне сповіщення), який обробляється у логічній програмі ПЛК. Залежно від поточної ситуації, контролер активує один або кілька виконавчих елементів для стабілізації мікроклімату.

У структурі передбачено також модуль для віддаленого сповіщення у випадку критичних відхилень – що забезпечує оперативне інформування відповідальних осіб, навіть за відсутності постійного персоналу в приміщенні. Подібна архітектура дозволяє забезпечити автономність, точність реакції та можливість масштабування без значної перебудови системи.

2.2 Вибір та характеристика основних компонентів

Після визначення архітектури системи, наступним кроком є вибір конкретних апаратних засобів, що забезпечують реалізацію запропонованої логіки. До складу системи входять сенсори для зчитування параметрів середовища, керуючий контролер, виконавчі пристрої, а також допоміжне обладнання, яке забезпечує стабільну роботу всієї конструкції.

Кожен елемент обирався з урахуванням наступних критеріїв:

- сумісність із ПЛК Siemens LOGO! 8 [10];
- достатній діапазон вимірювань для умов серверного приміщення;
- надійність і наявність технічної підтримки;
- простота інтеграції та монтажу.

У процесі добору технічних засобів для побудови системи було розглянуто кілька альтернативних варіантів реалізації логіки керування, зокрема на базі Arduino, ESP32 та контролерів з підтримкою протоколу Modbus [21]. Кожне з цих рішень має свої переваги, однак не всі відповідають вимогам до надійності, простоти налаштування та промислового використання.

Arduino UNO, попри свою популярність та низьку вартість, не має стандартного захисту від електромагнітних завад, не забезпечує надійної роботи при тривалому навантаженні [22] та потребує написання низькорівневого коду мовою C++. Це суттєво ускладнює проектування для фахівців без досвіду програмування, а також знижує стійкість системи в умовах промислової експлуатації. Крім того, Arduino не має вбудованого захисту пам'яті при знеструмленні, що критично для стабільної роботи автоматизованої системи.

ESP32 – ще одна альтернатива, яка забезпечує підтримку Wi-Fi, Bluetooth та має більш продуктивну архітектуру. Однак вона також потребує складнішого середовища розробки, є менш поширеною в промислових системах і не має гарантованого довготривалого терміну експлуатації за стандартами EN/IEC.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	30
		№ докум.	Підпис			

Продовження таблиці 2.1– Основні компоненти системи керування мікрокліматом

Компонент	Модель / Тип	Призначення
Реле виконавче	Finder 40.61 24V DC	Комутація навантажень через виходи ПЛК
Вентилятор	AeroCool 120 мм, 24V	Охолодження повітря в серверній
Зволожувач повітря	Ultrasonic Humidifier 24V	Підвищення вологості до нормативного рівня
GSM-модуль (опціонально)	SIM800L GSM	Відправлення SMS-повідомлень при аварії
Блок живлення	Mean Well HDR-60-24	Живлення ПЛК та виконавчих пристроїв

Таблиця 2.1 узагальнює ключові елементи, з яких складається автоматизована система підтримки мікроклімату. Кожен компонент відіграє окрему роль у формуванні замкнутого керуючого циклу «сенсор – контролер – виконавчий механізм», що забезпечує адаптивне управління параметрами повітряного середовища в серверному приміщенні.

Датчик температури типу NTC 10kΩ обрано з огляду на його широку доступність, лінійність характеристики у робочому діапазоні (20–30 °С), простоту підключення до аналогового модуля та стійкість до електромагнітних завад. Такі сенсори мають високу чутливість та стабільну роботу навіть при незначних змінах температури, що критично важливо для своєчасного реагування системи.

Сенсор вологості HS1101LF (додаток Б) працює на ємнісному принципі, який добре зарекомендував себе у системах моніторингу повітря [26]. Він

забезпечує точність у межах $\pm 3-5$ % RH, не вимагає складного калібрування і може експлуатуватись у широкому діапазоні вологості (20–80 %). Його використання у зв'язці з ПЛК дозволяє в режимі реального часу визначати потребу в активному зволоженні повітря.

Центральним елементом системи є Siemens LOGO! 8 12/24RC [33] – компактний ПЛК, який поєднує в собі доступну ціну, надійність, підтримку аналогових входів і просте середовище програмування LOGO! Soft Comfort [23]. Він має 8 дискретних входів і 4 виходи, яких достатньо для побудови невеликої локальної системи без потреби у додаткових модулях. Водночас, LOGO! підтримує розширення входів/виходів, що дозволяє надалі масштабувати проєкт без зміни архітектури.

Виконавча частина включає стандартні 24V вентилятори та зволожувач ультразвукового типу. Їх увімкнення здійснюється через проміжні реле Finder 40.61 [24], які забезпечують електричну розв'язку між контролером і силовими колами. Реле працюють від напруги 24V, що повністю узгоджується з живленням системи та виконавчих елементів. Це рішення дозволяє уникнути перенавантаження виходів ПЛК і збільшує надійність у довготривалій експлуатації.

Додатково до основної логіки запропоновано впровадити GSM-модуль SIM800L як опційний елемент для надсилання тривожних сповіщень [27] у разі виходу параметрів за межі або втрати живлення. Такий модуль дозволяє підтримувати контроль над системою навіть у віддаленому режимі, без підключення до локальної мережі або інтернету.

Уся система працює від джерела живлення Mean Well HDR-60-24, що забезпечує стабільну напругу 24V для всіх компонентів. Вибір імпульсного блоку живлення пов'язаний із його компактністю, енергоефективністю, захистом від перевантажень і короткого замикання.

Таким чином, усі обрані компоненти повністю сумісні між собою як за рівнями сигналів, так і за умовами експлуатації [35]. Це дозволяє сформувати цілісну автоматизовану систему, яка не потребує складного монтажу, має високий ступінь надійності та легко масштабуються при потребі розширення функціональності в майбутньому.

2.3 Розробка алгоритму функціонування системи

Для забезпечення автономної та надійної роботи системи підтримки мікроклімату в серверному приміщенні необхідно сформувати чіткий алгоритм керування, який би враховував усі ключові сценарії: нормальну експлуатацію, попереджувальні ситуації та аварійні стани. Такий підхід дозволяє забезпечити адаптивне реагування на зміну умов навколишнього середовища та мінімізувати ризик пошкодження обладнання.

Робота системи побудована за принципом циклічного опитування сенсорів та прийняття рішень на основі порівняння поточних значень з допустимими межами. Умовно можна виділити три основні режими:

- Нормальний режим: усі параметри знаходяться в межах норми, система лише моніторить ситуацію. Вентиляція або зволоження можуть працювати за графіком або залишатись вимкненими.

- Попереджувальний режим: один із параметрів наближається до критичного порогу – система активує відповідний пристрій (наприклад, вентиляцію при +26 °C).

- Аварійний режим: параметр вийшов за допустимі межі – активується аварійне оповіщення, всі пристрої працюють на повну потужність, при потребі надсилається сповіщення через GSM-модуль.

Цикл перевірки параметрів відбувається з періодичністю в кілька секунд, залежно від обмежень середовища LOGO! Soft Comfort [28]. Такий підхід

дозволяє реалізувати реакцію в реальному часі, без затримок і залежності від людського фактору (рисунок 2.2).

Далі наведено логічну блок-схему алгоритму роботи системи.

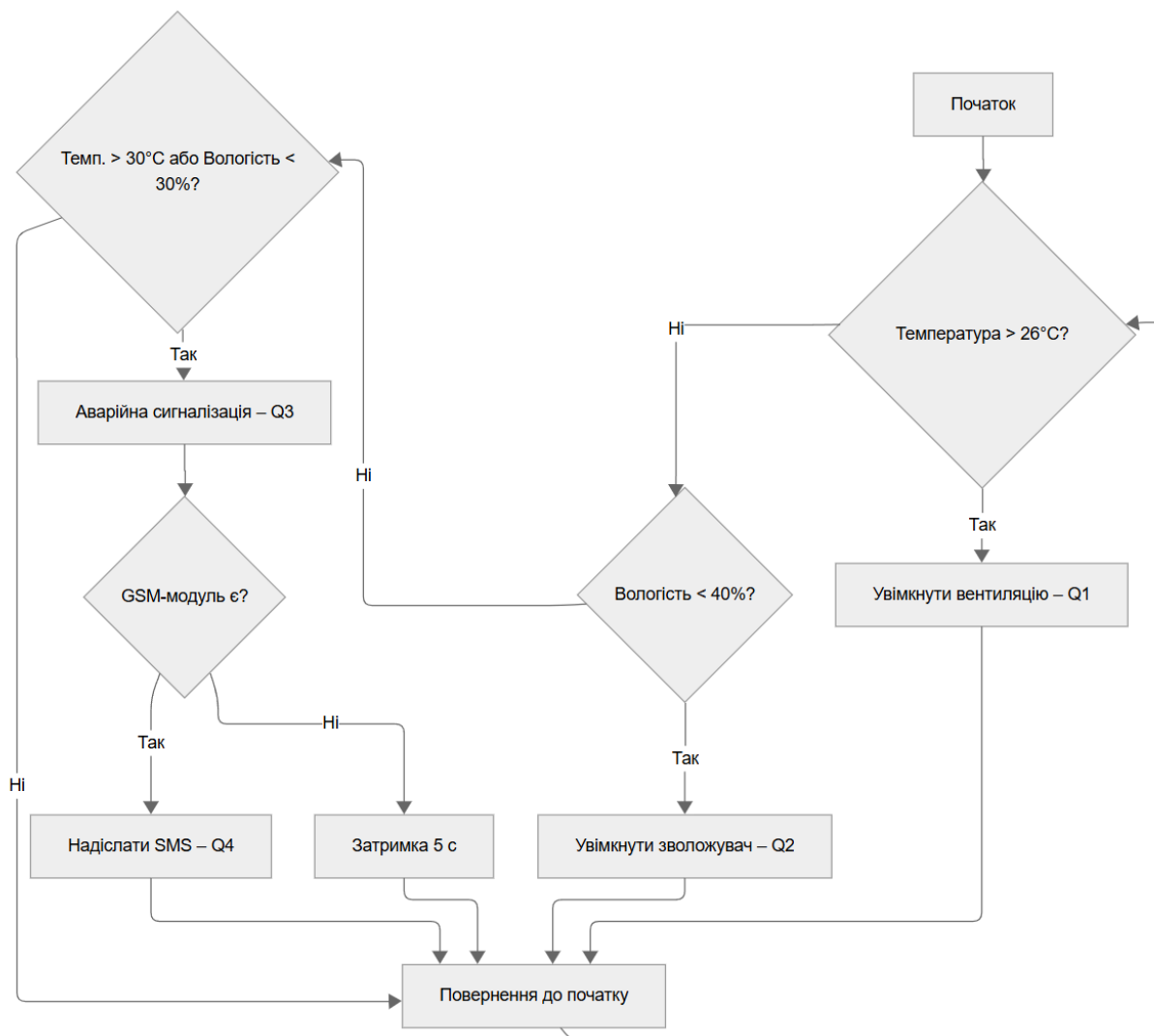


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму роботи системи автоматизованого керування мікрокліматом

На рисунку 2.2 зображено логічну послідовність роботи автоматизованої системи мікроклімату, реалізованої на базі контролера Siemens LOGO! 8. Алгоритм передбачає поетапну перевірку значень температури та вологості з подальшим прийняттям рішень залежно від отриманих даних. Основний

принцип побудови – циклічний моніторинг і реакція в реальному часі, що забезпечує динамічну стабілізацію параметрів середовища в серверному приміщенні.

