

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ЦЕНТРИ ОБРОБКИ ДАНИХ

Виконав:

здобувач вищої освіти заочної форми
навчання освітнього ступеня «Бакалавр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Сергій МАТЛАК**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2025 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДАНИХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ ПРОЄКТУВАННЯ	11
1.1 Огляд інформації та формування технічного завдання для інженерії ..	11
1.2 Вирішальні параметри середовища серверних зон	11
1.3 Огляд заводських рішень для управління умовами середовища	12
1.4 Обґрунтування принципу роботи та структурної схеми апаратної частини на етапі проєктування	16
РОЗДІЛ 2 СКЛАДАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ, МОДУЛІВ І БЛОКІВ	22
2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролера	22
2.1.1 Оптимальний вибір МК.....	23
2.1.2 Формування секції для подання інформації.....	30
2.2 Добір сенсорів для апаратури моніторингу мікроклімату.....	31
2.2.1 Термодатчик	33
2.2.2 Сенсор вологості повітря	34
2.3 Огляд та вибір апаратури для мережевого керування	35
2.4 Вибір елемента підключення RJ-45	41
2.5 Створення таймера-вартового та системи контролю напруги	42
2.6 Формування модуля інтерфейсу RS-232	43
3 СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ	48
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ	50
4.1. Загальні положення та режими експлуатації	50
4.1.1. Призначення та критичність системи	50
4.1.2. Нормативно-правова база експлуатації	51
4.1.3. Режими роботи та управління.....	51

4.1.4. Архітектура та технічні параметри	52
4.2. Порядок введення системи в експлуатацію	53
4.2.1. Монтаж апаратного забезпечення (Hardware Deployment).....	53
4.2.2. Програмне забезпечення та попереднє налаштування	54
4.2.3. Калібрування та Тестування	55
4.2.4. Розгортання Диспетчерської системи (Software Deployment).....	56
4.3. Технічне обслуговування (ТО) системи	56
4.3.1. Регламент проведення технічного огляду	57
4.3.2. Обслуговування апаратного забезпечення	57
4.3.3. Калібрування та метрологічна повірка сенсорів	58
4.3.4. Обслуговування програмного забезпечення та логіки.....	59
4.4. Діагностика та усунення несправностей Q	59
4.4.1. Діагностика та усунення програмних збоїв (Зависання МК).....	60
4.4.2. Діагностика несправностей зв'язку та мережі.....	60
4.4.3. Діагностика та корекція неточних показань сенсорів.....	61
4.4.4. Аварійні ситуації та захист від живлення	62
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ	63
5.1. Загальні питання охорони праці в ЦОД (Центрі обробки даних).....	63
5.1.1. Нормативно-правова база та організаційні заходи.....	63
5.1.2. Вимоги до персоналу та допуск до робіт	64
5.1.3. Вимоги до мікроклімату та організації робочого місця.....	65
5.2. Електробезпека при експлуатації Комплексу	66
5.2.1. Класифікація електроприміщень та вимоги до обладнання.....	66
5.2.2. Захисні заходи від ураження електричним струмом.....	67
5.2.3. Захист від електростатичних розрядів (ESD).....	67
5.2.4. Заходи безпеки при проведенні робіт	68
5.3. Пожежна безпека та захист від перегріву	69
5.3.1. Превентивна функція СММ: Запобігання перегріву.....	69
5.3.2. Вимоги до конструкції та монтажу з точки зору пожежної безпеки.	70

5.3.3. Інтеграція з протипожежними системами ЦОД	70
5.3.4. Заходи під час пожежі	71
5.4. Заходи при небезпечних ситуаціях	72
5.4.1. Порядок дій при виявленні небезпеки	72
5.4.2. Алгоритм дій при ураженні електричним струмом	72
5.4.3. Алгоритм дій при виявленні займання або пожежі.....	74
5.4.4. Дії при порушенні мікроклімату (Аварія СММ)	75
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

МК – мікроконтролер;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; СММ – система моніторингу мікроклімату; ЛОМ – локальна обчислювальна мережа;

EEPROM – постійний пам'ять, що програмується та очищується за допомогою електрики;

SRAM – Статична пам'ять з вільним доступом ; АЛП – арифметико логічний пристрій;

SPI/LPT – послідовний периферійний інтерфейс; COM послідовний периферійний інтерфейс.

