

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Леонт'єв П.В.

_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: «Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних»
(Дипломний проект)

Керівник проекту:
зав. кафедри КСУ, к.т.н.

Леонт'єв П.В.

Дипломник:
студент групи СУ-81

Фролов Я.В.

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1			Завдання кафедри	1		
			<u>Новорозроблена</u>			
2		ТЗ	Технічне завдання	2		
3			Реферат	1		
4	A4	СУ-81 6.151.23 ПЗ	Пояснювальна записка	94		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A3	СУ-81 6.151.23 А1	Система автоматизованого керування станції рекуперації етилацетату. Функціональна схема автоматизації	1		
6	A3	СУ-81 6.151.23 ПЕ	Система автоматизованого керування станції рекуперації етилацетату. Перелік елементів	1		

					СУ-81 6.151.23.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Фролов Я.В.			Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних. Відомість проекту	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Леонтьєв П.В.					2	94
Реценз.						СумДУ, СУ-81		
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьєв П.В.						

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Леонт'єв П.В.

_____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту
Фролову Ярославу Вадимовичу

1. Тема проекту: Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних. Затверджено наказом ректора університету. №0360-VI від “17” травня 2022р.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту “31” травня 2022 р.
3. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація, електронні ресурси.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд предметної області, система керування кліматом в центрі обробки даних, вибір засобів автоматизації, SCADA-система.
5. Перелік графічних матеріалів: 81 рисуноків, 9 таблиць, 1 додаток.
6. Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	28.02.2022
2	Аналітичний огляд предметної області.	16.03.2022
3	Система керування кліматом у центрі обробки даних	01.04.2022
4	Розробка основних схем автоматизації.	25.04.2022
5	Розробка алгоритмів управління кліматозабезпеченням	25.05.2022
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	30.05.2022

7. Дата видачі завдання “20” грудень 2022р.

Керівник проекту:
зав. кафедри КСУ, к.т.н.

Леонт'єв П.В.

До виконання прийняв:
студент групи СУ-81

Фролов Я.В.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизації кліматозабезпечення в центрі обробки даних

Розробник:
студент групи СУ-81

Фролов Я.В.

Погоджено:
зав. кафедри КСУ, к.т.н.

Леонт'єв П.В.

1. Назва і галузь застосування: Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних. Учбові, наукові, та промислові заклади, для збору та обробки інформації.

2. Підстави для проектування: Наказ ректора Сумського державного університету № 0360-VI від 17.05.2022;

3. Мета і призначення проекту: Проаналізувати існуючі системи, розробити функціональні схеми автоматизації; Створити SCADA-систему для автоматичного керування.

4. Джерела розроблення: конструкторська та технічна документація отримана під час проходження переддипломної практики.

5. Режим роботи об'єкта: режим роботи за графіком, з щоденними технічними роботами та регулярним плановим технічним обслуговуванням.

6. Умови експлуатації СК: живлення ПЛК – 24В; живлення персонального комп'ютера – 220В; 50Гц;. Ступінь захисту складових частин обладнання автоматизації – не нижче IP 20.

7. Технічні вимоги: ДСТУ 21.404 – 85 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

8. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	28.02.2022
2	Аналітичний огляд предметної області.	16.03.2022
3	Система керування кліматом у центрі обробки даних	01.04.2022
4	Розробка основних схем автоматизації.	25.04.2022
5	Розробка алгоритмів управління кліматозабезпеченням	25.05.2022
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	30.05.2022

9. Додатки: Додаток А – Функціональна схема автоматизації.

РЕФЕРАТ

Фролов Ярослав Вадимович. Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних. Дипломний проект. Сумський державний університет. Суми, 2022 р.

Дипломний проект містить 94 аркуша пояснювальної записки, 82 рисунків, 9 таблиць, 1 додаток. При виконанні дипломного проекту було використано 59 літературних джерел.

Даний дипломний проект спрямований на створення і опис системи управління кліматом у центрах обробки даних. Розроблено технічне завдання. Розроблено основні технічні креслення та алгоритми роботи. В ході проекту була розроблена SCADA-система, яка призначена для використання учбових, наукових та промислових закладах.

Ключові слова: система керування, клімат, центр обробки даних, автоматизація.

ABSTRACT

Frolov Yaroslav Vadimovich. The climate automation in the data center. Diploma project. Sumy State University. Sumy, 2022.

Graduation project to include 94 pages of explanatory notes, 82 figures, 9 tables, 1 appendices. 59 literary sources were used in the implementation of the diploma project.

This diploma project is aimed at creating and describing The technical task is developed. The basic technical drawings and algorithms of work are developed. During the project, the climate automation in the data center was developed. In the course of the project, the SCADA-system was developed up, as it is created for academic, scientific and industrial foundations.

Key words: control system, climate, data center, automation.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту
Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних

Керівник проекту:
зав. кафедри КСУ, к.т.н.

Леонт'єв П.В.

Виконав:
студент групи СУ-81

Фролов Я.В.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ СХЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЦЕНТРАХ ОБРОБКИ ДАНИХ.....	6
1.1 Опис досліджуваного об'єкту. Визначення мікрокліматичних параметрів, що потребують автоматичного регулювання.....	6
1.2 Методи та схеми регулювання мікрокліматичних параметрів в центрах оброки даних..	12
1.3 Аналітичний огляд впроваджених технічних рішень з кліматозабезпечення в центрах обробки даних. Виявлення закономірностей	21
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЦЕНТРІ ОБРОБКИ ДАНИХ	28
2.1 Аналіз інформаційно-матеріальних потоків з формуванням відповідної структурно- логістичної схеми.....	28
2.2 Визначення засобів автоматизації	31
2.3 Розробка контурів контролю та керування	47
2.4. Розробка виконавчих схем проектної системи автоматизації	53
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ЦЕНТРІ ОБРОБКИ ДАНИХ	62
3.1 Формування алгоритму функціонування системи автоматизації	62
3.2 Програмні засоби реалізації функціонування проектної системи автоматизації	66
3.3 SCADA система контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в центрі обробки даних.....	70
4 РОЗРОБКА РІШЕНЬ З МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЕКТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ЦЕНТРІ ОБРОБКИ ДАНИХ	79
4.1 Аналітичний огляд можливості модернізації проектної системи	79
4.2 Застосування ПД–закону регулювання	82
4.3 Оцінка ефективності рішень з модернізації	83
ВИСНОВОК.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

					СУ-81 6.151.23.ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Фролов Я.В.</i>			<i>Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьев П.В.</i>				2	94	
<i>Реценз.</i>						СумДУ, СУ-81		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Леонтьев П.В.</i>						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

ЦП – центральний процесор;

МП/МК – мікропроцесор / мікропроцесорний контролер;

ЦОД – центр обробки даних;

PUE – Power Usage Effectiveness.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Автоматизація кліматозабезпечення в центрі обробки даних.

Актуальність дослідження базується на сучасних тенденціях розвитку, цифровізації та всеохоплюючого глибокого проникнення цифрових технологій у всі сфери життєдіяльності сучасної людини. Будь-яка сфера діяльності люди в певній мірі використовують цифровий інструментарій та цифрові мережі, а деякі галузі взагалі мають в своїй основі стандарти застосування цифрових засобів, без яких не виявляється можливим нормального функціонування зазначених царин. Поряд зі значним розвитком і прогресом для цифрової сфери також генеруються і цифрові загрози, що, внаслідок значної залежності та глибокої інтеграції кібернетичних систем в нормальні функції різних галузей та рядових інженерних систем супроводу життєзабезпечення, являють собою значний виклик цивілізаційному розвитку та потребують формування та розвитку адекватних системно-безпекових рішень у вигляді відповідних програмних, моніторингових, мережевих засобів.

Центри обробки даних (ЦОБ) – базові інфраструктурні складові елементи цифрової мережі, що формують безпосередньо опорні пункти та бази даних, які виконують функції зі зберігання та обробки інформації, цифрової комунікації та комутації, забезпечення захисту та безпеки даних та складових інформаційно-цифрової системи.

Питання забезпечення цифрової та кібернетичної безпеки останніми роками є вкрай актуальним для України, що підтверджується відповідними законодавчими ініціативами, такими як Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII [1], Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII [2], Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX [3], Закон України від 16.12.2020 № 1089-IX [4] та іншими нормативно-регуляторними документами, що визначають механізми реалізації загальнодержавної Стратегії кібербезпеки України [5].

Поруч з безпековими аспектами на державному рівні також зафіксовані прагнення України до цифрового розвитку, цифрової трансформації та всебічної і всеохоплюючої цифровізації з залученням сучасних прогресивних та інноваційних методів і засобів кібер-цифрового інструментарію та кібер-цифрових мереж, що зафіксовано у відповідних державних стратегічних документах (Стратегії [6, 7]). Зазначенні вектори всебічного цифрового розвитку (безпекові, цифровізаційні, інноваційні) держави співпадають з цивілізаційним вектором розвитку загальної парадигми «розумного» середовища. Зокрема, дослідження [8] формує загальний вектор розвитку «розумних» технологій починаючи з 2000-х рр. від базового поняття «розумний» дім до «розумне» місто Варто зазначити, що Україна в цьому векторі розвитку має відповідні успіхи, а саме на державному рівні введені в дію складові частини концепції

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«розумного» міста: найбільш вживані – за категорією «smart» government – сервіс та додаток «Дія» та категорією «smart» healthcare – сервіс та додаток «Helsi», а також багато інших урядових доробків, що перебувають на етапі тестування та поступового впровадження.

Функціонування та розвиток «розумних» технологій та базових цифрових мереж і обладнання неможливе без центрів обробки даних, відтак визначений вектор дослідження та розробки проектних рішень є актуальним та доцільним.

Об'єкт дослідження – центри обробки даних як комплексні об'єкти цифрової інфраструктури, кібер-фізичної безпеки, кібер-цифрового розвитку.

Предмет дослідження – система автоматичного контролю мікрокліматичних параметрів внутрішнього середовища ЦОБ, що безпосередньо впливає на ефективність та безпеку функціонування останнього.

Мета дослідження – розробка рішень з автоматизації забезпечення заданих режимів функціонування системи кліматозабезпечення ЦОБ.