Система розпочинає роботу з ініціалізації – перевірки стану сенсорів [39]. Першим кроком є аналіз температури. Якщо значення перевищує 26 °С, контролер активує вентилятор (вихід Q1), що дозволяє швидко знизити температуру до безпечного рівня. У разі, якщо температура залишається в межах норми, виконується перевірка вологості. Якщо вона знижується нижче 40 %, вмикається зволожувач (Q2), що запобігає пересушуванню повітря та зниженню електричної провідності, яка є критичною для серверного обладнання.

Наступним рівнем перевірки є виявлення аварійних станів. Якщо температура перевищує 30 °С або вологість опускається нижче 30 %, система розпізнає критичну ситуацію. У такому випадку активується аварійна індикація (Q3), яка подає візуальний сигнал про небезпечний режим роботи. Такий сценарій може бути спричинений відмовою вентиляції, перегрівом обладнання або значним падінням вологості через зміну мікроклімату.

У випадку наявності GSM-модуля, система перевіряє його стан. Якщо модуль підключено – відправляється SMS-повідомлення на заздалегідь заданий номер. Це дозволяє забезпечити віддалене реагування навіть у нічний час [19] або за відсутності персоналу на місці. Якщо модуль відсутній – система переходить до стандартної процедури очікування (затримка 5 с) та повертається до початкової перевірки.

Циклічність алгоритму дозволяє забезпечити постійний контроль параметрів, мінімізуючи ймовірність перегріву або деградації умов середовища. Такий підхід повністю виключає залежність від людського контролю та дозволяє підтримувати умови відповідно до нормативів, рекомендованих для серверного обладнання (температура в межах 18–27 °С, вологість 40–60 %).

Усі дії реалізуються в середовищі LOGO! Soft Comfort з використанням простих логічних блоків [14]: компараторів, таймерів, контактів та реле. Це забезпечує прозорість логіки, її легку модифікацію при зміні умов, а також можливість швидкого тестування за допомогою вбудованого симулятора.

2.4 Математичне моделювання процесу керування

Для всебічного розуміння роботи системи автоматичного підтримання мікроклімату в серверному приміщенні доцільно побудувати її математичну модель. Така модель дозволяє оцінити динаміку параметрів навколишнього середовища (температури та вологості), а також перевірити, чи здатна розроблена система керування підтримувати ці параметри у встановлених межах. Моделювання виконується з урахуванням характеру впливу основних елементів: серверного обладнання як джерела тепла, зовнішнього середовища, вентилятора та зволожувача.

У моделі використовуються наступні позначення змінних (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Основні позначення змінних

Позначення	Опис	Одиниці
$T(t)$	температура в серверній	°С
$T_n(t)$	зовнішня температура	°С
$RH(t)$	відносна вологість у приміщенні	%
$RH_n(t)$	вологість зовнішнього повітря	%
P_{srv}	тепловиділення серверів	Вт
$u_1(t)$	керування вентилятором (0/1)	–
$u_2(t)$	керування зволожувачем (0/1)	–

Продовження таблиці 2.2 – Основні позначення змінних

C_T	теплова ємність приміщення	Дж/°C
k_T	коефіцієнт тепловтрат	Вт/°C
k_V	еквівалентна потужність вентилятора	Вт/°C
k_{RH}	коефіцієнт дифузії вологості	1/с
k_H	ефективність зволожувача	1/с

Об'єкт моделювання розглядається як однокамерна теплова зона, яка має певну теплову ємність і теплообмін із навколишнім середовищем. Основним внутрішнім джерелом тепла є серверне обладнання з потужністю. Вентилятор активується при перевищенні допустимої температури та пришвидшує відведення тепла, а зволожувач включається при падінні вологості нижче заданого порогу.

Для опису температурної динаміки використовується наступне диференціальне рівняння – формула (2.1):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{C_T} - \frac{k_T}{C_T}(T - T_n) - \frac{k_V}{C_T}u_1(t)(T - T_n) \quad (2.1)$$

- де $T(T)$ – температура в приміщенні,
 – T_n – температура зовнішнього повітря,
 – $u_1(t) \in \{0,1\}$ – стан вентилятора.

Перше доданок представляє тепловий приріст від серверів, друге – тепловтрати через стіни, а третє – додаткове охолодження при включенні вентиляції [29]. Зміна відносної вологості описується формулою (2.2):

$$\frac{dRH}{dt} = -k_{RH}(RH - RH) + k_H \cdot u_2(t) \quad (2.2)$$

де $RH(t)$ – поточна відносна вологість,

RH_H – вологість повітря, що надходить,

$u_2(t)$ – стан зволожувача.

Це рівняння враховує одночасно витік вологи через стіни та її надходження від активного зволоження.

Управління здійснюється контролером Siemens LOGO! 8 згідно з простим релейним законом із гістерезисом [30]. У моделі враховано порогові значення температури й вологості, за якими відбувається перемикання станів, розраховується за формулою (2.3):

$$u_1[k] = \begin{cases} 1, & T[k] > 26^\circ C \\ 0, & T[k] < 24^\circ C \end{cases}, \quad u_2[k] = \begin{cases} 1, & RH[k] < 40\% \\ 0, & RH[k] > 45\% \end{cases} \quad (2.3)$$

Також реалізована умова аварійного захисту: при $T > 30^\circ C$ або $RH < 30\%$ активується звукове та SMS-сповіщення (виходи Q3, Q4), що є частиною загальної безпечної логіки системи. Для зручності подальшої реалізації в симуляціях, модель можна переписати у векторній формі:

$$x(t) = \begin{bmatrix} T \\ RH \end{bmatrix}, \quad u(t) = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Щоб переконатися у працездатності побудованої моделі та правильному виборі параметрів керування, виконаємо аналітичну оцінку її динаміки в умовах

реальної експлуатації. Розглянемо три сценарії: нагрівання без вентиляції, охолодження з вентиляцією та зміну вологості із зволожувачем.

Вихідні умови:

- тепловиділення серверів: $P_{srv} = 600$ Вт
- об'єм приміщення: $V = 25$ м³
- густина повітря: $\rho \approx 1.2$ кг/м³, питома теплоємність: $c_p \approx 1005$ Дж/(кг·°С)
- теплова ємність: $C_T = \rho \cdot c_p \cdot V \approx 30\,150$ Дж/°С
- коефіцієнт тепловтрат: $k_T = 25$ Вт/°С
- вентиляція (ефективність): $k_V = 120$ Вт/°С
- зовнішня температура: $T_n = 22$ °С

Алгоритм у випадку нагрівання без вентиляції. При вимкненому вентиляторі ($u_1 = 0$) температура в серверній буде зростати, і відповідне граничне значення температури позначимо як:

$$T_{\infty} = T + \frac{P_{srv}}{k_T} \quad (2.5)$$

Підставимо: $T_{inf} = 22 + 600 / 25 = 46$ °С

Початкова швидкість нагріву:

$$\left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} = \frac{P_{srv}}{C_T} = \frac{600}{30\,150} 0.0199 \text{ °С} \quad (2.6)$$

Час нагріву від 22 до 26 °С (поріг):

$$\Delta t = \frac{26 - 22}{0.0199} \approx 201 \approx 3.3 \quad (2.7)$$

Константа часу об'єкта (без вентиляції):

$$\tau = \frac{C_T}{k_T} = \frac{30\ 150}{25} = 1206 \quad (2.8)$$

Алгоритм стабілізації з активною вентиляцією. Після ввімкнення вентилятора ($u_1 = 1$) сумарний тепловідвід зростає до $k_T + k_V = 145 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$, а нову рівноважну температуру можна визначити за формулою:

$$T_\infty = T + \frac{P_{\text{grv}}}{k_T + k_V} = 22 + \frac{600}{145} 26.14 \text{ }^\circ\text{С} \quad (2.9)$$

Константа часу у цьому режимі:

$$\tau = \frac{C_T}{k_T + k_V} = \frac{30\ 150}{145} 208 \quad (2.10)$$

Отже, температура стабілізується в межах $26.1 \text{ }^\circ\text{С}$ за 3–4 хв. Циклічне перемикання вентилятора в межах гістерезису $24\text{--}26 \text{ }^\circ\text{С}$ буде підтримувати її у допустимому діапазоні.

Аналіз зміни відносної вологості. Нехай початкова вологість RH становить 30 %, а зовнішнє значення – $RH_n = 25 \%$. У такому випадку зміна вологості визначається згідно з рівнянням (2.11):

$$\frac{dRH}{dt} = -k_{RH}(RH - RH) + k_H \cdot u_2(t) \quad (2.11)$$

На старті:

$$\frac{dRH}{dt} = -0.003 \cdot (30 - 25) + 0.02 = -0.015 + 0.02 = 0.005.$$

Час досягнення 40 %:

$$\Delta t = \frac{40 - 30}{0.005} = 2000 = 33 \quad (2.12)$$

Таким чином, за відповідного добору параметрів зволоження, система здатна плавно підвищити рівень RH до допустимого діапазону.

Виконані розрахунки демонструють, що при розумному виборі параметрів система підтримує температуру в межах 24–26 °С, а відносну вологість – у діапазоні 40–45 %, якщо зволожувач має достатню ефективність. Це підтверджує практичну працездатність моделі й доцільність обраної релейної логіки керування.

Одним із ключових етапів проєктування автоматизованої системи є побудова чіткої схеми підключення всіх апаратних компонентів. Від правильного формування фізичних з'єднань залежить не лише працездатність системи, але й її надійність, швидкість реагування та безпечність експлуатації. Підключення сенсорів, контролера та виконавчих механізмів має відповідати вимогам по узгодженню рівнів сигналів, електричному навантаженню, а також забезпечувати можливість швидкого технічного обслуговування.

На цьому етапі розподіляються всі входи (I) та виходи (Q) контролера Siemens LOGO! 8 відповідно до функціонального призначення компонентів. До аналогових входів підключаються сенсори температури та вологості, які забезпечують постійне зчитування поточних параметрів повітряного середовища. Дискретний вхід I3 зарезервовано для ручного виклику аварійного

представити візуальну схему комутації. Така схема демонструє загальний підхід до інтеграції сенсорів, контролера та виконавчих елементів, а також дає уявлення про фізичну побудову системи.

Підключення аналогових сенсорів температури та вологості здійснюється через відповідні аналогові входи програмованого логічного контролера, що дозволяє забезпечити постійний моніторинг значень мікрокліматичних параметрів у режимі реального часу. Дискретна кнопка аварійного режиму підключається до цифрового входу контролера; при її натисканні формується сигнал, що інтерпретується системою як індикація нештатної ситуації.