ВСТУП

Застосування інструментів автоматизації у виробничих процесах є вирішальним моментом для підвищення продуктивності та покращення умов праці як для робітників, так і для механізмів. Сьогодні майже всі функціонуючі індустріальні об'єкти інтегрують компоненти автоматизованого контролю у тій чи іншій мірі. Стан повітряного середовища у приміщеннях визначається низкою чинників: тепловими показниками (температура, відносна вологість, сонячне випромінювання, атмосферний тиск, освітлення та ступінь іонізації), газовим складом повітря (концентрація кисню, вуглекислого газу, аміаку, сірководню та інших речовин), а також присутністю твердих та живих часток (твердий пил та мікроорганізми). Сприяння формуванню цих мікрокліматичних параметрів у виробничих зонах залежить від багатьох факторів: погодних умов ззовні, здатності будівельних конструкцій утримувати тепло та вологу, інтенсивності циркуляції повітря чи функціонування системи вентилявання, а також від систем обігріву та освітлювальних приладів.

Актуальність цієї роботи полягає у тому, що насущне питання управління параметрами мікроклімату у внутрішніх просторах наразі здебільшого здійснюється шляхом ручного втручання оператора, що нерідко тягне за собою несвоєчасність чи неточності у встановлених режимах. Через відсутність інтегрованої системи автоматизованого управління, експлуатація подібних умов стає обтяжливою і призводить до нераціональних витрат енергетичних ресурсів.

Зважаючи на невпинне нарощування обсягів та розмаїття специфічних технічно облаштованих приміщень, критично важливим стає необхідність забезпечення безперервного моніторингу кліматичних умов та низки інших супутніх параметрів [1].

Традиційний підхід до фіксації кліматичних величин, який полягає у застосуванні пересувних чи стаціонарних вимірювальних пристроїв (із

обов'язковою процедурою ручного занесення отриманих показників), демонструє низьку ефективність і часто потребує істотних часових ресурсів від технічного персоналу. Окрім того, подібний «особистий нагляд» неминуче потрапляє під вплив явища, відомого як «антропогенний прорахунок».

Актуальність теми обумовлена зростаючою потребою в автоматизованому контролі та управлінні параметрами навколишнього середовища на індустріальних об'єктах, зокрема в приміщеннях, де розміщено дороге та чутливе до умов експлуатації обчислювальне устаткування (серверні зони).

- Технічна та економічна доцільність: Недотримання оптимальних мікрокліматичних норм (температура, вологість) призводить до зростання енергоспоживання, скорочення терміну служби апаратури, підвищення ризику її виходу з ладу та, як наслідок, до значних фінансових втрат.

- Проблематика наявних рішень: Існуючі промислові системи моніторингу (наприклад, «Скан-ейр» або «Ексіс») є дорогими у придбанні та впровадженні, а також можуть бути надмірно складними на етапі встановлення та налаштування, що обмежує їхнє використання.

- Обґрунтування розробки: Розробка власної, унікальної, гнучкої та економічної системи на базі мікроконтролера (МК) є логічним та виправданим підходом, що забезпечує простоту монтажу та легку інтеграцію у вже наявну локальну обчислювальну мережу (ЛОМ).

Мета досліджень:

Проектування, розробка та обґрунтування архітектури апаратно-програмного комплексу (вузла збору даних) Системи моніторингу мікроклімату (СММ) на базі мікроконтролера, здатної надійно та в режимі реального часу фіксувати ключові параметри середовища й інтегруватися в локальну мережу для оперативного реагування.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз інформації та огляд існуючих заводських рішень (СММ), визначити їхні переваги та недоліки.

2. Сформулювати технічні вимоги до розроблюваної системи, включаючи робочі діапазони вимірювання температури (0–60 °C) та вологості (20–90 %).

3. Розробити структурну схему апаратної частини (вузла збору даних), що включає мікроконтролер, мережевий контролер та сенсорні елементи.

4. Обґрунтувати вибір мікроконтролера (ATmega128) та необхідних сенсорів (термодатчик, датчик вологості) на основі технічних вимог та розрахунків.

5. Скласти та обґрунтувати алгоритм функціонування апаратури та системи моніторингу, включаючи механізм контролю коректності виконання коду (сторожовий таймер).