Задачі дослідження:

– аналіз схем забезпечення мікрокліматичних параметрів в центрах обробки даних: опис досліджуваного об'єкту; визначення мікрокліматичних параметрів, що потребують автоматичного регулювання; методи та схеми регулювання мікрокліматичних параметрів в центрах обробки даних; аналітичний огляд впроваджених технічних рішень з кліматозабезпечення в центрах обробки даних. Виявлення закономірностей

– система автоматизації кліматозабезпечення в центрі обробки даних: аналіз інформаційно-матеріальних потоків з формуванням відповідної структурно-логістичної схеми; визначення засобів автоматизації; розробка контурів контролю та керування; розробка виконавчих схем проектної системи автоматизації;

– розробка програмного забезпечення для системи автоматичного керування параметрами мікроклімату в центрі обробки даних: формування алгоритму функціонування системи автоматизації; програмні засоби реалізації функціонування проектної системи автоматизації; SCADA система контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в центрі обробки даних;

– розробка рішень з модернізації проектної системи автоматичного керування параметрами мікроклімату в центрі обробки даних: аналітичний огляд модернізації аналогічних схем; застосування ПІД-регулятора; оцінка ефективності рішень з модернізації.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СХЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЦЕНТРАХ ОБРОБКИ ДАНИХ

1.1 Опис досліджуваного об'єкту. Визначення мікрокліматичних параметрів, що потребують автоматичного регулювання

Аналіз профільних публікацій та наукових праць [9 – 17] дозволяє стверджувати, що центри обробки даних (ЦОД, або data-центри) – це комплексна система управління, зберігання та обробки даних, що базується на обчислювальних потужностях характерних складових: blade-серверів, rack-серверів, систем зберігання даних, систем резервного копіювання та відновлення даних, системи диспетчеризації, контролю та управління доступом, брандмауєру, мережно-комутаційних та телекомунікаційних пристроїв та власне мереж, систем енергозабезпечення, систем клімат-контролю, безпекових систем (система пожежної сигналізації і автоматизації, система відеонагляду, інш.), інших систем інженерного супроводу – рис. 1.1, 1.2.

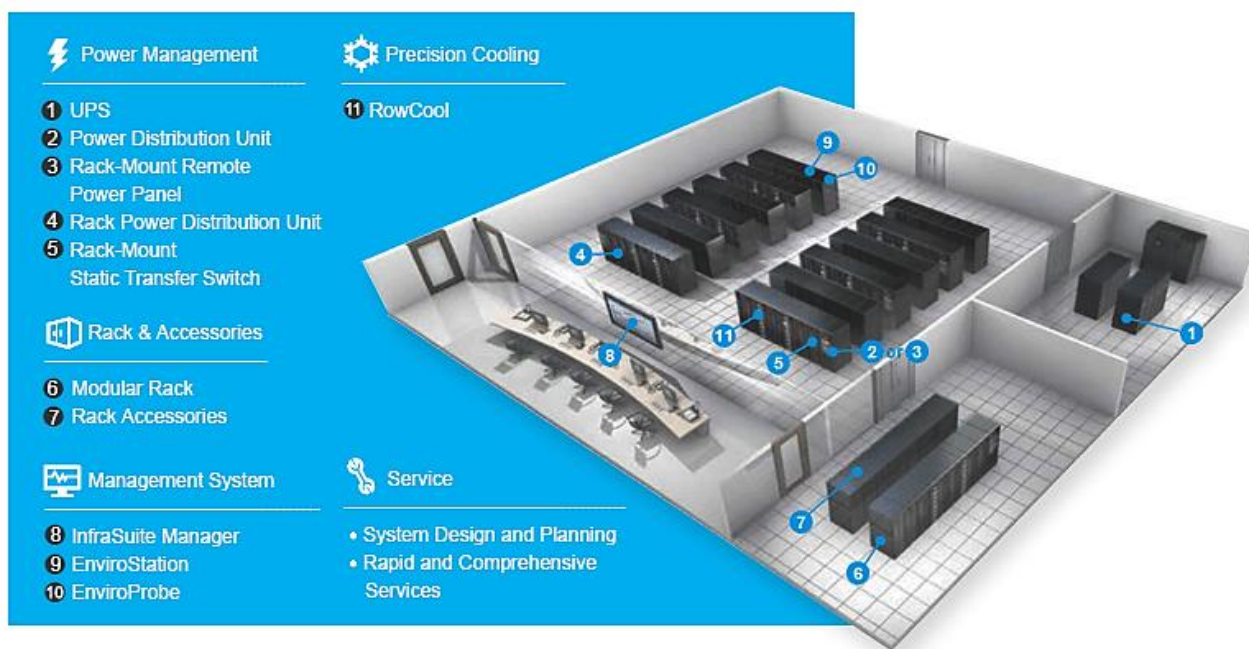


Рисунок 1.1 – Складові частини ЦОД

ЦОД є базовим елементом мережної інфраструктури та забезпечує обмін потоками даних між окремими користувачами та системами, організовуючи при цьому повний безпековий та інформаційний супровід, що проілюстровано на рис. 1.2 [9 – 17].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

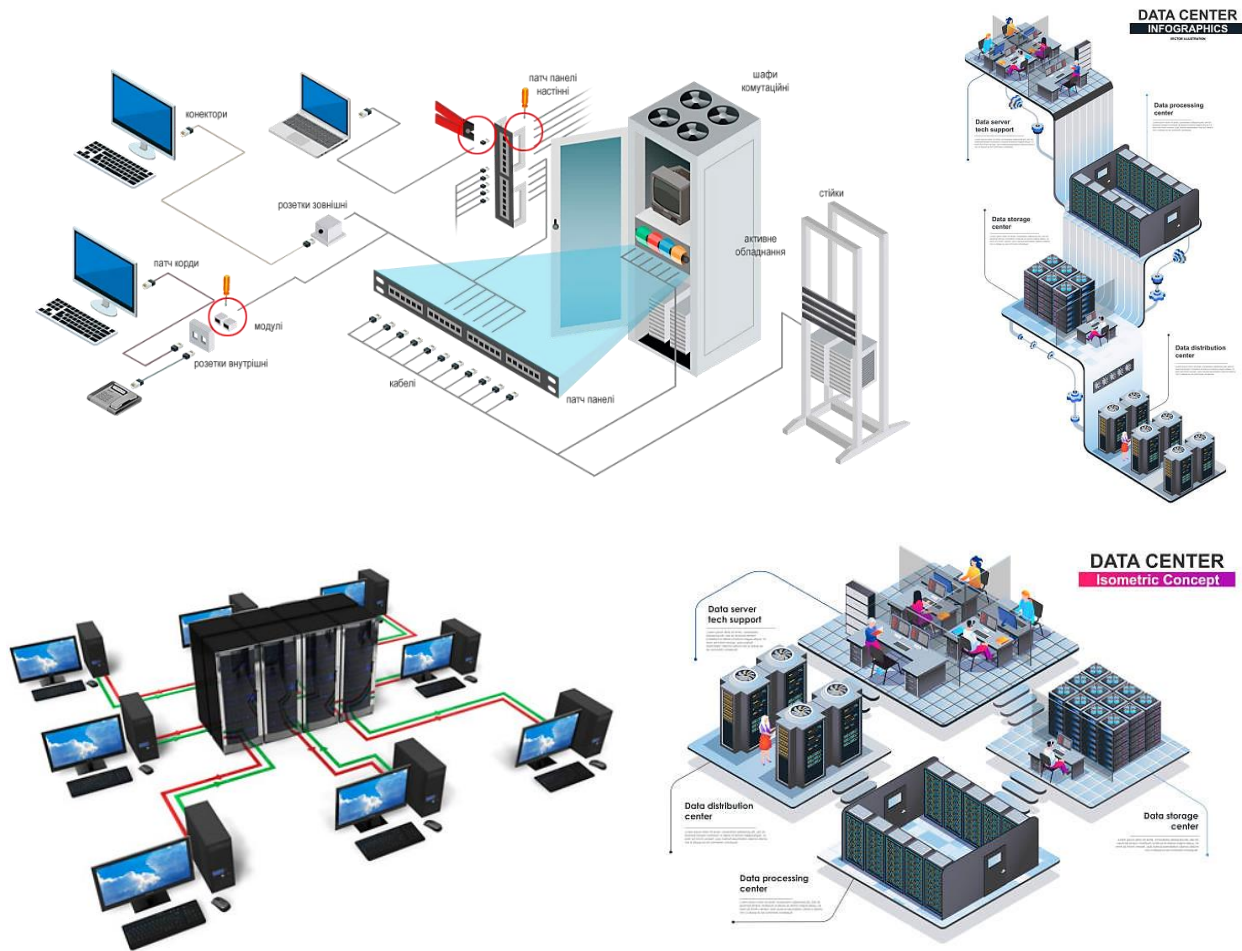


Рисунок 1.2 – Концепт-схема виконання функціонального призначення обладнання та мереж ЦОД

Як виходить з рис. 1.2 прилади та мережі інженерного супроводу прямого функціонування ЦОД мають велике значення, що в фінальному результаті впливає на питання цифрової безпеки, оскільки порушення в роботі зазначених мереж призводить до загрози втрати (викрадення) конфіденційної інформації або впливу (внаслідок захоплення контролю) на інші кібер-фізичні системи «розумного» середовища – рис. 1.3 [9 – 17].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

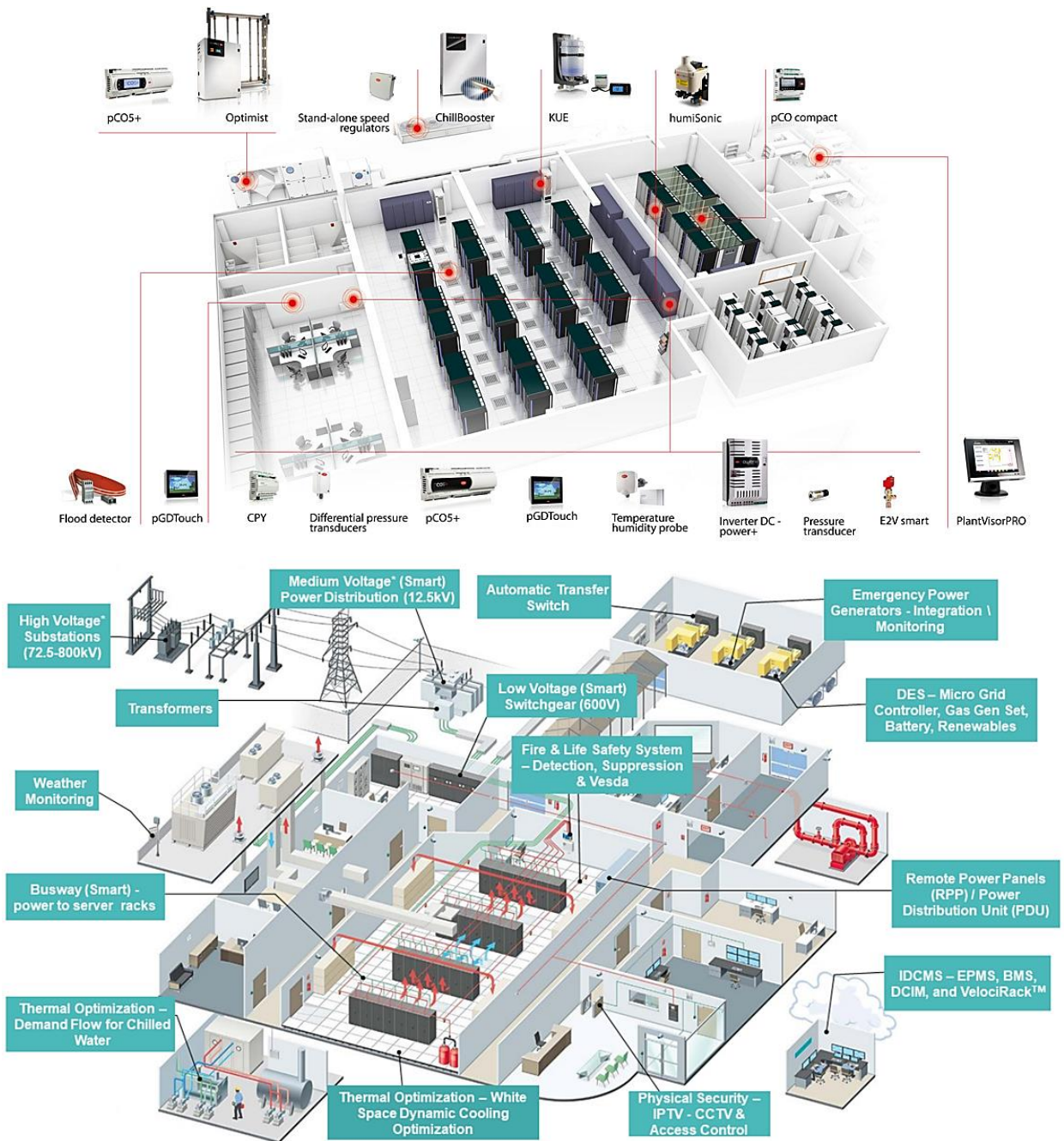


Рисунок 1.3 – Концепт-схема обладнання, мереж і засобів контролю функціонування елементів інженерного супроводу ЦОД