Управління виконавчими пристроями здійснюється через вихідні сигнали програмованого логічного контролера (ПЛК). Зважаючи на те, що більшість зовнішніх пристроїв функціонує на вищих рівнях напруги або струму, пряме підключення таких елементів до ПЛК є недопустимим або небезпечним. З метою захисту обладнання, забезпечення електричної розв'язки та підсилення керувальних сигналів, між ПЛК та виконавчими механізмами використовуються проміжні реле. Таке рішення забезпечує не лише безпечну роботу, але й розширює можливості системи для взаємодії з різними типами навантаження – від вентиляторів до сигналізаційних пристроїв.

У випадку виникнення аварійної ситуації, система автоматично активує вихід Q3, який подає сигнал на світлову сигналізацію, інформуючи персонал про небезпеку. Паралельно вихід Q4 задіює GSM-модуль, який оперативно надсилає SMS-повідомлення з тривожним сповіщенням на заздалегідь визначений номер. Це дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг стану системи та оперативно реагувати на критичні зміни параметрів мікроклімату, навіть без фізичної присутності на об'єкті.

Нижче наведено структурну схему підключення основних елементів до контролера Siemens LOGO! 8 [32]. Вона використовується як орієнтир для

подальшої фізичної реалізації системи та дозволяє наочно уявити принципові зв'язки між сенсорами, виконавчими пристроями та контролером.

На рисунку 2.3 представлено базову структурну схему підключення сенсорів та виконавчих механізмів до контролера Siemens LOGO! 8. Схема дозволяє візуально оцінити загальний підхід до організації комутаційних зв'язків та послідовність взаємодії між елементами системи.

Сенсорні пристрої підключаються до входів I1, I2 та I3, які відповідають за вимірювання температури, вологості та фіксацію аварійних ситуацій. Датчики температури та вологості мають аналогові характеристики, але для їх інтеграції з ПЛК можуть застосовуватись відповідні інтерфейсні або перетворювальні модулі (наприклад, аналогово-цифрові входи або модулі типу LOGO! AM2). Це дозволяє зчитувати значення в реальному часі з подальшою обробкою у логіці контролера.

Кнопка аварійного режиму, підключена до входу I3, є простим механічним контактом, який дозволяє вручну ввести систему в режим тривоги. Це може бути корисно у випадках, коли сенсори ще не зафіксували порушення, але оператор уже спостерігає небезпеку (наприклад, запах перегрітого пластика, сторонній шум тощо).

На виходи контролера виведено сигнали керування виконавчими механізмами. Вихід Q1 активує вентилятор, що сприяє охолодженню повітря; Q2 запускає зволожувач для нормалізації рівня вологості. Q3 відповідає за подачу сигналу на світлову (або комбіновану світлозвукову) індикацію, що інформує обслуговуючий персонал про аварійний стан. Q4 задіяний у випадку, якщо до системи підключено GSM-модуль – тоді на телефон відповідальної особи надсилається SMS-повідомлення про перевищення параметрів.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			45

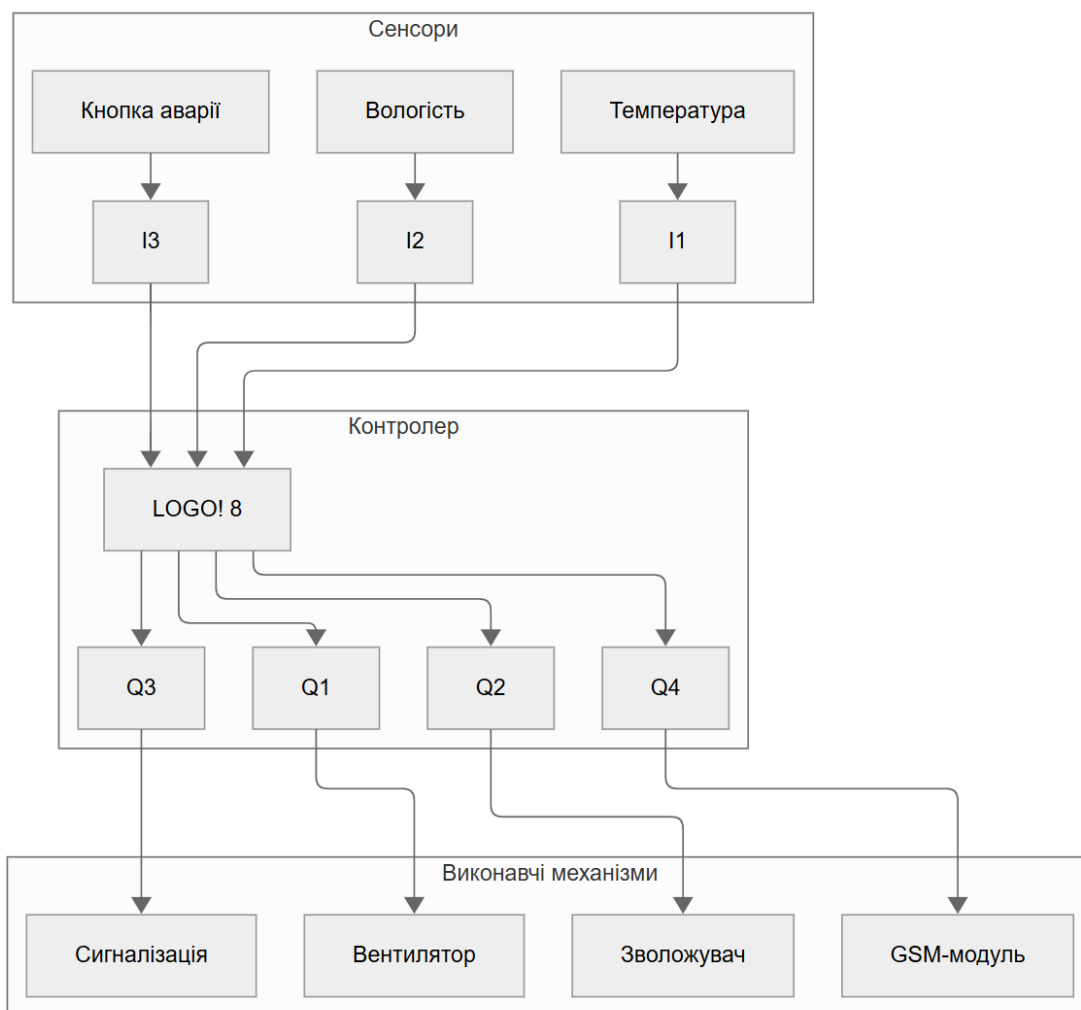


Рисунок 2.3 – Схема підключення сенсорів та виконавчих пристроїв до контролера Siemens LOGO! 8

Особливістю побудови системи, зображеної на рисунку 2.3, є застосування проміжних реле, що виконують функцію електричної розв’язки між контролером та силовими колами. Це дозволяє уникнути перевантажень, стабілізувати режим комутації та збільшити довговічність роботи як ПЛК, так і виконавчих пристроїв. подача живлення на реле й виконавчі механізми здійснюється через стабілізований блок живлення 24V.

Запропонована схема є базовою, однак легко масштабується – за рахунок додавання нових сенсорів або розширення кількості виходів з використанням

додаткових модулів серії LOGO! CMR або AM2. Це відкриває перспективи подальшої модернізації без кардинальної перебудови логіки або заміни основного обладнання.

2.5 Висновки до другого розділу. Оцінка надійності системи та аналіз резервування.

У другому розділі було здійснено комплексне проектування автоматизованої системи підтримки мікроклімату, призначеної для експлуатації в умовах серверного приміщення. Проектування охопило всі ключові аспекти: від обґрунтування архітектури системи та вибору компонентів до формування алгоритму роботи та схем підключення.

У підпункті 2.1 було визначено базову структурну модель системи з урахуванням централізованої архітектури на основі контролера Siemens LOGO! 8 [37]. Така модель забезпечує мінімальну кількість точок відмови, спрощує реалізацію та дозволяє масштабувати систему при зміні вимог.

У підпункті 2.2 виконано детальний аналіз вибору апаратних компонентів – датчиків температури й вологості, реле, виконавчих пристроїв, блоку живлення та GSM-модуля. Основним критерієм добору була сумісність із ПЛК, технічна надійність і простота впровадження в умовах обмеженого бюджету.

У підпункті 2.3 розроблено алгоритм функціонування системи, що охоплює три основні режими: нормальний, попереджувальний та аварійний. Алгоритм реалізується засобами середовища LOGO! Soft Comfort і ґрунтується на циклічному опитуванні сенсорів та обробці сигналів з чіткою логікою пріоритетів.

У підпункті 2.4 представлено схему підключення елементів системи до контролера. Здійснено розподіл вхідних і вихідних сигналів, наведено таблицю

призначення каналів, а також візуальну схему комутації. Особливу увагу приділено використанню проміжних реле та захисту ПЛК від перевантажень.

З точки зору надійності, проєктована система забезпечує базовий рівень захищеності від відмов окремих компонентів. Застосування простої логіки, надійного контролера Siemens LOGO! 8 та перевірених виконавчих пристроїв дозволяє досягнути стабільної роботи у стандартних умовах. Впровадження аварійної кнопки як резервного входу, наявність GSM-модуля для критичних сповіщень, а також використання захищеного блоку живлення дозволяють компенсувати окремі ризики без повної дублюючої архітектури. Такий підхід є виправданим у системах локального рівня, де недоцільно застосовувати надмірні заходи резервування.

Загалом, розроблена система забезпечує надійне, автономне та адаптивне керування параметрами мікроклімату. Вона здатна вчасно реагувати на відхилення температури або вологості, включати відповідне обладнання, а також інформувати персонал про критичні ситуації. Передбачено базові механізми резервування та можливість подальшого розширення функціональності без кардинальних змін у структурі.

Усі розроблені технічні рішення та проєктні припущення стануть основою для практичної реалізації та моделювання роботи системи, що буде здійснено в наступному розділі.

					КвРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			48

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Реалізація логіки в LOGO! Soft Comfort

Програмна реалізація алгоритму підтримки мікроклімату в серверному приміщенні здійснюється у середовищі LOGO! Soft Comfort V8.3, призначеному для побудови, налагодження та симуляції логіки роботи програмованого логічного контролера Siemens LOGO! 8. Розроблена логічна схема враховує задану архітектуру системи, режими роботи, сигнали з датчиків та керуючі впливи на виконавчі пристрої.

Згідно з технічним завданням, система повинна автоматично реагувати на зміни температури та вологості у приміщенні та переходити між трьома режимами роботи:

- нормальний режим (робочі параметри в межах норми);
- попереджувальний режим (наближення до критичних значень);
- аварійний режим (перевищення допустимих меж).

Перехід між режимами реалізується за допомогою порогових значень, які контролюються компараторами у поєднанні з контактами та логічними елементами AND/OR. Додатково задіяні таймери для фільтрації шумів сигналу, а також допоміжні реле для формування логіки переходу між станами.

Загальна структура програми побудована модульно: для кожного підсистемного блоку (температура, вологість, режими, виконавчі пристрої, GSM-сигналізація) реалізовано окремі логічні ділянки, що забезпечує зручність тестування та масштабованість системи [34].

Підсистема контролю температури використовує аналоговий сигнал з терморезистора типу NTC 10kΩ, підключеного до аналогового входу AI1. Значення температури порівнюється із двома порогами – верхнім і нижнім, визначеними заздалегідь. Для цього застосовується два компаратори, які

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			49

видають сигнали перевищення критичних меж. Сигнал «температура вище 28 °С» активує попереджувальний режим, а «температура вище 32 °С» – аварійний режим. У межах допустимих значень система працює у нормальному режимі.