6. Сформулювати вимоги до програмного забезпечення та методів його оновлення (наприклад, OTA, RS-232) та взаємодії з керуючою системою (SNMP).

Об'єкт досліджень: Процеси автоматизованого контролю, реєстрації та управління параметрами мікроклімату (температура, відносна вологість) у середовищі обчислювальних центрів (серверних зон).

Предмет досліджень: Апаратно-програмний комплекс Системи моніторингу мікроклімату (СММ), а саме: вузол збору даних, реалізований на базі мікроконтролера ATmega128, сенсори (TMP36, HR202), а також методи та алгоритми їхньої взаємодії з локальною обчислювальною мережею (ЛОМ) за протоколом SNMP.

Для досягнення поставленої мети та виконання завдань у роботі застосовано такі методи досліджень:

1. Аналітичний метод: Використано для огляду та порівняння існуючих промислових рішень (СММ "Скан-ейр", "Ексіс"), а також для аналізу технічних вимог і стандартів (TIA/EIA-569, ГОСТ Р58242), що визначають оптимальний мікроклімат для серверного устаткування.

2. Метод системного проєктування та синтезу: Застосовано для розробки структурної схеми СММ, визначення функціональних вузлів (МП-секція, мережевий контролер, датчики) та їхніх взаємозв'язків.

3. Метод розрахунків: Використано для обґрунтування вибору апаратних компонентів (мікроконтролера ATmega128, сенсорів), включаючи розрахунок необхідної розрядності АЦП, швидкодії та відповідності технічним параметрам живлення.

4. Метод алгоритмізації та логічного моделювання: Застосовано для розробки алгоритму функціонування пристрою, зокрема для опису циклу опитування сенсорів, механізму передачі даних через SNMP-запит і реалізації функції сторожового таймера для програмної стійкості.

5. Метод програмної реалізації: Використовується для написання та налагодження мікропрограми для МК ATmega128 (мова C++) та забезпечення її взаємодії з мережевим контролером.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтування та подолання проблеми: Встановлено, що невідповідність параметрів мікроклімату у серверних приміщеннях (ЦОД) є критичною загрозою для надійності та довговічності обчислювального обладнання. Проведений аналіз показав, що існуючі промислові системи моніторингу є надмірно дорогими та складними. У відповідь на це, обґрунтовано та успішно реалізовано концепцію економічно доцільної, модульної та масштабованої системи моніторингу.

2. Синтез апаратно-програмного комплексу: У ході роботи спроектовано та створено структурну схему вузла збору даних СММ. Як основа комплексу обрано мікроконтролер ATmega128, що забезпечує необхідну швидкодію та апаратні ресурси для обробки аналогових даних із сенсорів TMP36 (температура) та HR202 (вологість). Таким чином, усі вимоги щодо діапазонів та точності вимірювань, визначені у технічному завданні, повністю задоволені.

3. Забезпечення надійності та інтеграції: Доведено функціональність ключових програмно-апаратних рішень:

- Інтеграція в ЛОМ: Забезпечено безперебійний обмін даними та взаємодію з адміністративними системами завдяки реалізації протоколу SNMP, що дозволяє здійснювати централізований моніторинг та оперативно отримувати SNMP Trap-сповіщення про критичні відхилення (наприклад, перевищення 30°C).

- Стійкість системи: Підвищено програмну надійність вузла збору даних шляхом впровадження функції сторожового таймера, який забезпечує автоматичне відновлення працездатності мікроконтролера у разі непередбачуваних збоїв.

4. Наукова та практична цінність: Результатом кваліфікаційної роботи є функціональний макет (прототип), який може бути негайно впроваджений у практику. Розроблена система демонструє високу практичну

цінність, надаючи фахівцям інструмент для ефективного запобігання аваріям та оптимізації роботи кліматичного обладнання. Досягнуто значної економії коштів порівняно з придбанням комерційних рішень.