Однією з найважливіших систем інженерного супроводу data-центрів є система кліматозабезпечення, від функціонування якої залежить продуктивність та енергоефективність виконання безпосередніх функцій серверного обладнання, відповідні дослідження проілюстровано на рис. 1.4 [9 – 17].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

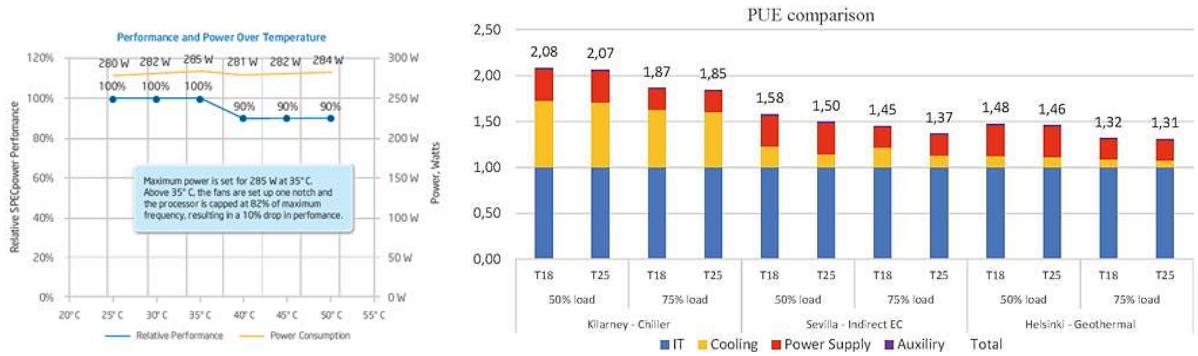


Рисунок 1.4 – Дослідження впливу температурно-вологісного режиму на потужність серверного обладнання ЦОД

На рис. 1.4 оцінка впливу температурного режиму внутрішнього повітря на потужність та ефективність функціонування серверного обладнання здійснюється за показником PUE (*Power Usage Effectiveness*), що визначається за ф. (1.1) [9 – 17]:

$$PUE(\text{Power Usage Effectiveness}) = \frac{TFP(\text{Total Facility Power})}{ITEP(\text{IT Equipment Power})} \Rightarrow \quad (1.1)$$

$$\Rightarrow 1 \leq PUE;$$

де TFP (*Total Facility Power*) – загальна споживана потужність ЦОД;

$ITEP$ (*IT Equipment Power*) – потужність, що споживається серверним обладнанням (ІТ–обладнанням).

Відповідно до результатів досліджень, що проілюстровані на рис. 1.4 встановлено, що зі збільшенням температурного режиму внутрішньооб’ємного повітряного простору data-центру відбувається збільшення чисельнику ф. (1.1) TFP (*Total Facility Power*), що необхідно для забезпечення нормативного функціонування серверного обладнання (відповідно до температурно-експлуатаційних обмежень, що встановлюються технічними особливостями зазначеного ІТ–обладнання), внаслідок чого відбувається планомірне зниження показника PUE (*Power Usage Effectiveness*). Оптимальні значення показника PUE (*Power Usage Effectiveness*) встановлюються за концепцією, проілюстрованою на рис. 1.5 [9 – 17].

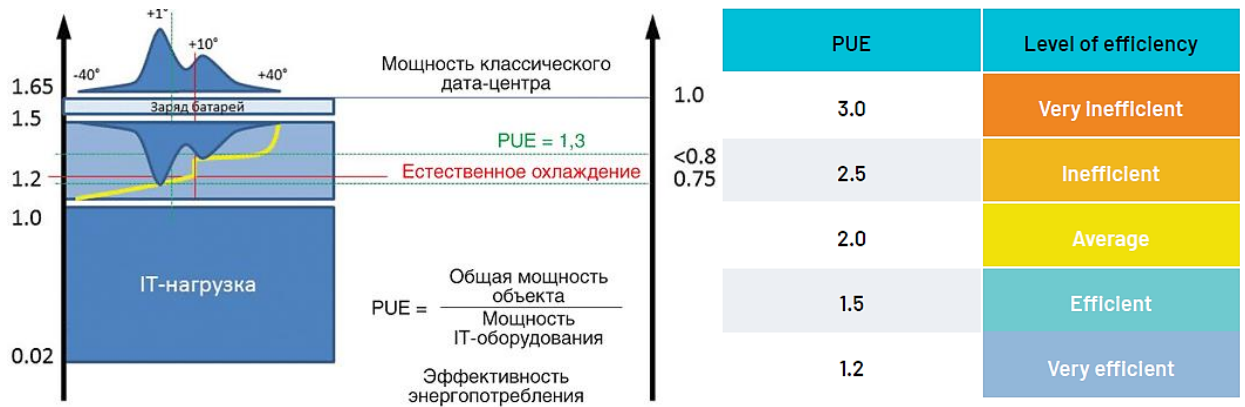


Рисунок 1.5 – Концепція визначення оптимального значення PUE (Power Usage Effectiveness)

Однак, досягнути зазначений оптимальний показник PUE (Power Usage Effectiveness) не вдається досягнути (рис. 1.6). Відтак, виникає актуальна необхідність в удосконаленні системи кліматозабезпечення ЦОД, зокрема методами автоматизації [9 – 17].

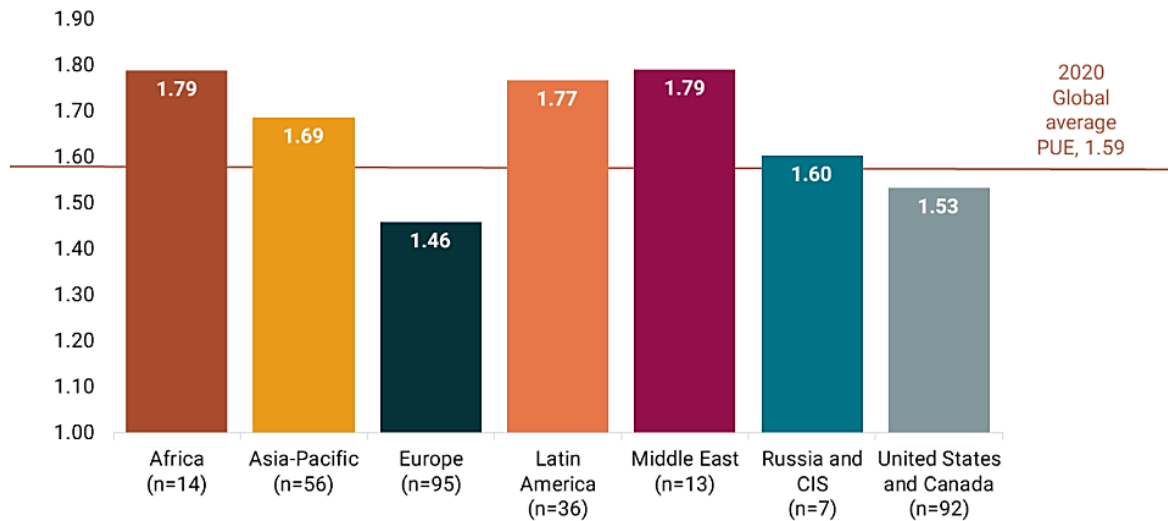


Рисунок 1.6 – Фактично досягнутий рівень значення PUE (Power Usage Effectiveness) для ЦОД у світі

Основні вимоги до температурно-вологісного режиму внутрішньооб'ємного повітряного простору data-центру визначає ANSI/TIA-942-2005 [10], що змінював відповідні показники протягом всього періоду розвитку відповідного серверного обладнання – рис. 1.7.

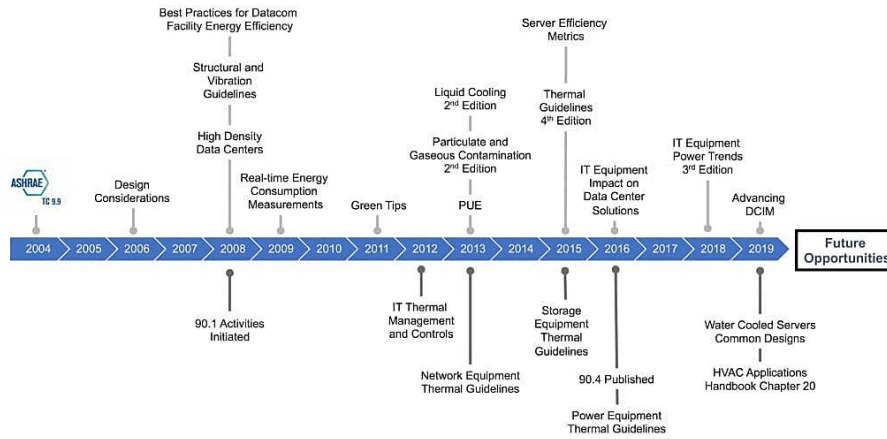


Рисунок 1.7 – Хронометричний аналіз введення вимог до функціонування серверного обладнання ЦОД, що вводиться ANSI/TIA

Таким чином, ANSI/TIA-942-2005 [10] виокремлює чотири класи серверного обладнання, для якого встановлюються відповідні температурно-вологісні режими, при цьому виділена зона з оптимальними та рекомендованими значеннями температури і вологості, що мають підтримуватись у серверному приміщенні data-центру – рис. 1.8.