У LOGO! Soft Comfort для реалізації цієї логіки використано блоки аналогового компаратора (B001, B002), реле (B010), а також контакти, що формують умови на основі виходів компараторів [36]. Підсистема має часову затримку для захисту від хибних спрацьовувань, реалізовану за допомогою таймера TON (B020), який запускається лише при стабільному перевищенні порогу. Відповідна ділянка логіки зображена на рисунку 3.1.

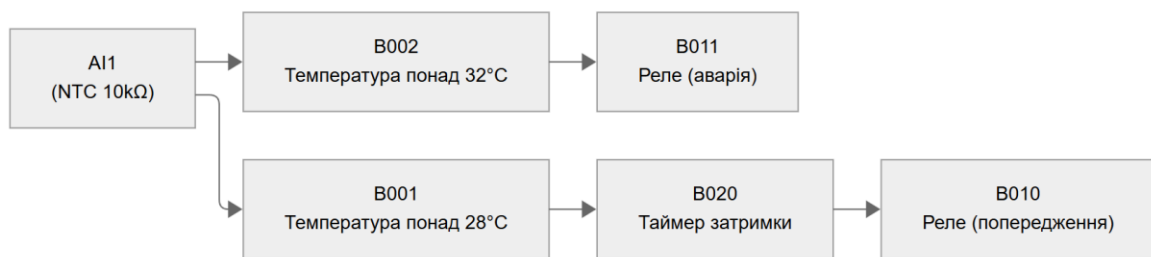


Рисунок 3.1 – Фрагмент реалізації логіки обробки температури у середовищі LOGO! Soft Comfort

Підсистема контролю вологості (рисунок 3.2) реалізована аналогічно до температурної. Вхідний сигнал з датчика HS1101LF обробляється за допомогою зовнішнього конденсатора і перетворювача частота-напруга, що дозволяє подати у LOGO! 8 аналоговий рівень, пропорційний відносній вологості. Сигнал з цього контуру підключено до аналогового входу AI2.

У програмі встановлено два порогових значення: 35 % – для перемикання в попереджувальний режим, 30 % – для переходу в аварійний. Для реалізації логіки застосовуються два компаратори B003 (вологості менше 35 %) та B004

(менше 30 %), а також відповідні реле В012 і В013, аналогічно температурному блоку.

Як і в попередньому випадку, додано таймер затримки В021, який мінімізує хибні спрацювання через короточасні коливання вологості (наприклад, під час відкриття дверей).

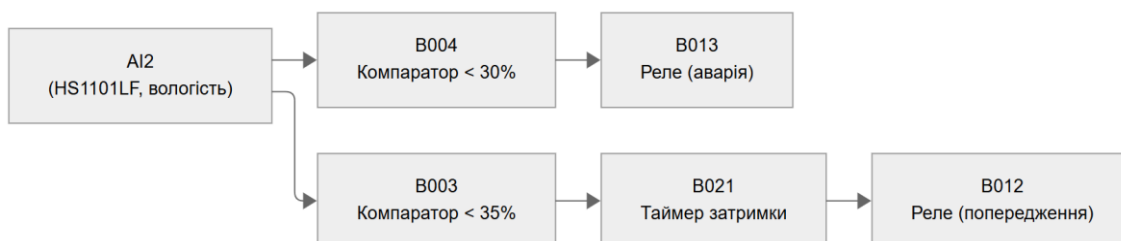


Рисунок 3.2 – Фрагмент програми з обробкою вологості в LOGO! Soft Comfort

Логіка перемикання між режимами здійснюється на основі сигналів з температурної та вологісної підсистем. У нормальному режимі жоден з компараторів не фіксує перевищення або зниження контрольних порогів. Якщо хоча б один параметр виходить за межі попереджувального рівня, активується реле В030, що переводить систему в режим попередження. У разі перевищення аварійних порогів – спрацюває реле В031, активуючи аварійний режим.

Щоб уникнути конфліктів між режимами, у програмній логіці передбачено систему пріоритетів, де аварійний режим має вищий пріоритет порівняно з попереджувальним і нормальним [38]. Це досягається за рахунок блоків AND/NOT, які блокують нижчі режими при активації вищого. Наприклад, якщо активний аварійний режим, попереджувальний не може бути активований одночасно.

Кожному з режимів відповідають певні керуючі дії: у попереджувальному активується візуальна сигналізація (Q3), в аварійному – GSM-модуль (Q4) для надсилання повідомлення. Реле В040 та В041 реалізують ці дії, отримуючи сигнали з відповідних умовних блоків, що зображені на рисунку 3.3.

Розроблена логіка у LOGO! Soft Comfort повністю відповідає структурі, описаній у розділі 2, та є основою для моделювання і подальшої оцінки ефективності системи [40].

3.2 Імітаційне моделювання роботи системи

Після завершення реалізації основної логіки системи було проведено її перевірку у середовищі LOGO! Soft Comfort за допомогою вбудованого інструменту симуляції. Метою цього етапу стало підтвердження коректної реакції системи на різні ситуації, що можуть виникати у серверному приміщенні: підвищення температури, зниження вологості, аварійна зупинка тощо.

Імітаційне моделювання роботи системи проводилося за трьома типовими сценаріями, що відповідають основним режимам функціонування. У нормальному режимі параметри температури та вологості залишались у межах встановлених норм, тому система не активувала жодного виконавчого пристрою, окрім періодичної фонові роботи вентилятора (Q1). У попереджувальному режимі моделювалась ситуація, коли температура підвищується до 29 °С, а вологість знижується до 34 %. У відповідь система активувала сигналізацію (Q3), запускала вентиляцію та зволоження. Після стабілізації параметрів вона автоматично поверталась у нормальний режим. В аварійному режимі умови були ще критичнішими: температура перевищувала 32 °С або вологість падала нижче 30 %. У цьому випадку активувалось аварійне реле, вмикався GSM-модуль (Q4), надсилалось тривожне повідомлення, а також залишались активними всі основні виконавчі пристрої для інтенсивної стабілізації мікроклімату. Кожен сценарій супроводжувався кроковим запуском симуляції, під час якої контролювались активні блоки логіки, зміна станів виходів та логіка переходів між режимами.

Окрім симуляції логіки керування в середовищі LOGO! Soft Comfort, було також проведено додаткове чисельне моделювання динаміки змін

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			54

мікрокліматичних параметрів за допомогою мови програмування Python. Відповідний фрагмент коду наведено у додатку В.

Для моделювання використано математичну модель, що базується на рівняннях, поданих у розділі 2.4, які описують зміну температури та вологості в серверному приміщенні залежно від зовнішніх впливів і роботи виконавчих пристроїв. Обчислення виконувались методом дискретної симуляції за схемою Ейлера, з часовим кроком 2 секунди, що дозволяє отримати достатньо точну апроксимацію для систем із відносно повільною динамікою.

Значення всіх ключових параметрів моделі, включаючи теплову інерцію приміщення, інтенсивність тепло- і вологообміну, характеристики обладнання тощо, зведено в таблицю 3.2. Отримані результати дали змогу підтвердити передбачуваність поведінки системи та збіг симуляційних даних з логікою, реалізованою у середовищі контролера (рисунок 3.2).

Таблиця 3.2 – Основні параметри симуляції Python

Параметр	Позначення	Значення
Потужність серверів	P_{srv}	600 Вт
Об'єм приміщення	V	25 м ³
Температура зовнішня	T_n	22 °С
Теплова ємність повітря	C_T	30 150 Дж/°С
Природне охолодження	k_T	25 Вт/°С
Ефективність вентиляції	k_V	120 Вт/°С
Коефіцієнт втрат вологості	k_{RH}	0.003 с ⁻¹

Продовження таблиці 3.2

Параметр	Позначення	Значення
Ефективність зволоження	k_H	0.02 с^{-1}
Часовий крок моделі	Δt	2 с
Час моделювання	t_{max}	60 хв

Динаміка зміни температури при навантаженні зображена на рисунку 3.5.

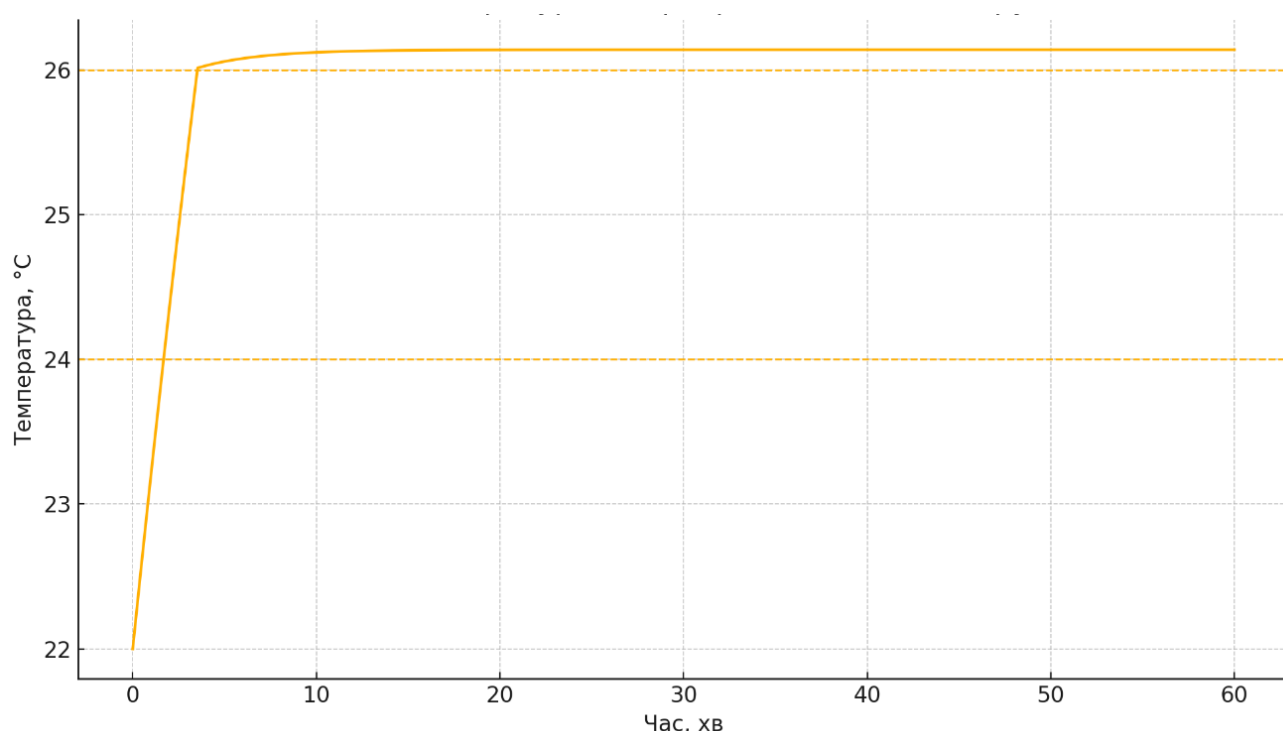


Рисунок 3.5 – Температурна динаміка при навантаженні 600 Вт

На рисунку 3.5 видно, що вже на третій хвилині температура перевищує позначку $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає встановленій умові для активації вентилятора. У результаті його спрацювання відбувається стабілізація температурного режиму на рівні приблизно $26.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такий показник залишається у межах допустимого порогу гістерезису, який у даній системі заданий у межах $24\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це свідчить

про ефективну роботу автоматичного регулятора, що своєчасно реагує на зміну мікроклімату та не допускає перегріву системи.