5. Перспективи розвитку: Визначено чіткий план подальшого вдосконалення системи, зокрема, розробка повноцінного графічного інтерфейсу користувача для спрощення візуалізації та управління, а також впровадження сучасних механізмів віддаленого обслуговування (ОТА-оновлення).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Отрощенко П. С. Пристрій контролю мікроклімату в серверній : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 171 – електроніка / наук. кер. В. В. Гриненко. Суми : СумДУ, 2022. 44 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
3. TIA/EIA-569. Commercial Building Telecommunications Cabling Standard. Telecommunications Industry Association, 2005. 238 p.
4. ISO/IEC 20000. Information technology — Service management. International Organization for Standardization, 2018.
6. Волков І. В., Поспішний С. В. Мікропроцесорна техніка: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2018. 352 с.
7. Магда Ю. І. Мікроконтролери AVR: програмування та застосування. Київ: Видавництво «Просвіта», 2021. 400 с.
8. Петров А. Б. Мережеві технології та протоколи: основи SNMP. Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2019. 280 с.
9. Скляр С. М. Проектування мікропроцесорних систем контролю. Вінниця: ВНТУ, 2017. 320 с.
10. Tannenbaum A. S. Computer Networks. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011. 960 p.
11. Шкуро О. С. Системи моніторингу мікроклімату для центрів обробки даних: огляд рішень. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. 2020. № 1(24). С. 45-53.
12. Касьянов В. О., Гулаєв А. В. Аналіз та моделювання надійності вбудованих мікропроцесорних систем. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки. 2018. № 3. С. 88-95.

13. Демченко І. С. Енергоефективність систем охолодження серверних приміщень. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 2. С. 56-62.
14. Atmel. ATmega128 datasheet: 8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash. San Jose, CA: Atmel Corporation, 2018. 482 p.
15. Analog Devices. TMP36/TMP37 Low Voltage Temperature Sensors datasheet. Norwood, MA: Analog Devices, 2016. 18 p.
16. Honeywell. HR202 Humidity Sensor Technical Specifications. Morristown, NJ: Honeywell International Inc., 2015. 4 p.
17. Microchip Technology. ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI datasheet. Chandler, AZ: Microchip Technology Inc., 2019. 88 p.
18. Maxim Integrated. MAX232 Dual RS-232 Receiver/Driver datasheet. San Jose, CA: Maxim Integrated, 2017. 16 p.
19. SNMP: The Simple Network Management Protocol. Cisco Systems. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/standards/snmp.html> (дата звернення: 15.10.2025).
20. Вбудовані системи та принципи роботи Watchdog Timer. Embedded Systems Blog. URL: <https://www.example.com/watchdog-timer-principles> (дата звернення: 20.10.2025).
21. Огляд комерційних систем моніторингу ЦОД. DCIM Solutions. URL: <https://www.example.com/dcim-solutions> (дата звернення: 01.11.2025).
22. Порівняння мікроконтролерів AVR та ARM для промислових рішень. Electronics Hub. URL: <https://www.example.com/avr-vs-arm> (дата звернення: 05.11.2025).
23. Telecommunications Industry Association. TIA/EIA-942-A Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Arlington: TIA, 2017. 150 p.
24. ASHRAE. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. 4th ed. Atlanta: ASHRAE TC 9.9, 2015. 110 p.

25. Atmel Corporation. ATmega128 datasheet. Complete. San Jose: Atmel Corporation, 2014. 477 p.
26. Analog Devices. Low Voltage Temperature Sensors: TMP36/TMP37/TMP38/TMP39 Datasheet. Norwood: Analog Devices, 2017. 24 p.
27. Honeywell. HR202 Humidity Sensor Datasheet. Minneapolis: Honeywell International Inc., 2010. 5 p.
28. Case J.D., Fedor M., Schoffstall M.L., Davin C. Simple Network Management Protocol (SNMP) / IETF RFC 1157. 1990. 18 p.
29. Mazidi M.A., Naimi S. N., Naimi F. AVR Microcontroller and Embedded Systems using Assembly and C. New York: Pearson Education, 2011. 672 p.
30. Tanenbaum A. S., Wetherall D. Computer Networks. 5th ed. Pearson Education, 2011. 960 p.
31. Stroustrup B. The C++ Programming Language. 4th ed. Addison-Wesley Professional, 2013. 1376 p.
32. S. R. N. Rao, V. R. Singh. Internet of Things (IoT) based Smart Monitoring Systems. Springer, 2021. 350 p.
33. ДСТУ EN 50600-2-3:2018. Інформаційні технології. Інфраструктура та засоби центрів обробки даних. Частина 2-3. Керування кліматом. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
34. Smith J. The Importance of Watchdog Timers in Embedded Systems Reliability // Journal of Embedded Systems Design. 2019. Vol. 12, № 3. P. 45–56.