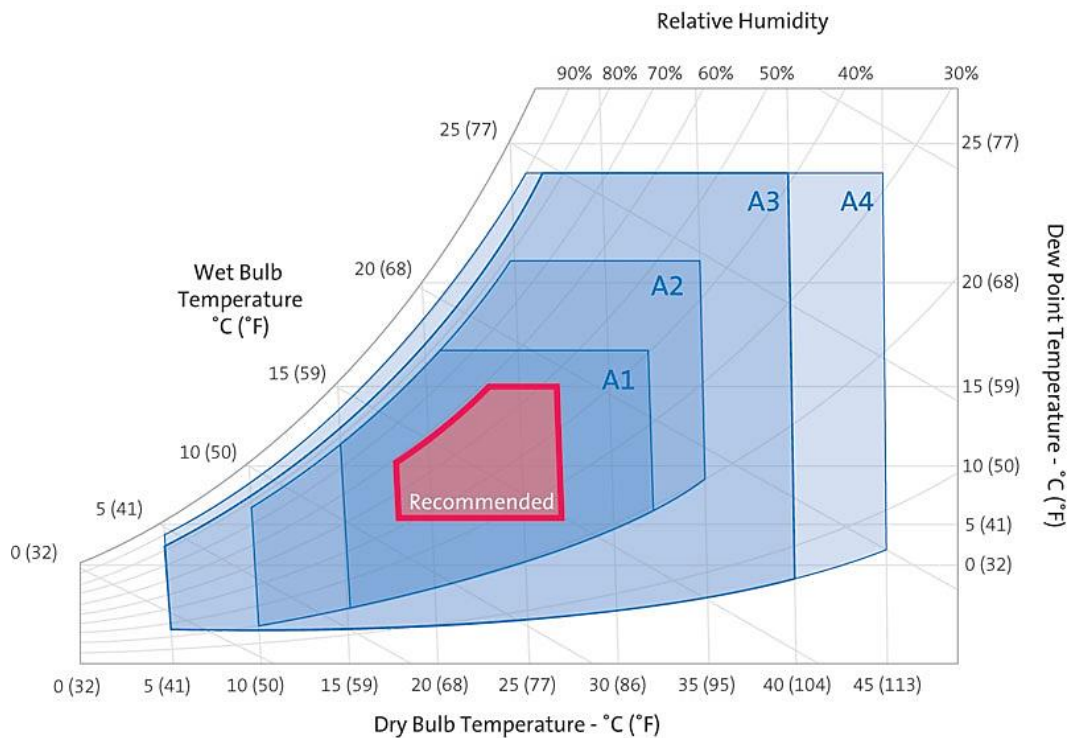


Рисунок 1.8 – Нормалізований ряд температурно-вологісних режимів внутрішньооб'ємного повітряного простору data-центру, що встановлюється ANSI/TIA-942-2005 [10]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таким чином, встановлено, що ефективність функціонування серверного обладнання ЦОД напряду залежить від належного функціонування системи кліматозабезпечення: для досягнення оптимального значення PUE (Power Usage Effectiveness) (рис. 1.5) необхідно дотримуватись рекомендованих значень температурно-вологісного режиму внутрішньооб'ємного повітряного простору data-центру (рис. 1.6), що встановлюється ANSI/TIA-942-2005 [10].

1.2 Методи та схеми регулювання мікрокліматичних параметрів в центрах обробки даних

З метою визначення методів та схем регулювання мікрокліматичних параметрів ЦОД виконаємо енергетичний аналіз складових та процесів, що впливають на збурення встановлених температурно-вологісних режимів внутрішньооб'ємного повітряного простору data-центру. З цієї метою приведемо типову структурно-потоківу схему ЦОД – рис. 1.9 [18 – 23].

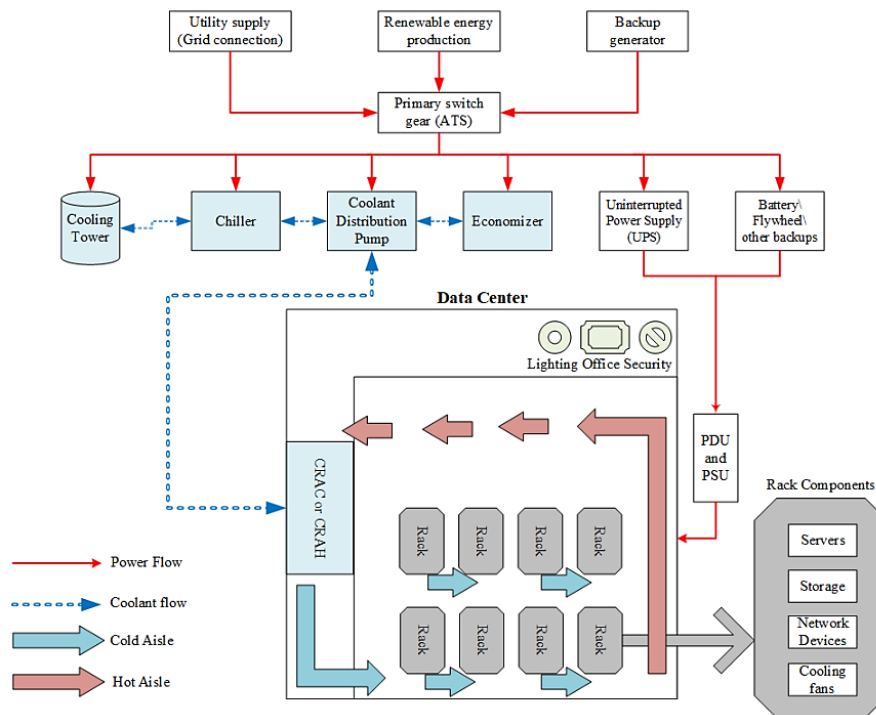


Рисунок 1.9 – Типова структурно-потоківу схема ЦОД

Використовуючи структурні елементи ЦОД, зафіксовані на рис. 1.9, виконаємо аналіз енергоспоживання об'єктів внутрішньої інфраструктури data-центрів – рис. 1.10 [18 – 23].

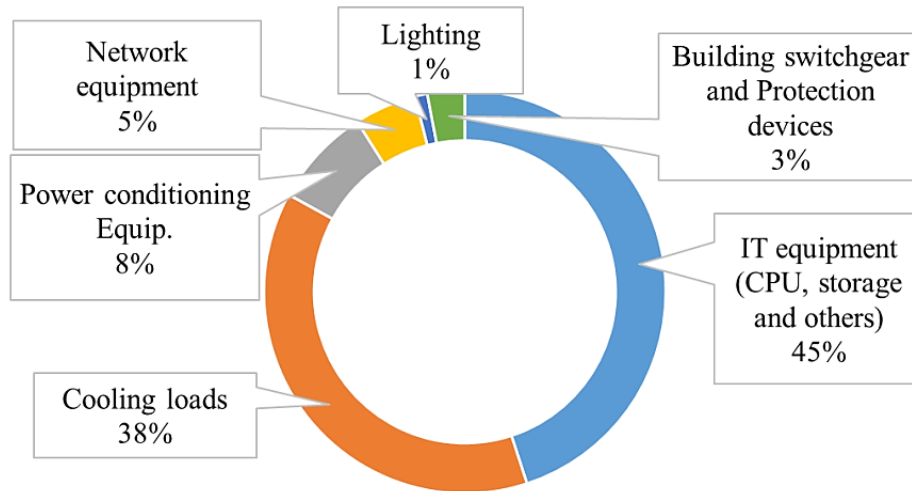


Рисунок 1.10 – Аналіз енергоспоживання об’єктів внутрішньої інфраструктури data-центрів

За результатами енергетичного аналізу (рис. 1.10) встановлено, що найбільше енергоспоживання, а відтак найбільший вплив на температурний режим внутрішньооб’ємного повітряного простору data-центру мають серверне обладнання та, відповідно, обладнання кліматозабезпечення [18 – 23].

Аналогічний енергетичний аналіз виконаємо для визначення найбільших енергоємнісних процесів, що здійснюються на базі ЦОД – рис. 1.11 [18 – 23].

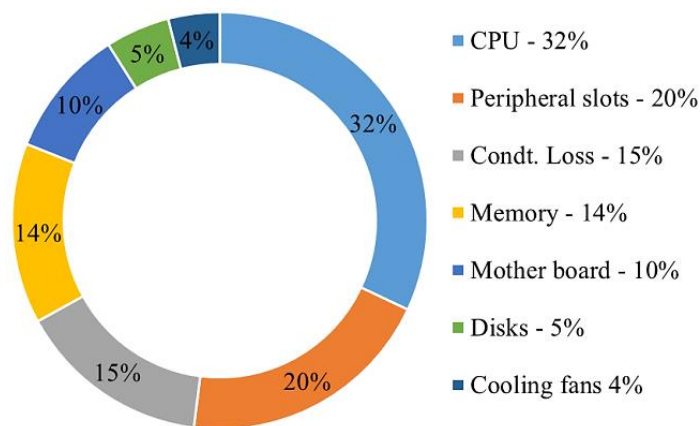


Рисунок 1.11 – Аналіз енергоємності типових процесів data-центрів

За результатами аналізу енергоємності типових процесів data-центрів (рис. 1.11) виявлено, що найбільше енергоспоживання мають процеси, що здійснюються на базі центрального процесора та мережних конекторів. Відтак, структурні елементи, що задіяні в визначених типових процесах data-центрів мають найбільший вплив на температурні режими експлуатації серверного обладнання ЦОД.

В доповнення до проведеного енергетичного аналізу існують результати численних моделювань температурного поля внутрішнього об'єму ЦОД, що підтверджують виявлені особливості аналізу енергоспоживання та енергоємності процесів – рис. 1.12 [18 – 23].