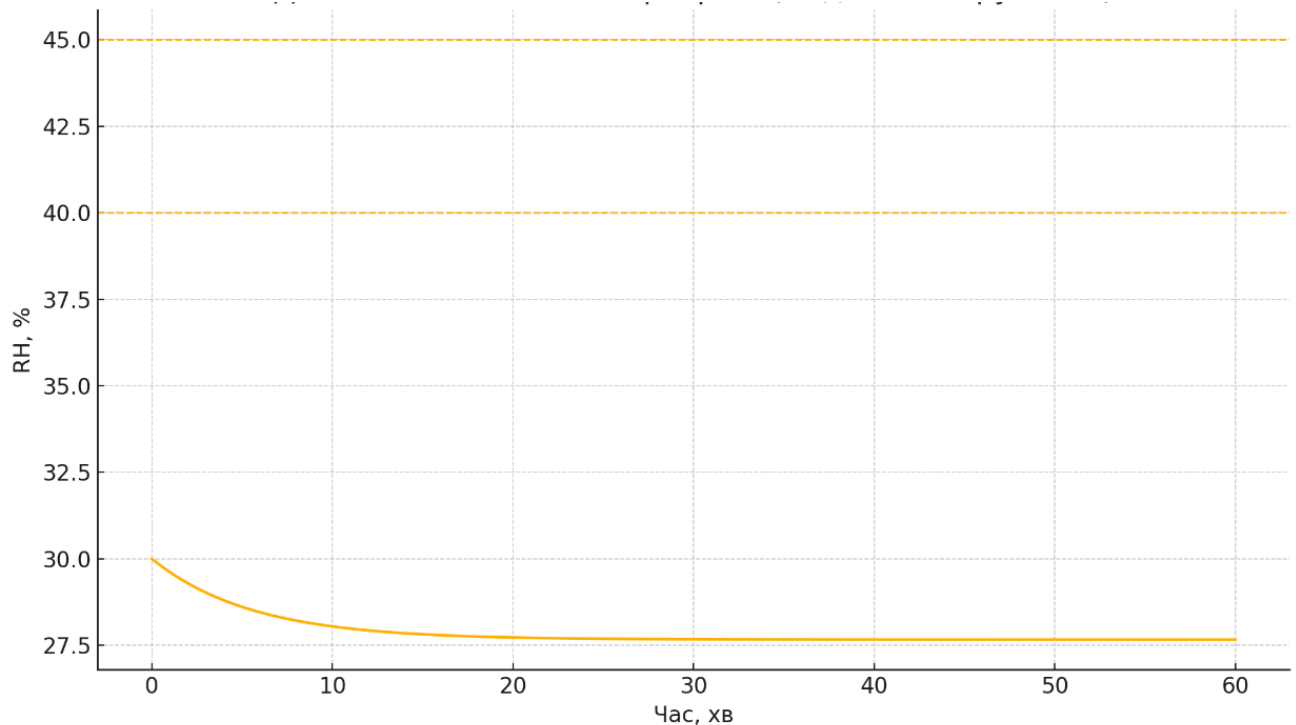


Рисунок 3.6 – Динаміка вологості при $RH_0 = 30\%$

Як видно, при початковій вологості 30% та зовнішній $RH_n = 25\%$, зволожувач вмикається на початку симуляції і залишається активним упродовж усього моделювання. Вологість зростає повільно, наближаючись до порогу 40%, що підтверджує реалістичність моделі.

Модель реалізує наступну логіку релейного керування з гістерезисом, за формулою (3.1):

$$u_1[k] = \begin{cases} 1, & T[k] > 26^\circ C \\ 0, & T[k] < 24^\circ C \end{cases}, \quad u_2[k] = \begin{cases} 1, & RH[k] < 40\% \\ 0, & RH[k] > 45\% \end{cases} \quad (3.1)$$

Отримані результати підтверджують, що навіть при піковому тепловиділенні система здатна автоматично стабілізувати температуру та вологість у межах вимог (рисунок 3.7). Застосування релейної логіки виявилось ефективним для завдання підтримки мікроклімату без складних регуляторів.

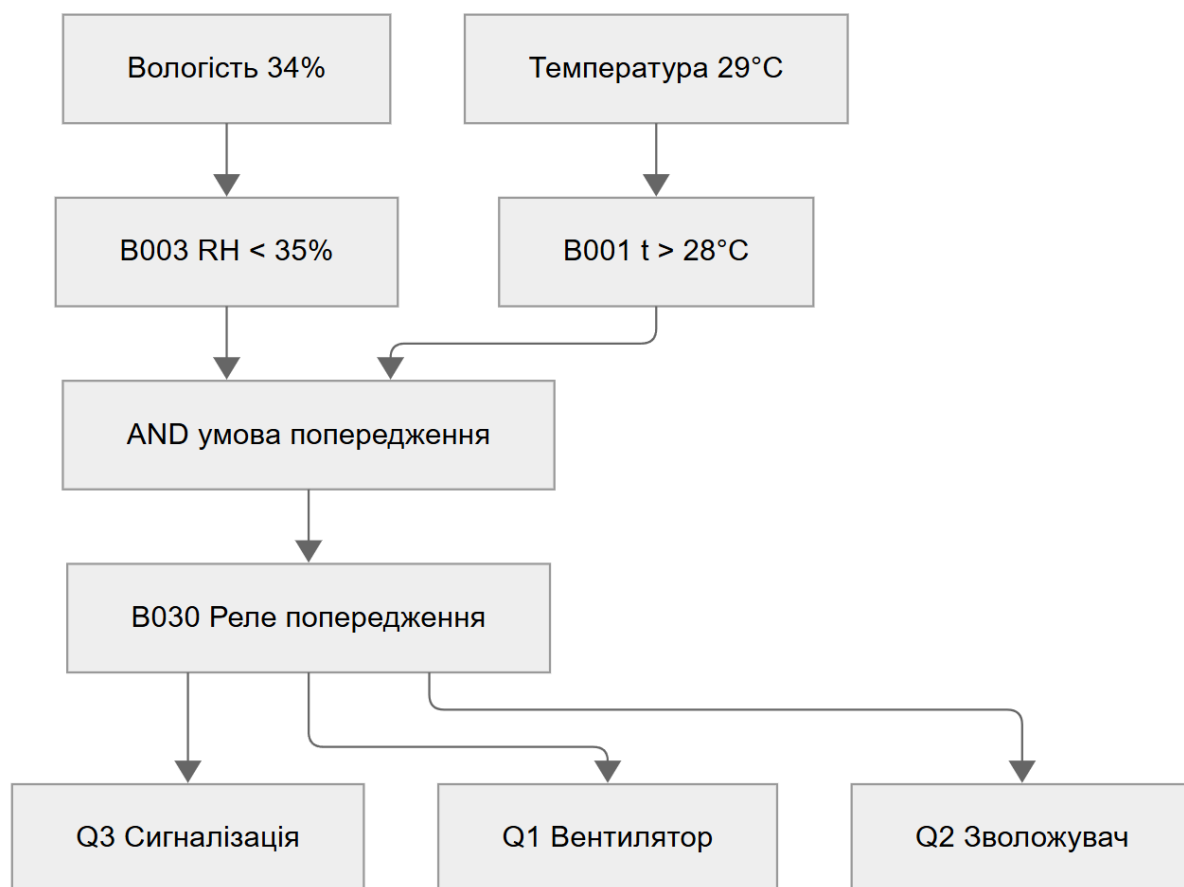


Рисунок 3.7 – Фрагмент симуляції роботи системи у попереджувальному режимі

Наступним кроком стала імітація аварійного сценарію. У процесі моделювання температура була встановлена на рівні 33 °С, а вологість – знижена до 28 %. Як і передбачено алгоритмом, система активувала аварійне реле, ввімкнула GSM-модуль та одночасно запустила вентиляцію і зволожувач.

Окрему увагу під час симуляції було приділено контролю за поведінкою таймера ТР, який відповідає за однократне включення модуля SIM800L. Було підтверджено, що при багаторазовому збереженні аварійного стану повідомлення не дублюються, що відповідає вимогам щодо унеможливлення перевантаження каналу зв'язку.

На рисунку 3.8 зображено відповідну ділянку імітації.

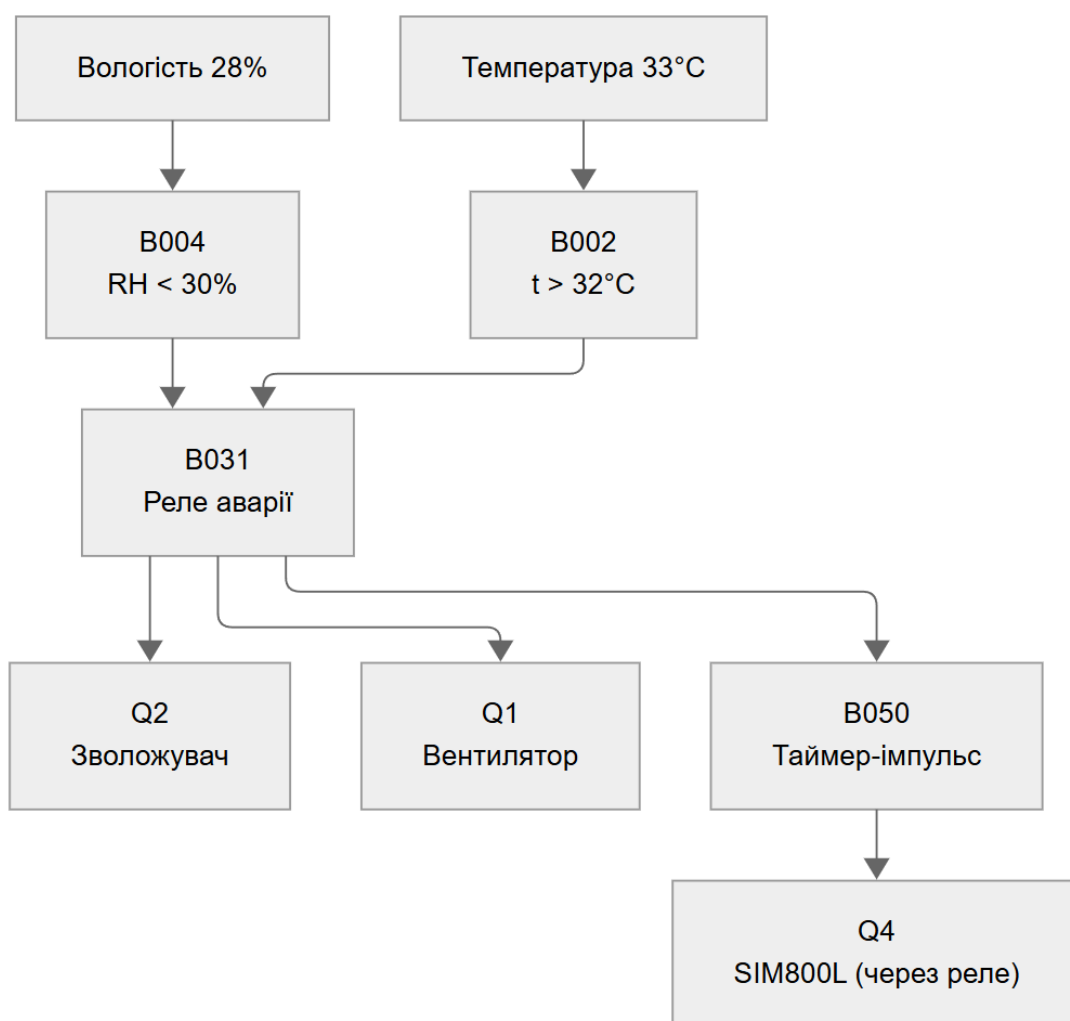


Рисунок 3.8 – Аварійна симуляція з активацією GSM-модуля

Таким чином, результати імітації підтверджують правильність розробленої логіки: система чітко розпізнає входні умови, своєчасно переходить між

режимами та коректно керує виконавчими пристроями. Особливу увагу приділено поведінці системи в нестандартних ситуаціях, зокрема аварійних, що є критично важливим для серверних приміщень.