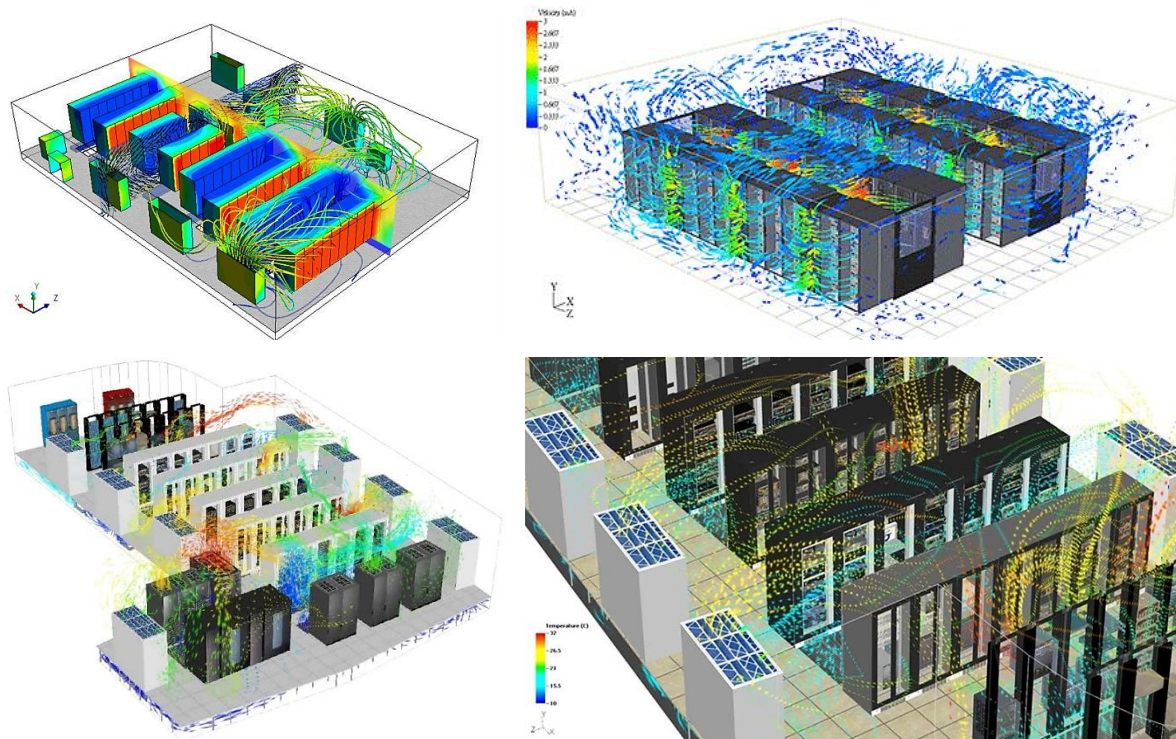


Рисунок 1.12 – Зразки досліджень температурних полів при виконанні типових процесів на базі ЦОД, що підтверджують результати енергоспоживання та енергоємності процесів

На підставі відповідних досліджень та досвіду експлуатації серверного обладнання та приладів і мереж інженерного супроводу, у відповідності до положень ANSI/TIA-942-2005 [10] (рис. 1.13) з метою досягнення оптимального значення PUE (Power Usage Effectiveness), розроблені рекомендації з застосування можливих схем кліматозабезпечення.

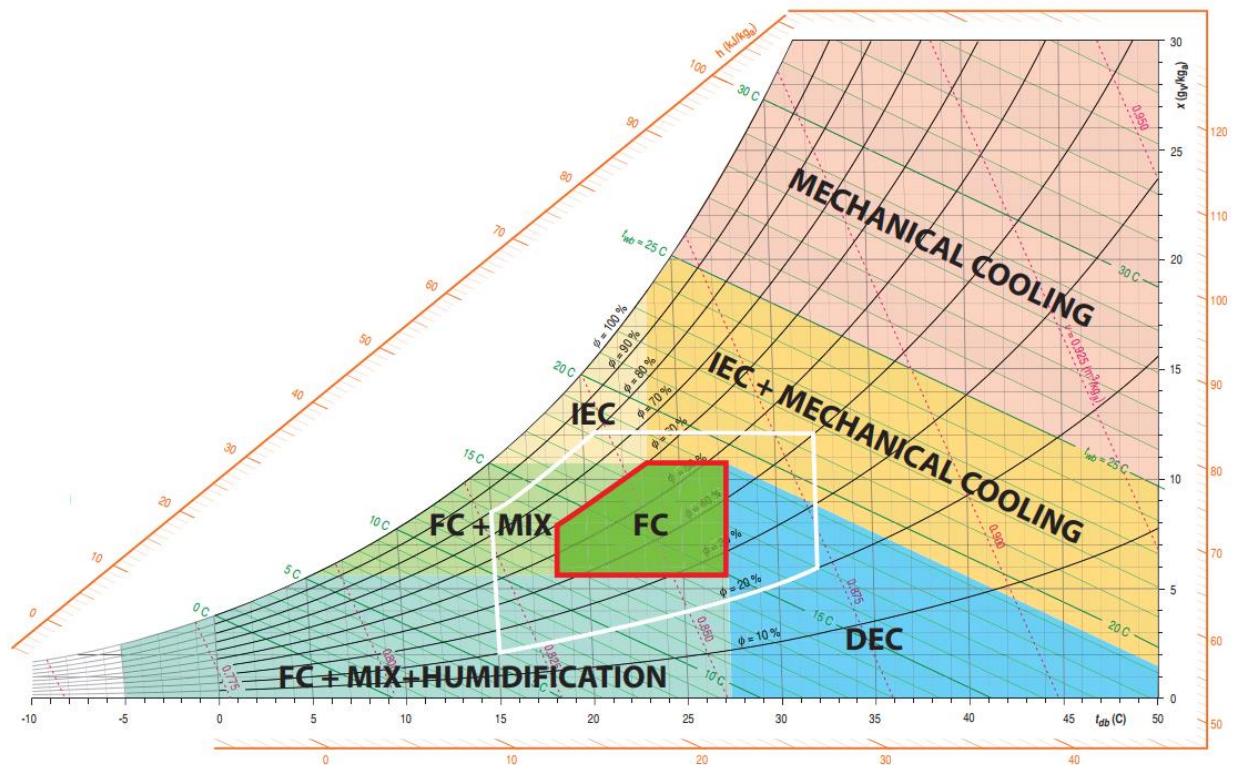


Рисунок 1.13 – Визначення зон ефективності застосування засобів і схем забезпечення мікрокліматичних параметрів внутрішнього повітряного об'єму центрів обробки даних

На рис. 1.13 проілюстровано, що використання систем охолодження та рекуперації дозволяє досягнути температурно-вологісних режимів експлуатації серверного обладнання, рекомендованого ANSI/TIA [10], що дає потенційну можливість зменшити енергоспоживання системи кліматозабезпечення за рахунок виключення процесів механічного кондиціонування.

Зелена зона (FC) представляє умови, в яких можна використовувати звичайне охолодження, суміжна зона (FC+MIX) описує умови, в яких необхідно змішувати зовнішнє повітря з зворотним, щоб зберегти контроль внутрішньої температури. Зона нижче (FC+MIX+HUMIDIFICATION) потребує додаткового адіабатичного зволоження, щоб досягти мінімальної вологості, встановленої ANSI/TIA [10].

Синя область (DEC) визначає початкові умови зовнішнього повітря, придатні для досягнення заданої температури лише за допомогою прямого випарного охолодження DEC. Жовта зона (IEC) представляє непряме випарне охолодження IEC за допомогою теплообмінника між зовнішнім повітрям і рециркуляційним внутрішнім повітрям; область (IEC+ MECHANICAL COOLING) потребує додаткового механічного охолодження. Якщо введення зовнішнього повітря в центр обробки даних заборонено, внесок IEC покриватиме попередній метод DEC.

Зовнішнє повітря, де потрібне лише механічне охолодження, представлено червоною зоною (MECHANICAL COOLING). Випарні охолоджувачі розпилювальної дії забезпечують

високоєфективне охолодження з додатковою перевагою контролю вологості, забезпечуючи при цьому істотне зниження споживання енергії та витрат без будь-якого впливу на витрати на технічне обслуговування. Оптимальне керування системами кондиціонування повітря також має вирішальне значення для оптимізації економії енергії, доступної за допомогою випарного охолодження та підвищення енергоефективності [18 – 23].

На підставі рекомендацій щодо застосування технологічних методів кліматозабезпечення data-центрів розроблені відповідні апаратно-апаратні схеми, варіації яких наведено нижче.

Пряме вільне (звичайне) охолодження + DEC та адиабатичне зволоження – рис. 1.14. Рішення, яке оптимізує використання зовнішнього повітря, знижуючи температуру влітку за допомогою прямого випарного охолодження (DEC) і контролює вологість взимку, використовуючи одну установку.

Система містить вентиляційну установку, яка подає зовнішнє повітря влітку для вільного (звичайного) охолодження, а також DEC, коли це дозволяють зовнішні умови. Повітря зволожується та охолоджується, забезпечуючи приблизне охолодження 680 Вт/л із споживаною потужністю лише 4 Вт/л. Цей процес є найефективнішим методом охолодження, оскільки він не мистить проміжні стадії теплообміну. Повітря подається в холодні проходи і розподіляється через решітки або дифузори. Потім зворотний вентилятор забирає повітря з гарячих проходів [18 – 23].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

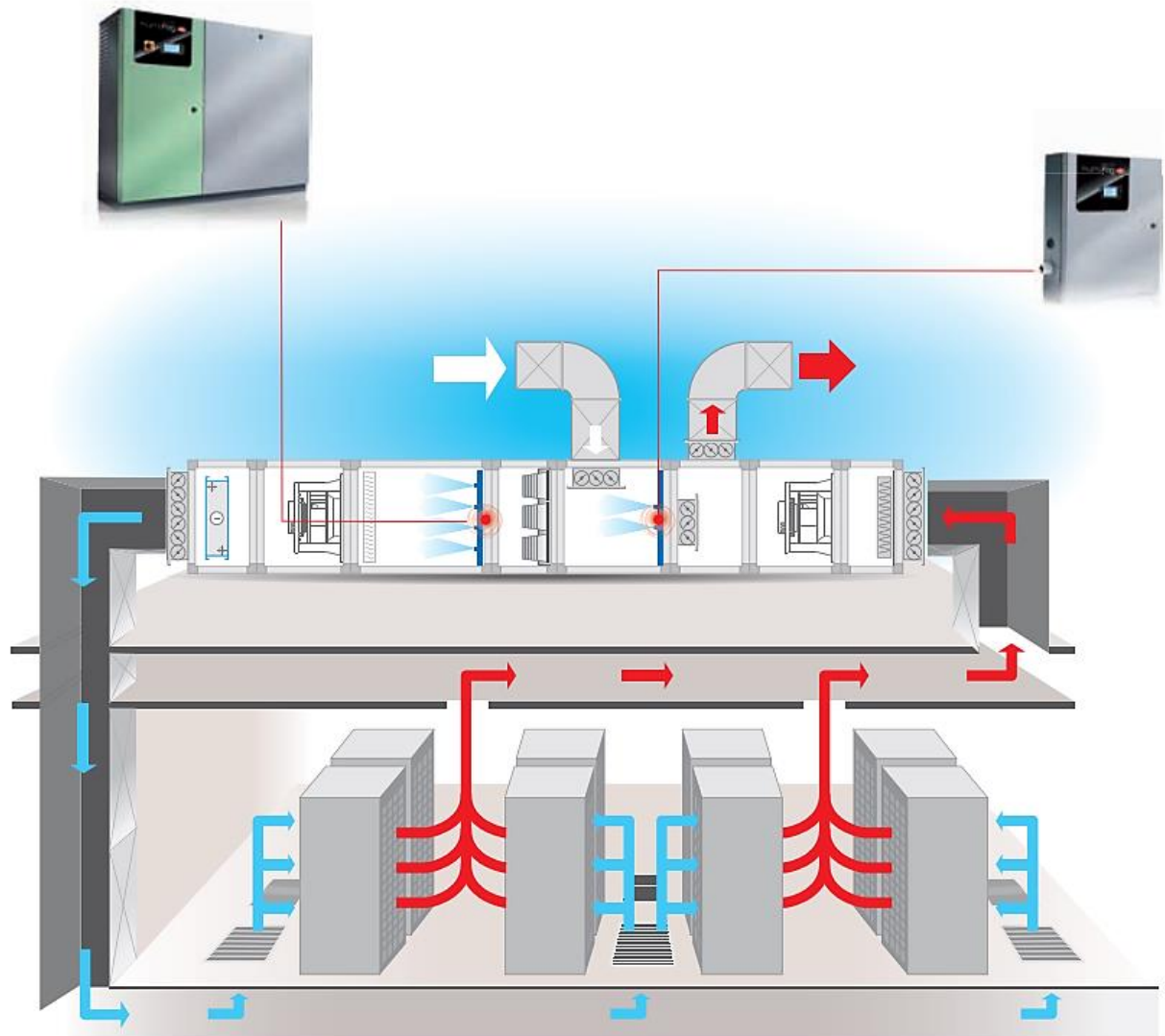


Рисунок 1.14 – Схема кліматозабезпечення ЦОД: пряме вільне (звичайне) охолодження + DEC та адіабатичне зволоження

Змішувальна заслінка контролює мінімальну температуру подачі шляхом рециркуляції. Взимку система забезпечує точний контроль вологості повітря, споживаючи лише 4 Вт на літр у порівнянні з 750 Вт на літр для парових зволожувачів [18 – 23].

Непряме вільне (звичайне) охолодження з боку повітря + ІЕС – рис. 1.15. Рішення, яке максимізує вільне охолодження, реалізуючи непряме охолодження випаровуванням без надходження зовнішнього повітря в центр обробки даних через такі обмеження, як забруднення повітря, або коли рівень вологості не дозволяє застосувати технологію DEC [18 – 23].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

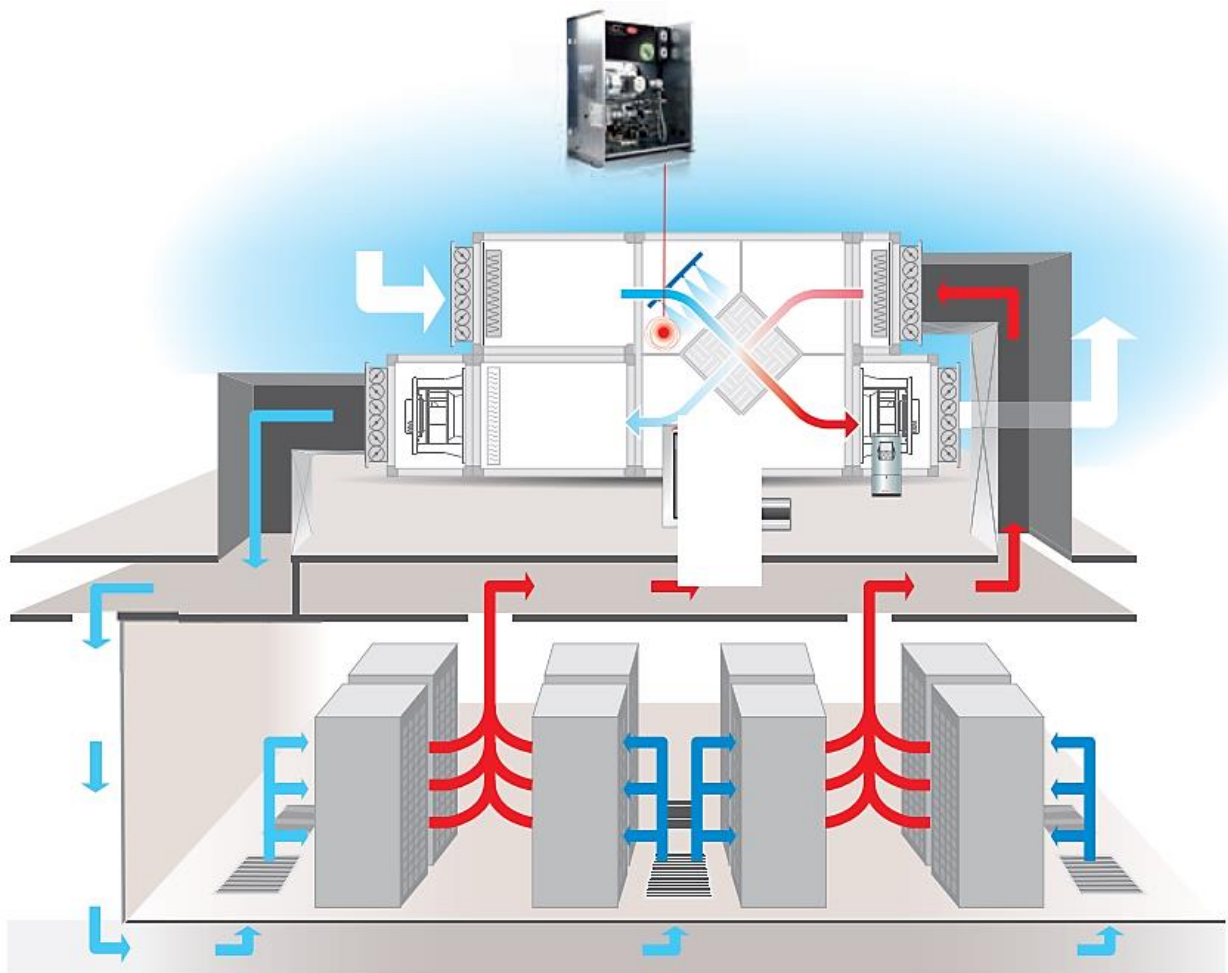


Рисунок 1.15 – Схема кліматозабезпечення ЦОД: Непряме вільне (звичайне) охолодження з боку повітря + ІЕС

Система містить вентиляційну установку, яка здійснює рециркуляцію повітря, охолоджуючи його за допомогою блоку рекуперації тепла, який обмінюється теплом із зовнішнім повітрям. Цей «вторинний» потік повітря проходить через блок рекуперації тепла, не потрапляючи в центр обробки даних. Випарний охолоджувач знижує температуру «вторинного» повітря, одночасно збільшуючи його вологість до 95%, гарантуючи максимальне охолодження повітря, що циркулює. Змійовик охолодження може забезпечити додаткову охолоджуючу потужність, якщо це необхідно, а також гарантувати резервування. Повітря подається в холодні проходи і розподіляється через решітки або дифузори. Потім зворотний вентилятор забирає повітря з гарячих проходів [18 – 23].

Адіабатичне зволоження для систем рециркуляції повітря – рис. 1.16. Рішення для контролю вологості в традиційних системах, таких як кондиціонери по периметру і ІЕС або комбінованих системах.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

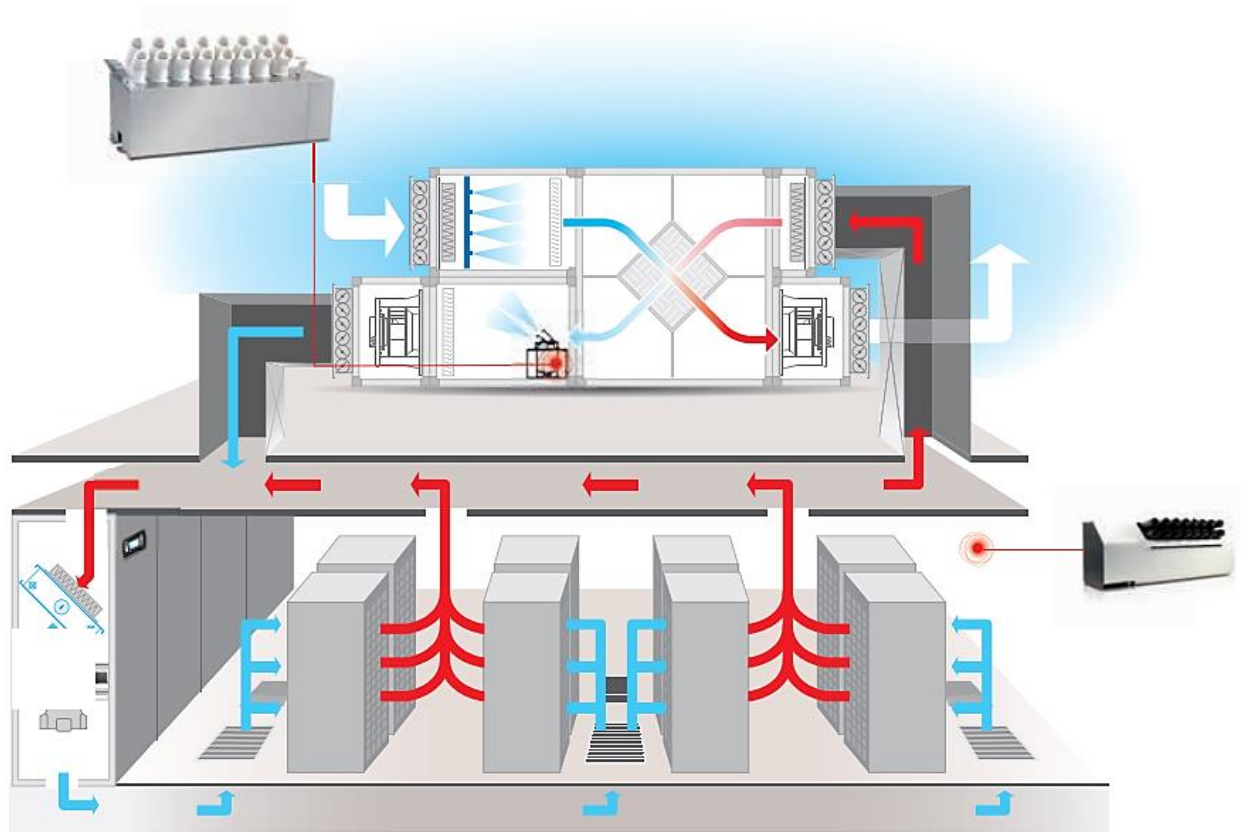


Рисунок 1.16 – Схема кліматозабезпечення ЦОД: адиабатичне зволоження для систем рециркуляції повітря

Система може включати або традиційні периметральні CRAC (кондиціонери), або блоки ІЕС, які організують рециркуляцію повітря, або комбінацію обох технологій, щоб забезпечити резервування або зменшити споживання енергії в певні періоди року. Ці системи не подають свіже зовнішнє повітря, і тому їх часто вибирають для встановлення в місцях, де якість зовнішнього повітря може викликати проблеми через потенційно корозійні забруднювачі. У традиційних установках осушення забезпечується змійовиками охолодження; тим не менш, новіша компоновка центрів обробки даних, наприклад, гарячі проходи та холодні проходи, призвели до прийняття більш високих температур подачі повітря з подальшим зменшенням осушення.

Таким чином, відносна вологість знижується внаслідок проникнення зовнішнього повітря або осушення під час перехідних режимів роботи. Тому вимоги до зволоження є нижчими, також через нові межі прийнятності для обладнання [18 – 23].

Непряме «водяне» або безповітряне охолодження + ІЕС – рис. 1.17. Рішення для економії енергії за рахунок випарного охолодження, але без зміни повітряних потоків у центрі обробки даних, за допомогою традиційної технології кондиціонування повітря.