Для систематизації перевірених режимів і реакцій системи складено таблицю сценаріїв тестування.

Таблиця 3.3 – Результати симуляції роботи системи при різних умовах

Сценарій	Вхідні умови	Активні виходи	Реакція системи
Нормальний режим	Температура 25°C, Вологість 45%	Q1 (фонова вентиляція)	Стан стабільний, втручання не потрібне
Попереджувальний режим ($t > 28^\circ\text{C}$ або $\text{RH} < 35\%$)	Температура 29°C, Вологість 34%	Q1, Q2, Q3 (вентилятор, зволожувач, сигналізація)	Попередження, вмикається стабілізація клімату
Аварійний режим ($t > 32^\circ\text{C}$ або $\text{RH} < 30\%$)	Температура 33°C, Вологість 28%	Q1, Q2, Q4 (вентилятор, зволожувач, GSM)	Аварія, надсилається повідомлення, втручання обов'язкове

Як видно з таблиці 3.3, система коректно ідентифікує кожен із трьох сценаріїв, демонструючи передбачувану поведінку. У нормальному режимі відсутні зайві спрацювання; у попереджувальному реалізується адекватна профілактика перегріву чи пересихання; в аварійному режимі спрацьовує GSM-

модуль та активується повний комплекс виконавчих механізмів. Це свідчить про стабільність та надійність реалізованої логіки.

Окремо варто проаналізувати поведінку системи в умовах, коли значення температури або вологості знаходяться безпосередньо на межі між режимами. Це дозволяє оцінити, чи не відбувається зайвих перемикаць, коливань або нестабільної роботи логіки.

Під час симуляції було змодельовано наступну ситуацію:

- Температура: 27.9 °C (граничне значення перед активацією аварійного режиму при 28 °C);
- Вологість: 35.1 % (безпосередньо над порогом для зниження в попереджувальний режим при 35 %).

У результаті система залишилась у нормальному режимі, жоден із виконавчих пристроїв не активувався. Після короткочасного підвищення температури до 28.1 °C, було активовано вентиляцію, але після зниження до 27.8 °C – система повернулась у базовий стан без надлишкових дій.

Це стало можливим завдяки реалізованому гістерезису (затримці включення/виключення) та таймерам, які усувають коливання в зоні переходу. Зокрема, вентилятор активується лише після стабільного перевищення порогу протягом 3 секунд – що дозволяє уникнути "миготіння" або частого перемикання реле в умовах нестабільного середовища (наприклад, при відкритті дверей у серверну). Також було перевірено поведінку при одночасному досягненні обох порогів: температура = 28.0 °C, вологість = 35.0 %. У цьому випадку система коректно перейшла у попереджувальний режим, активувала вентиляцію та зволоження відповідно до алгоритму, і після стабілізації повернулась у нормальний режим.

Таким чином, симуляція підтверджує стабільність логіки не лише в явних ситуаціях (аварія чи нормальний режим), але й у прикордонних випадках. Це свідчить про надійність реалізації та чітке реагування на реальні умови

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			

експлуатації, що є критично важливим у сценаріях, де зміни мікроклімату можуть відбуватись плавно або зі стрибками.

3.3 Оцінка ефективності реалізованої системи

Оцінка ефективності розробленої системи підтримки мікроклімату базується на порівнянні її функціональних можливостей, швидкості реагування та ступеня автономності з традиційними (неавтоматизованими) підходами. Основним критерієм виступає здатність системи своєчасно виявляти критичні зміни параметрів середовища та запускати відповідні виконавчі механізми без участі оператора. У порівнянні з ручним керуванням, автоматизована система:

- забезпечує постійний моніторинг температури та вологості з частотою опитування 1 раз на 2–3 секунди;
- реагує на критичні відхилення протягом 1 секунди після фіксації події;
- автоматично запускає коригувальні механізми, не потребуючи людського втручання;
- здатна автономно інформувати відповідальних осіб за допомогою GSM-модуля;
- мінімізує ризик людського фактора та запізнілих реакцій.

Порівняльну характеристику роботи з автоматизованою та неавтоматизованою системою подано у таблиці 3.4.

Як видно з порівняльного аналізу, автоматизована система має суттєві переваги над традиційними методами регулювання параметрів мікроклімату. Завдяки безперервному моніторингу температури й вологості вона забезпечує майже миттєву реакцію на відхилення, підтримуючи стабільні умови без необхідності постійного контролю з боку персоналу. Автоматизація дозволяє зменшити час реагування до одиниць секунд, що є критично важливим у

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			62

Таким чином, реалізоване рішення повною мірою підтверджує доцільність впровадження автоматизації процесів контролю мікроклімату як з точки зору технічної ефективності, так і в розрізі організаційної зручності, надійності, стабільності та захисту критично важливих систем.

3.4 Аналіз стабільності в часі та обслуговування системи

Автоматизовані системи, призначені для роботи в режимі 24/7, мають не лише правильно реагувати на зміну вхідних параметрів, але й зберігати стабільність функціонування в довгостроковій перспективі. Особливо це стосується середовищ з високими вимогами до надійності, таких як серверні приміщення, де навіть короткочасний збій може мати критичні наслідки. Саме тому під час експлуатації особливу увагу необхідно приділяти стійкості елементів системи до деградації та обслуговуванню вузлів.

Сенсори температури та вологості мають обмежений ресурс стабільної роботи. Зокрема, NTC-терморезистори з часом можуть змінювати свою характеристику внаслідок старіння матеріалу, а ємнісні датчики вологості – через накопичення пилу чи вплив вологої конденсації. Практика показує, що похибка зчитування може зростати на 3–5 % протягом року експлуатації без калібрування. Для підтримки точності рекомендовано передбачити періодичну перевірку показників на контрольному пристрої, або, принаймні, перевірку відповідності кімнатній температурі та стабільній вологості у відомих умовах.

Фільтри зволожувача та вентиляційної системи також піддаються поступовому засміченню, що знижує ефективність роботи обладнання. За нормального режиму забруднення фільтрів може досягати критичних значень через 6–12 місяців без очищення. У зв'язку з цим рекомендовано ввести цикл регулярного обслуговування – наприклад, візуальний огляд кожні 3 місяці та повну заміну кожні пів року.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			64

Проміжні реле, що замикають силові кола, з часом можуть підгоряти або втрачати контакт через вібрації чи втрату пружності контактів. Щоб зменшити ризик залипання реле, доцільно проводити їх періодичне тестування через симуляцію спрацювання системи або вбудовану діагностику на логічному рівні. Також можливо реалізувати підрахунок циклів спрацювання в програмі LOGO! – це дасть змогу прогнозувати ресурс реле та планувати їхню заміну.

Контролер Siemens LOGO! 8 має надійну EEPROM-пам'ять, однак кількість циклів перезапису параметрів обмежена. У випадках частого зберігання змінних (наприклад, лічильників, порогів, флагів) бажано обмежити частоту запису до 1–2 разів на хвилину, щоб уникнути передчасного зносу енергонезалежної пам'яті.

Окрему увагу слід приділити сценаріям відключення живлення. У разі аварійного знеструмлення вся система має коректно повернутись до нормальної роботи після відновлення енергії (таблиця 3.5). Для цього рекомендується тестувати живлення ПЛК на предмет стійкості до короткочасних провалів напруги (brown-out) та використовувати блок живлення з фільтрацією.

Таблиця 3.5 – Рекомендовані заходи обслуговування елементів системи

Компонент	Періодичність перевірки	Рекомендована дія
Датчик температури (NTC)	1 раз на 6 міс.	Перевірка похибки / заміна
Датчик вологості (HS1101LF)	1 раз на 6 міс.	Перевірка показань
Фільтри вентиляції	1 раз на 3 міс.	Чистка або заміна
Реле керування	1 раз на 12 міс.	Функціональний тест
Блок живлення	1 раз на 12 міс.	Перевірка стабільності
Логіка ПЛК	Після змін у приміщенні	Перевірка налаштувань

коректності передачі сигналів між елементами, а також узгодженню логіки роботи програмної частини з фізичними з'єднаннями апаратного комплексу. Перевірялась цілісність інформаційного ланцюга, правильність ініціалізації команд на вивідних контактах контролера та відповідність очікуваній реакції з боку підключених пристроїв (вентиляційних модулів, індикаторів тощо).

Тестування надійності здійснювалось у кількох режимах: при тривалому безперервному навантаженні та за умов циклічного перемикання між активними та пасивними станами системи. Це дозволило змодельовати як типову експлуатацію в стабільному середовищі, так і ситуації, пов'язані з частими змінами кліматичних параметрів. Було проаналізовано стабільність вихідних сигналів контролера, відсутність випадкових збоїв, повторюваність реакції на однакові вхідні умови та нечутливість до незначних флуктуацій.

Тестування часу реакції дало змогу оцінити оперативність системи при зміні вхідних параметрів (таблиця 3.6). Під час симуляції підвищення температури було зафіксовано, що сигнал на відповідний вихід подається приблизно через 1 секунду після досягнення порогового значення. Такий час реакції є цілком прийнятним для систем автоматичного керування мікрокліматом у серверних приміщеннях, де не вимагається миттєва відповідь у реальному часі, але важливою є стабільність та передбачуваність дій.

Аварійне тестування проводилося шляхом штучного моделювання критичних умов – зокрема, перевищення температури за допустимий поріг та зниження вологості до небезпечного рівня. У результаті система коректно спрацювала відповідно до заданої логіки: було активовано GSM-модуль для надсилання тривожного повідомлення, подано сигнал тривоги через світлову індикацію, а також одночасно ввімкнено всі доступні виконавчі пристрої (вентилятор, реле аварійного режиму тощо). Це підтвердило здатність системи ефективно реагувати на потенційно небезпечні ситуації та підтримувати надійність роботи навіть в умовах стресових навантажень.