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

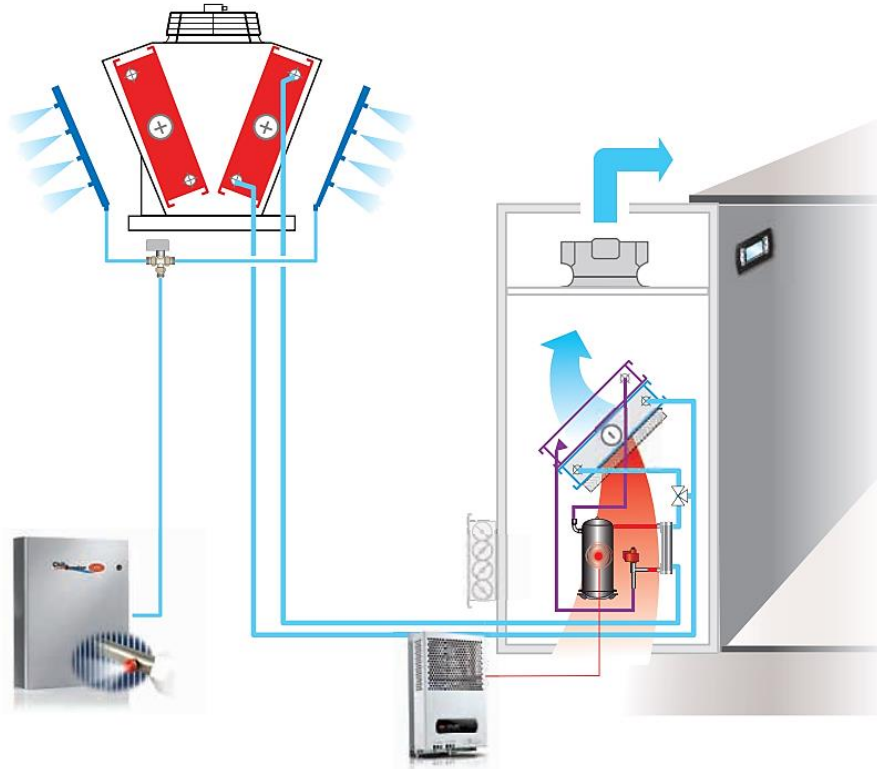


Рисунок 1.17 – Схема кліматозабезпечення ЦОД: непряме «водяне» або безповітряне охолодження + IEC

Система складається з периметральних блоків CRAC (кондиціонерів), які контролюють температуру та вологість у припливному або серверному приміщенні. ChillBooster, встановлений на сухому охолоджувачі або конденсаторі, охолоджує повітрязабірник випаруванням і гарантує значну економію енергії за рахунок зниження середньої температури конденсації контуру холодоагенту. У системах CRAC з економайзерами на водяній стороні, тобто оснащеними водяним змішувачем, який можна поєднати з зовнішнім сухим кулером. ChillBooster подовжує період, протягом якого можна використовувати вільне охолодження, таким чином значно зменшуючи використання механічного охолодження. Використання компресорів зі змінною швидкістю, заснованих на технології BLDC, дозволяє максимально заощадити енергію, оскільки модуляція холодопродуктивності дозволяє використовувати «часткове вільне охолодження», тобто вільне охолодження може бути активовано навіть за зовнішніми умовами, що означає, що воно не може забезпечити 100% необхідної холодопродуктивності. Модулюючі компресори, таким чином, забезпечують залишок роботи при частковому навантаженні. Тому період, протягом якого можна використовувати вільне охолодження, набагато довший, навіть якщо використовувати пряме вільне охолодження із заслінкою свіжого повітря та продовжувати контролювати температуру подачі за допомогою

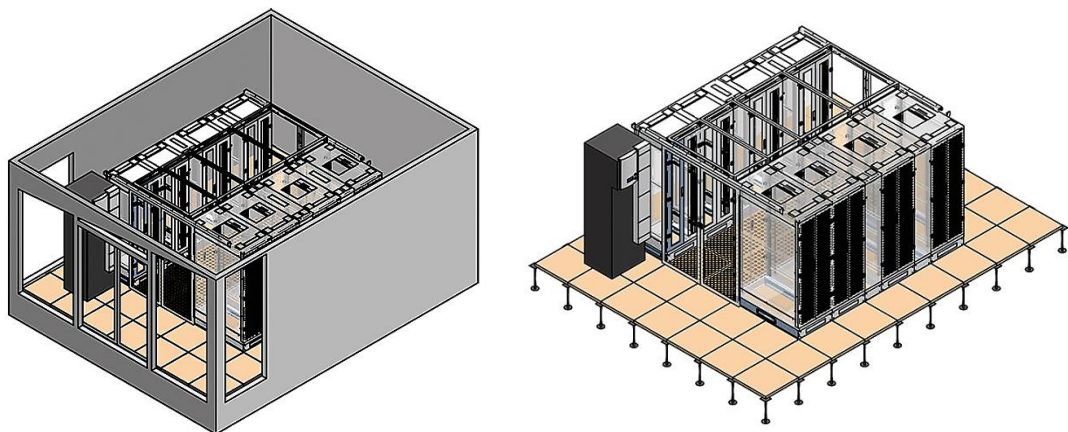
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

роботи компресора на низькій швидкості, як правило, набагато є ефективнішим рішенням [18 – 23].

Таким чином, встановлений нормалізований підхід до організації кліматозабезпечення ЦОД відповідно до вимог ANSI/TIA-942-2005 [10], що дозволяє отримати високоефективні data-центри з оптимальним значенням *PUE* (*Power Usage Effectiveness*). Визначення технології забезпечення нормативних мікрокліматичних параметрів виконується у відповідності до положень і рекомендацій ANSI/TIA-942-2005 [10] (рис. 1.13), при цьому враховують локальні кліматогеографічні умови експлуатації ЦОД. За результатами огляду апаратно-апаратних схем кліматозабезпечення функціонування серверного обладнання об'єктом автоматичного контролю є відповідні внутрішньооб'ємні потоки повітря. Відтак, доцільно розглянути схеми організації цих потоків та їх вплив на організацію ефективного теплообміну ІТ-приладів ЦОД.

1.3 Аналітичний огляд впроваджених технічних рішень з кліматозабезпечення в центрах обробки даних. Виявлення закономірностей

Як визначено в п. 1.2 цієї роботи, відповідно до ANSI/TIA-942-2005 [10] (рис. 1.13) застосовуються нормалізовані термодинамічні рішення з улаштування систем кліматозабезпечення, однак важливим також є схема організації повітряних потоків в середні внутрішнього об'єму ЦОД. З метою визначення досліджуваних схем організації повітря виконаємо аналіз конструктивних особливостей типової будові секції ЦОД – рис. 1.18 [24 – 29].

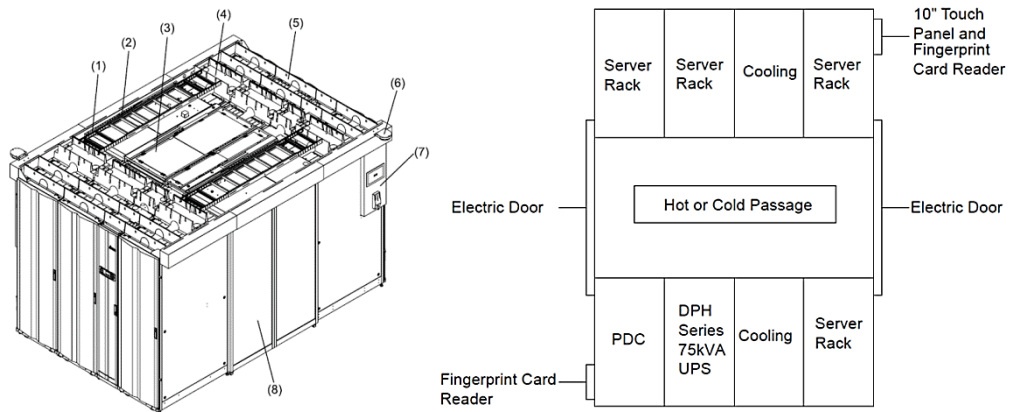


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

21



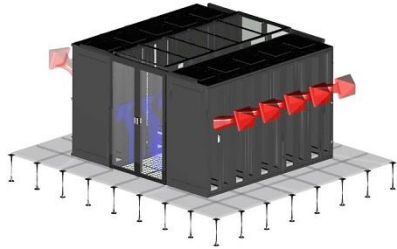
- 1 – фонарна рама; 2 – опора кабелю; 3 – фонарне скло; 4 – кабель живлення; 5 – data-кабель;
 6 – камера відеонагляду; 7 – пуль керування;
 8 – двері з електричним приводом

Рисунок 1.18 – Будова типової секції ЦОД

Аналітичний огляд впроваджених технічних рішень з кліматозабезпечення в центрах обробки даних виконана в табл. 1.1 [24 – 29].

Таблиця 1.1 – Аналітичний огляд впроваджених технічних рішень з кліматозабезпечення в центрах обробки даних (схем організації повітряних потоків в середні внутрішнього об'єму ЦОД)

Схема виконання	Опис схеми
1	2
	<p>Гарячі/Холодні Коридори. Розташування теплий/холодні коридори є стандартним рішенням для центрів обробки даних. Подача доступна з передньої панелі, де холодне повітря з перфорованих панелей підлоги входить у підвищене подвійне дно. Стандартом ANSI/TIA-942-2005 [10] рекомендована ширина 1,2 м «холодних коридорів». Це відповідає розміру двох панелей підлоги подвійного дна. Через перфоровані панелі підлоги передній стороні кожної шафи холодне повітря подаватиметься і за допомогою техніки видуватиметься. Холодне повітря проходить через перфоровані двері з повітряним введенням 80% активних компонентів. У цьому випадку фальшпідлога використовується для підведення холодного повітря.</p>



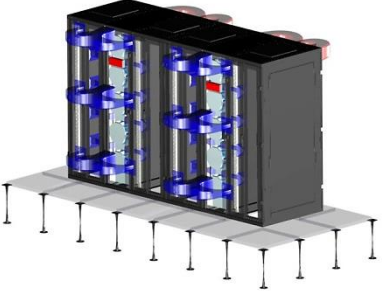
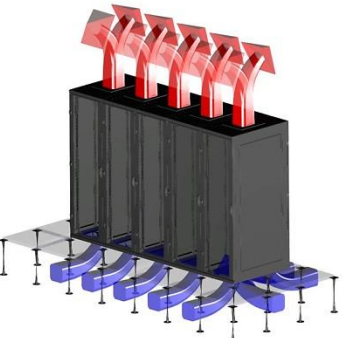
Закритий Холодний коридор. Рішення відкритого типу гарячі/холодні коридори таять у собі потенційну небезпеку недостатньої рециркуляції гарячого повітря всередині шафи і, отже, ризик утворення гарячих точок. Вирішення цієї проблеми є закритим холодним коридором. Це замкнута розширена модульна система, що включає блок кондиціонера, відділена фізично від викиду гарячого повітря. Холодне повітря прямує через перфоровану підлогу з плит подвійної підлоги в закритих передач або локально за допомогою секцій холодильного агрегату, що встановлюються безпосередньо в рядах між роздатчиками. Стандартна ширина закритого холодного коридору становить 1,2 м (дві плити) або 1,8 м (три плити). Прохід також має двостулкові розсувні скляні двері. Застосування цього рішення стало ще одним стандартом і рекомендується насамперед через свою ефективність охолодження та низьке енергоспоживання дата-центру.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