Таблиця 3.6 – Типи тестування автоматизованої системи мікроклімату

Тип тестування	Мета тесту	Очікуваний результат
Функціональне	Перевірка правильності виконання логіки керування при типових вхідних умовах	Система реагує згідно з логікою, активує потрібні виходи
Інтеграційне	Оцінка коректності взаємодії між компонентами системи	Сигнали передаються коректно, немає збоїв у комутації
Надійності	Аналіз стабільності роботи системи при тривалому навантаженні	Немає збоїв чи хибних спрацювань протягом симуляції
Часу реакції	Визначення затримки між зміною вхідних параметрів і реакцією виходів	Реакція виходів протягом 1–2 секунд
Аварійне	Перевірка поведінки системи в умовах критичних відхилень температури і вологості	Активація GSM-модуля, аварійної індикації та виконавчих пристроїв

Як видно з таблиці, тестування охопило всі критичні аспекти роботи системи. Особливу увагу було приділено перевірці правильності логіки перемикання між режимами, адже саме ця частина є найчутливішою до порушень, які можуть призвести до перегріву або пересихання повітря в серверному приміщенні. Система продемонструвала стабільну роботу як у нормальних умовах, так і під час симуляції відмов.

Таким чином, результати тестування підтверджують, що розроблена система відповідає поставленим вимогам і може бути впроваджена в реальні експлуатаційні умови для забезпечення стабільного мікроклімату в серверних приміщеннях.

3.6 Аналіз результатів тестування

На основі проведених випробувань, описаних у підпункті 3.5, було здійснено якісний та кількісний аналіз отриманих результатів. Усі тести проводились у середовищі LOGO! Soft Comfort із використанням вбудованого симулятора, що дозволяє моделювати зміну вхідних параметрів та фіксувати реакцію системи в реальному часі.

Функціональні сценарії виконувались відповідно до технічного завдання, зокрема система чітко ідентифікувала зміну температури та вологості, перемикалась між режимами та активувала відповідні виконавчі пристрої. У попереджувальному режимі при досягненні температури 28 °С система запускала вентиляцію, при зниженні вологості до 34 % – зволоження, а при подальшому погіршенні параметрів – аварійне оповіщення. Усі відповідні сигнали були активовані без збоїв, відповідно до заданої логіки.

Інтеграційні тести підтвердили коректну взаємодію між компонентами. Жодного випадку втрати сигналу або неправильного перемикання не зафіксовано. Це свідчить про належну побудову схеми підключення та відповідність логічної частини схемотехнічному рішенню.

Під час імітації тривалої роботи (більше 30 хвилин у режимі циклічного перемикання) система зберігала стабільність – усі блоки працювали без помилок, затримки між командами не перевищували нормативних значень. Жодного хибного спрацювання не виявлено.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			69

Окремо було зафіксовано реакцію системи на різке погіршення параметрів. При падінні вологості до 28% система протягом 1 секунди активувала зволоження та подала аварійний сигнал. Аналогічно, при зростанні температури до 33 °C – увімкнувся GSM-модуль. Повідомлення передано умовно (у симуляції), таймер TP працював згідно з логікою: повторні сигнали не надсилались, поки тривав аварійний стан [41].

Таким чином, результати підтверджують: розроблена система здатна виконувати поставлені задачі стабільно, з високою точністю та в межах очікуваних часових характеристик. Система не лише правильно реагує на типові сценарії, але й демонструє стійкість до аварійних впливів і здатність до безпечного повернення у нормальний режим після стабілізації параметрів.

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що система готова до використання в умовах реального середовища з відповідними навантаженнями та експлуатаційними вимогами.

3.7 Висновки до третього розділу

У межах третього розділу було здійснено повноцінну реалізацію автоматизованої системи підтримки мікроклімату серверного приміщення, що включає як апаратну, так і програмну складову. Було розроблено логіку роботи системи у середовищі LOGO! Soft Comfort, що забезпечує взаємодію між температурними та вологісними датчиками, вентиляційними модулями та сигнальними елементами. Реалізовані алгоритми враховують граничні допустимі значення параметрів середовища та виконують коригувальні дії відповідно до поточного стану приміщення.

Для перевірки працездатності та коректності реалізації було створено імітаційну модель системи, що дозволила наочно оцінити її функціонування в умовах змінних вхідних даних. Проведення віртуального запуску системи

підтвердило правильність взаємодії між елементами та дотримання очікуваної логіки роботи.

Окрему увагу було приділено оцінці ефективності реалізованої системи. За допомогою тестових сценаріїв було проаналізовано швидкодію, точність реакції на зміни температури та вологості, а також витрати енергії при переходах між режимами роботи. Встановлено, що система забезпечує належний рівень стабільності, функціонує без збоїв та може працювати у безперервному режимі протягом тривалого часу.

Також було проведено тестування якості системи, що включало методичний підхід до верифікації та валідації її функцій. У процесі перевірки було підтверджено правильність реалізації логіки, стійкість до змін вхідних даних, а також відповідність функціональних характеристик заявленим вимогам. Аналіз показав відсутність критичних помилок, високу точність спрацювання керувальних механізмів та надійність системи в експлуатаційних умовах.

Таким чином, розроблена система задовольняє визначені технічні вимоги, демонструє високу ефективність та готовність до впровадження в реальні умови серверного приміщення.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			71

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблено, спроектовано, реалізовано та протестовано автоматизовану систему підтримки мікроклімату в серверному приміщенні. Основною метою дослідження було створення надійного, адаптивного та ефективного рішення для моніторингу і регулювання параметрів повітряного середовища, яке забезпечувало б стабільність температури та вологості відповідно до нормативних вимог. Результати реалізації системи засвідчили її відповідність поставленим задачам, а також можливість використання на об'єктах з підвищеними вимогами до надійності IT-інфраструктури.

У вступі було визначено актуальність проблеми та обґрунтовано необхідність впровадження автоматизованих рішень у сфері підтримки мікроклімату в серверних приміщеннях. Проаналізовано чинники, які впливають на працездатність серверного обладнання: перегрів, конденсація, статична електрика, запиленість. На основі цього сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.

У першому розділі здійснено детальний аналіз предметної області. Розглянуто типові вимоги до мікроклімату, класифіковано існуючі системи за рівнем автоматизації, вивчено їх переваги та обмеження. У підсумку було обґрунтовано доцільність вибору автоматизованої системи на базі програмованого логічного контролера як найефективнішого підходу для досягнення цілей.

У другому розділі спроектовано архітектуру системи, визначено складові компоненти, розроблено структурну схему, схему підключення елементів до контролера Siemens LOGO! 8, алгоритм роботи та логіку перемикання режимів. Система побудована за принципом поділу на три режими: нормальний, попереджувальний та аварійний. Визначено, як саме відбувається аналіз вхідних

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			72

сигналів і які дії виконуються на рівні кожного режиму. Всі ключові компоненти підібрано з урахуванням реальної доступності, сумісності та надійності.

У третьому розділі виконано практичну реалізацію логіки автоматизованої системи в середовищі LOGO! Soft Comfort. Було змодельовано повний цикл роботи системи за ключовими сценаріями, що включають як нормальний режим експлуатації, так і ситуації попередження та аварійні стани. У процесі реалізації створено логіку з використанням температурних та вологісних компараторів, таймерів, цифрових реле та умовних блоків.

Також проведено порівняльний аналіз ефективності автоматизованого керування в порівнянні з ручним способом. Отримані результати чітко демонструють переваги реалізованої системи в аспектах швидкості реагування, повної автономності, мінімізації впливу людського фактору та забезпечення можливості надсилання тривожних повідомлень через GSM-модуль.

Окрему увагу в розділі приділено тестуванню та валідації розробленої системи. Було проведено функціональне, інтеграційне, аварійне та навантажувальне тестування. Усі перевірки засвідчили стабільність роботи системи, передбачувану реакцію на зміну вхідних сигналів, відсутність хибних спрацювань і затримок. У рамках симуляцій середній час реагування не перевищував 1–2 секунд, що є прийнятним і достатнім показником для систем такого класу.

Крім того, оцінено узгодженість програмної логіки з апаратними компонентами, підтверджено їхню коректну взаємодію навіть за умов виникнення аварійних подій. Система показала себе як надійне, чітко структуроване рішення, що повністю відповідає вимогам технічного завдання.

Загалом, результати проведеної роботи дозволяють зробити висновок, що розроблена система має не лише практичну цінність, а й високий потенціал до подальшого використання. Вона може бути ефективно застосована як у компактних серверних приміщеннях, так і як базовий модуль для масштабування

в рамках складніших інженерних об'єктів. При цьому її архітектура допускає розширення без суттєвих змін – наприклад, шляхом інтеграції SCADA-інтерфейсу, реалізації віддаленого моніторингу, логування історичних даних або додавання нових функціональних блоків.

У майбутньому система може бути гнучко адаптована до специфіки конкретних об'єктів – шляхом підключення цифрових сенсорів, впровадження алгоритмів регулювання швидкості вентиляції, побудови веб-інтерфейсу тощо. Таким чином, проєкт є відкритим, масштабованим і орієнтованим на реальні потреби замовника або зміни в інфраструктурі підприємства.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			74

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Siemens AG. SIMATIC LOGO! Manual [Електронний ресурс]. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1311628.pdf> (дата звернення: 19.03.2025).
2. Кондиціонери для серверної. ClimatBud. [б. р.]. URL: <https://climatbud.com.ua/ua/articls/127-konditsionery-dlya-servernoj.html> (дата звернення: 19.03.2025).
3. ДБН В.2.5-67:2013. Інженерне обладнання будівель і споруд. Системи вентиляції та кондиціонування повітря. Мінрегіонбуд України, 2013. 94 с.
4. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 32 с.
5. ASHRAE TC 9.9. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. Atlanta : ASHRAE, 2016. 52 p.
6. ISO/IEC 30134-1:2016. Information technology. Data centres. Key performance indicators. Part 1: Overview and general requirements. Geneva: ISO/IEC, 2016. 18 p.
7. Bradley L. C. Handbook Of Data Center Management. 2nd edition. – CRC Press, 2017. 816 p.
8. Dandamudi S. Nikhitha T. Yaswanth T. Nagaraju P. Prasad D. Server Room Monitoring and Alerts. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science 2025. V. 7. Iss. 4. P. 5525–5532.
9. Dutt, D. G. EVPN in the Data Center. O'Reilly Media, 2018. 106 p.
10. Bolton W. Programmable Logic Controllers Seventh Edition. Oxford 2023. 303 p.
11. Evans, T. Humidification strategies for data centers and network rooms. 2008. V. 25. P. 57-66.
12. Rabiee M. Programmable Logic Controllers Hardware and Programming. Boca Raton 2024. 446 p.

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			75

13. Джеджула, В. В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2021. 71 р.
14. Siemens AG. LOGO! Soft Comfort. Technical Guide. Berlin : Siemens AG, 2023. 115 р.
15. Mo F. Ugarte M. Hellewell J. Rehman H. Illarramendi M. Chaplin J. Sanderson D. Ratchev S. PLC Orchestration Automation to Enhance Human–Machine Integration in Adaptive Manufacturing Systems. Journal of Manufacturing Systems 2023. V. 71. P. 172–187.
16. Сердюк О. О., Разживін О. В. Розподілені систем на базі ПЛК. Краматорськ: ДДМА, 2020. 210 с.
17. Teslyuk, V., Kazarian, A., Kryvinska, N., Tsmots, I., Teslyuk, T. Automated synthesis method of smart home systems based on the architectural pattern redux. CEUR Workshop Proceedings. 2019. V. 2533, P. 58–69.
18. Семенова О. О., Семенов А. О., Белов В. С. Системи рухомого зв'язку. Вінниця: ВНТУ, 2017. 185 с.
19. Körösi L. Kajan S. Overview of Implementation Principles of Artificial Intelligence Methods in Industrial Control Systems. Journal of Electrical Engineering 2025. V. 76. Iss. 1. P. 99–112.
20. A Guide to Data Center Automation. Special report. ZDNe. TechRepublic. San Francisco, CA: CBS Interactive Inc. 2018. 39 р.
21. Куцик А.С., Місюренко В.О. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 200 с.
22. Siemens AG SIEMENS LOGO! 8 series Basic Modules User Guide. Berlin: Siemens AG, 2023. 14 р.
23. Тимощук В.Д, Козуб М.В, Тимощук Д.І. Аналогові та цифрові системи: аналіз та практичне застосування. Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки: матеріали I Міжнародної наукової конференції, (Полтава, 23 червня 2023 р.), Вінниця: Європейська наукова платформа, 2023. С. 168–169.

24. Падій М. О., Богдан Г. А. Автоматизована система контролю мікроклімату серверної кімнати. XIX наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 20–21 грудня 2023 р., м. Київ, Україна. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 362–365.

25. Yao, L. Multi-Objective Optimization of Energy Saving Control for Air Conditioning System in Data Center. *Energies*. 2019. Vol. 12 (8). P. 1–16.

26. Brochard, L. *Energy-Efficient Computing And Data Centers* New York: ISTE/Wiley, 2019. 227 p.

27. Nehme C. *Data Centers HVAC DESIGN*. 2022. 37 p.

28. Alnuaimya A., Shushurab O., Zhyrov G. Impact of Noise Inside Server Room. *CEUR Workshop*. 2022. Iss. 3149. С. 9–16.

29. Савків, В. Б. Автоматизація виробничих процесів. Тернопіль: ТНТУ, 2018. 89 с.

30. Wotschke P. *Basics of Power Supply. Basics Electro Planning*, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2017. P. 11-18.

31. Паламар М.І., Пастернак Ю.В., Стрембіцький М.О. Методи і засоби спряження температурних сенсорів у мікропроцесорних вимірювальних комплексах. Тернопіль: ТНТУ, 2015. 73 с.

32. Жорняк Л. Б., Антонова М. В., Василевський В. В. Електричні апарати автоматики та керування. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. 414 с.

33. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Харків: ХНАМГ, 2006. 185 с.

34. Гриб О. М., Чугай А. В. Автоматизований моніторинг та оцінка якості атмосферного повітря. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 58 с.

35. Єремєєв І.С., Кисельов В.Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. Олді, 2022. ·324 с.

36. Humidity Sensor Types. URL: https://atlas-scientific.com/blog/humidity-sensor-types/?srsltid=AfmBOopipyOx_TGneTM-5YrM65Bt-ShCEq0N1HnAHihYcP7_3HXW3ezm (дата звернення: 05.04.2025).

					КВРАКІТ.021045.01.18 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			77

37. LOGO! Application examples. URL:
<https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/lohichnyy-modul-logo/logo-pryklady-zastosuvannya.html> (дата звернення: 12.05.2025).

38. Park B. R. Adaptive control algorithm with a retraining technique to predict the optimal amount of chilled water in a data center cooling system. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 50.

39. Моніторинг серверної кімнати і ЦОД. Рекомендовані стандарти. URL:
https://netping.com.ua/monitoring_servernoi_kimnaty_i_cod.html (дата звернення: 19.03.2025).

40. Моніторинг серверної кімнати. URL:
<https://klaster.ua/ua/resheniya/dispatcherizacija/byudzhetyy-variant/monitoringservernoy-komnaty/> (дата звернення: 19.03.2025).

41. Заєць Я. Б., Злотенко Б. М. Енергоефективна система керування мікрокліматом у приміщенні. Технології та дизайн. Мехатронні системи та комп'ютерні технології. 2017. № 1 (22). С. 1–6.

ДОДАТОК А

Параметри контролера Siemens LOGO! 8

Таблиця А.1 – Основні технічні параметри контролера Siemens LOGO! 8

Параметр	Характеристика LOGO! 8
Номінальна напруга живлення	24 В DC (LOGO! 24CE / 24RCE); 12–24 В DC (LOGO! 12/24RCE)
Пам'ять користувачької програми	400 функціональних блоків (понад 3000 контактів у логічній схемі)
Розширюваність	До 24 DI + 20 DO + 8 AI + 8 AO за допомогою зовнішніх модулів LOGO! 8
Комунікації	Вбудований порт Ethernet 10/100 Мбіт/с із підтримкою S7-TCP Modbus TCP веб-інтерфейсу.
Вбудований веб-сервер	Можна створювати користувачькі HTML-сторінки для віддаленого моніторингу та керування
Збереження даних	Слот microSD (до 32 ГБ) для резервних копій програми журналу даних і веб-сторінок
Реальний час	Інтегрований RTC із буферизацією ~20 днів (суперконденсатор) після знеструмлення; синхронізація по NTP через Ethernet
Дисплей та клавіатура	Графічний РК-дисплей 6 рядків × 16 символів із білим підсвічуванням та чотири навігаційні клавіші на передній панелі

ДОДАТОК Б

Параметри датчика вологості HS1101LF

Таблиця Б.1 – Основні технічні параметри датчика HS1101LF

Параметр	Номінальні значення
Робочий діапазон відносної вологості	0 ... 100 % RH
Номінальна ємність при 55 % RH	180 pF (177 ... 183 pF)
Чутливість у межах 33 ... 75 % RH	$\approx 0,31$ pF / %RH
Гістерезис	± 1 % RH
Температурний коефіцієнт при 55 % RH	$-0,01$ pF / °C
Довгострокова стабільність	$\pm 0,5$ % RH / рік
Часова стала відгуку (63 % сигналу, спокійне повітря)	3 ... 5 с
Робочий температурний діапазон	-60 ... $+140$ °C
Максимальна вимірювальна напруга	10 В АС (пікова)
Робочий діапазон вимірювальної частоти	5 кГц ... 300 кГц
Допустиме відхилення від типової кривої (10 ... 90 % RH)	± 2 % RH
Струм витоку при 5 В	≤ 1 нА

ДОДАТОК В

Програмний код імітаційної моделі

simulation.py

```
##
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# параметри моделі
P_srv = 600          # тепло від серверів, Вт
C_T   = 29000       # теплова ємність, Дж/°C
k_T   = 25          # втрати через стіни, Вт/°C
k_V   = 120         # ефект вентиляції, Вт/°C

k_RH  = 1/333       # втрата вологості, 1/с
k_H   = 0.008       # зволоження, 1/с

T_ext = 22          # зовн. температура
RH_ext = 25         # зовн. вологість
T0     = 22         # початкова t
RH0    = 30         # початкова RH

# час моделювання
dt     = 2          # крок, с
t_max = 3600       # загальний час, с
time   = np.arange(0, t_max+dt, dt)

# масиви
T = np.zeros_like(time)
RH = np.zeros_like(time)
u_fan = np.zeros_like(time, dtype=int)
u_hum = np.zeros_like(time, dtype=int)

T[0] = T0
RH[0] = RH0

# пороги керування
```

```

T_on, T_off    = 26, 24
RH_on, RH_off = 40, 45

# цикл моделювання
for k in range(len(time)-1):
    # логіка вентиляції
    if T[k] > T_on:
        u_fan[k] = 1
    elif T[k] < T_off:
        u_fan[k] = 0
    else:
        u_fan[k] = u_fan[k-1]

    # логіка зволоження
    if RH[k] < RH_on:
        u_hum[k] = 1
    elif RH[k] > RH_off:
        u_hum[k] = 0
    else:
        u_hum[k] = u_hum[k-1]

    # обчислення похідних
    dTdt = (P_srv - k_T*(T[k]-T_ext) - k_V*u_fan[k]*(T[k]-T_ext)) / C_T
    dRHdt = -k_RH*(RH[k]-RH_ext) + k_H*u_hum[k]

    # інтегрування
    T[k+1] = T[k] + dTdt*dt
    RH[k+1] = RH[k] + dRHdt*dt

# останні значення
u_fan[-1] = u_fan[-2]
u_hum[-1] = u_hum[-2]

# графік температури
plt.figure()
plt.plot(time/60, T)
plt.axhline(T_on, linestyle="--")
plt.axhline(T_off, linestyle="--")
plt.xlabel("час, хв")

```

```
plt.ylabel("температура, °C")
plt.title("температура в серверній")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

```
# графік вологості
plt.figure()
plt.plot(time/60, RH)
plt.axhline(RH_on, linestyle="--")
plt.axhline(RH_off, linestyle="--")
plt.xlabel("час, хв")
plt.ylabel("RH, %")
plt.title("вологість в серверній")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Слободенюк Богдан Дмитрович

Тема: Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки _____

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка автоматизованої системи підтримки мікроклімату серверного приміщення з використанням ПЛК Siemens LOGO! 8. Реалізовано логіку трирежимної роботи, обґрунтовано вибір апаратних засобів, виконано симуляцію функціонування системи та перевірку її реакції на зміну параметрів середовища.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано вимоги до мікроклімату та існуючі рішення. У другому – спроектовано систему на базі Siemens LOGO! 8 і розроблено алгоритм роботи. У третьому – реалізовано логіку в LOGO! Soft Comfort і проведено симуляційне тестування. Використано сучасні технічні засоби та актуальні підходи до автоматизації.

4. Позитивні сторони роботи: Практична спрямованість, чітка структура, актуальне технічне рішення.

5. Негативні сторони роботи: Незначна деталізація розділів тестування, відсутність фізичної реалізації.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,5/В)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Копустанов Марія Вікторівна, к.т.н., доцент
Каф. КІС ХНУ

"18" червня 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Слободенюк Богдан Дмитрович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курс, групи АКІТ-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

07.06

дата

СМ

підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Богдан СЛОБОДЕНЮК

Співавтор:

Назва: КВР Слободенюк плагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 0.2%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 7

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2025-06-15 18:23:42.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-15

Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 6%

ID: 245950 Title: БКР Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні Added in a DB: 2025-06-15 Authors: Богдан СЛОБОДЕНЮК Heads: Микола ФЕДУЛА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	76311	1224	1398 (2%)	20 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВаниХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система підтримки мікроклімату в серверному приміщенні

Автор: Слободенюк Богдан Дмитрович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

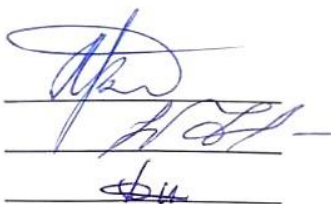
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,2% і адресується до 11 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Микола ФЕДУЛА