23

1	2
	<p>Закриті модульні рішення. Закрите модульне рішення дозволяє досягти максимальної енергоефективності і, в той же час, масштабування для довгострокової експлуатації центру обробки даних. Це рішення можна запроектувати точно на розмір залежно від потреб замовника та виробляє. Так можуть утворитися зони в одній кімнаті не лише з різними робочими температурами, а й різною густиною теплового навантаження. Закрите типово модульне рішення для захисту не нижче IP54 розсилки. Це також забезпечує захист встановлених компонентів для пилу та вологи. Бічні клімат одиниць поєднується з роздатчиками, що закритий модуль з холодною зоною в передній частині та однієї гарячої зони в задній частині шафи виникає. Це рішення дозволяє комбінувати будь-яку кількість шаф та кліматичних блоків в одному модулі. Наші фахівці допоможуть створити проект, пропозицію, де необхідну просторову ємність для технологій та відповідну відносну охолоджувальну потужність, у тому числі необхідну надмірність, забезпечується.</p>
	<p>Охолодження підлоги. Цей метод підвищує коефіцієнт використання холодного повітря шляхом її подачі з фальшпідлоги для встановлених компонентів. Розподільник монтується на отвір у подвійну підлогу. На землю в розподільній установив дефлектор спрямовує частину холодного повітря в його передній. Холодне повітря може бути в цьому випадку в передній частині шафи через міцні двері без перфорації, причому бути скляні або сталеві двері Повністю, далі. Тепле повітря буде отримати або через двері з перфорацією 80% повітря через або крізь шафу дах виведено. Завдяки установці регулятора для підведення холодного повітря в шафі підлогу кількість повітря можна регулювати, при необхідності вона може бути повністю зупинена у випадку, якщо кабінет не оснащений компонентами. Перевагою цього типу системи охолодження є велика гнучкість територіального планування. Тут немає поділу шафи в Теплий і холодний коридори потрібно, якщо гаряче і холодне повітря відокремлюється в шафі. Для цього колектори повинні бути обладнані розділовими рамками на послідовний поділ Холодного та Гарячого повітря.</p>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

24

1	2
	<p>Охолодження через підвісну стелю. Можливий недолік охолодження підлоги з дисипацією до зали, що тепле відпрацьоване повітря прямує до навколишнього середовища шаф. Це не є жодними ускладненнями, якщо це вже було враховано при проектуванні Дата-центру. У деяких випадках у приміщеннях з високим тепловим навантаженням через концентрацію встановлених компонентів повний поділ відведення гарячого повітря може бути рішенням. Рішення для охолодження за рахунок подачі із зали або з подвійним дном та зворотним дотом між перекриттями. При цьому тепле повітря не проходить через зал, але воно відбувається між перекриттями або подвійною стелею. Дефлектор у задній частині верхнього Кабінету допомагає в оптимізації потоку теплового повітря у камін есе. Завдяки великому поперечному перерізу насадки велика кількість повітря може зірвати при відносно низькій швидкості. Холодного повітря відбувається через передні двері або підлогу, Шафа / гардероб, отриманий за допомогою гарячого повітря від каміна насадки у підвісній стелі/подвійні ковдри на заводах. Кліматичні блоки потім смоктати тепле повітря з проміжної стелі, охолодити їх та підірвати їх назад у подвійне дно. Тим самим утворюється замкнутий контур. Дане рішення забезпечує високу ефективність охолодження велику кількість теплового повітря. Деякі дослідження вказують, що можна охолодити до 30 кВт на шафу.</p>

Аналіз наукових праць та профільних публікацій дозволяє визначити найбільш ефективні схеми організації потоків повітря у внутрішньому просторі центру обробки даних, що встановлюються за результатами термодинамічного моделювання та формування характерних температурних полів – рис. 1.19 [24 – 29].

За результатом термодинамічного аналізу температурних ізополів схем організації потоків повітря (теплоносіїв) у внутрішньому просторі data-центру встановлено, що найефективніше нормалізацію та усереднення температурного градієнту на поверхні серверного обладнання у відповідності до вимог ANSI/TIA-942-2005 [10] (рис. 1.8, п. 1.1 цієї роботи) гарантує схема з надходженням охолоджуючого агента (повітря) через решітки фальшпідлоги, що проілюстровано на рис. 1.20 [24 – 29].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

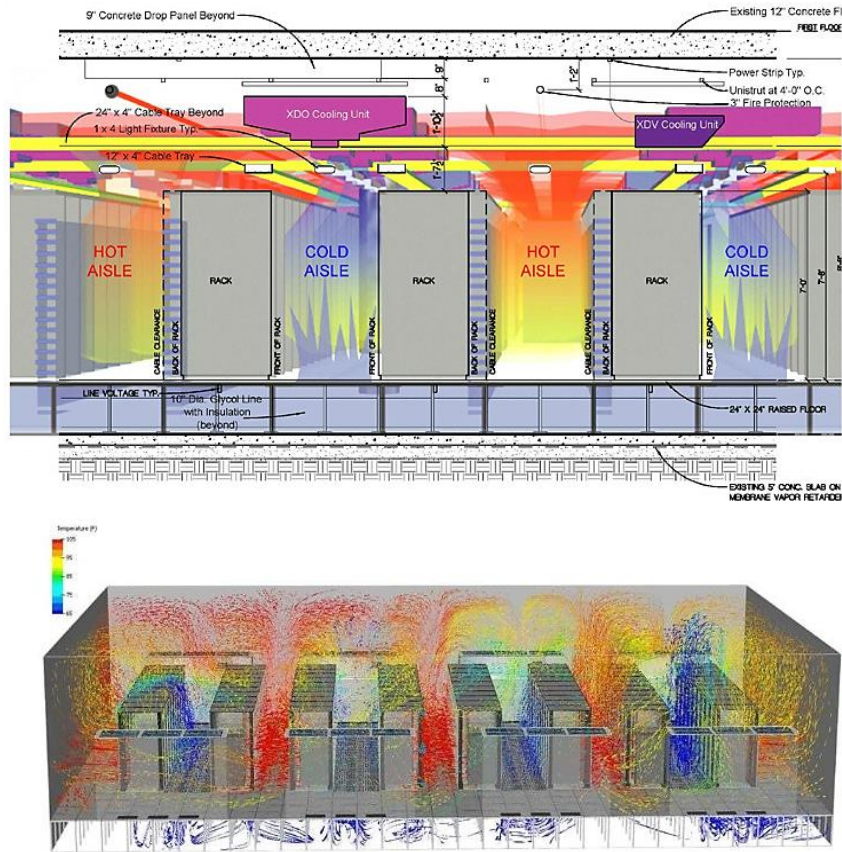


Рисунок 1.19 – Термодинамічний аналіз температурних ізополів схем організації потоків повітря (теплоносіїв) у внутрішньому просторі data-центру

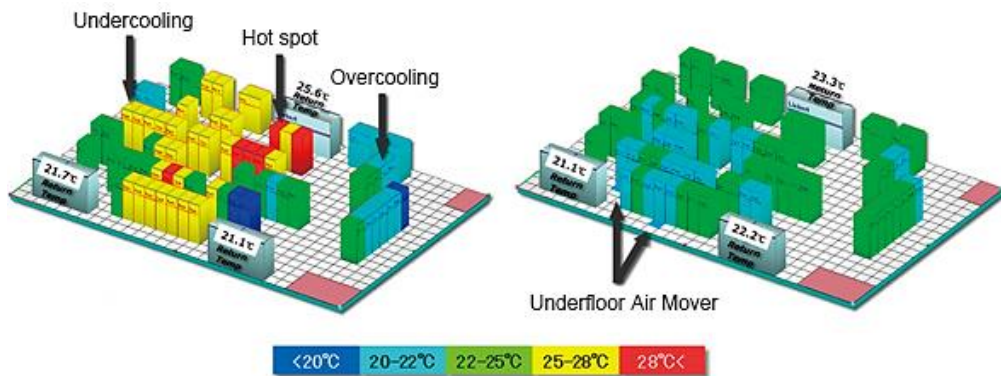


Рисунок 1.20 – Фінальні ізополі температурного градієнту для різних систем організації теплоносія (повітря), що на останньому фреймі моделювання доводять ефективність застосування схеми надходження охолоджувального агенту через решітки фальшпідлоги

Таким чином, за результатами вишукувань, що приводяться у цій главі дослідження встановлені особливості доцільної та економічної організації системи кліматозабезпечення ЦОД:

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

– встановлені оптимальні нормативні температурно-вологісні параметри мікроклімату внутрішнього повітряного простору data-центру, що виходять з необхідності витримки оптимального значення *PUE* (*Power Usage Effectiveness*);

– встановлений нормальний ряд термодинамічних рішень з організації системи кліматозабезпечення ЦОД, що визначається відповідно до оптимальних мікрокліматичних параметрів нормалізованих температурно-вологісних режимів функціонування серверного обладнання;

– виявлена найефективніша схема організації внутрішнього руху потоків теплоносіїв (внутрішнього повітря), що дозволяє забезпечити нормалізацію температурного градієнту на поверхні серверного обладнання у межах, визначених ANSI/TIA-942-2005 [10].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЦЕНТРИ ОБРОБКИ ДАНИХ

2.1 Аналіз інформаційно-матеріальних потоків з формуванням відповідної структурно-логістичної схеми

Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря (ASHRAE) [10] рекомендує не менше 6 датчиків температури на стійку для захисту обладнання. Вони повинні бути встановлені зверху, посередині та знизу, і це як спереду, так і ззаду стійки серверного обладнання.

Відповідно до результатів досліджень [30 – 41], зазначається що здійснення автоматизації кліматозабезпечення ЦОД починається з моніторингу температури стійки серверного обладнання з 3 точками вимірювання: у нижній передній частині стійки, щоб перевірити температуру холодного повітря, що надходить до стійки (у поєднанні з моніторингом повітряного потоку); у верхній передній частині стійки, щоб перевірити, чи все холодне повітря потрапляє до верхньої частини стійки; і, нарешті, один у верхній задній частині стійки, яка зазвичай є найгарячішою точкою стійки. Температура на вході повинна бути в межах 18°–27°С. Температура на виході повинна бути менше 20°С порівняно з температурою на вході.

Для невеликих data-центрів рекомендується використовувати дротові датчики (рис. 2.1). У великих центрах обробки даних, де потрібно багато точок моніторингу, бездротові датчики можуть запропонувати дешевшу альтернативу. Для бездротових датчиків не потрібно прокладати кабель. Вам також знадобиться значно менше IP-адрес, оскільки 30 датчиків температури можуть контактувати з одним базовим блоком – рис. 2.2 [30 – 41].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

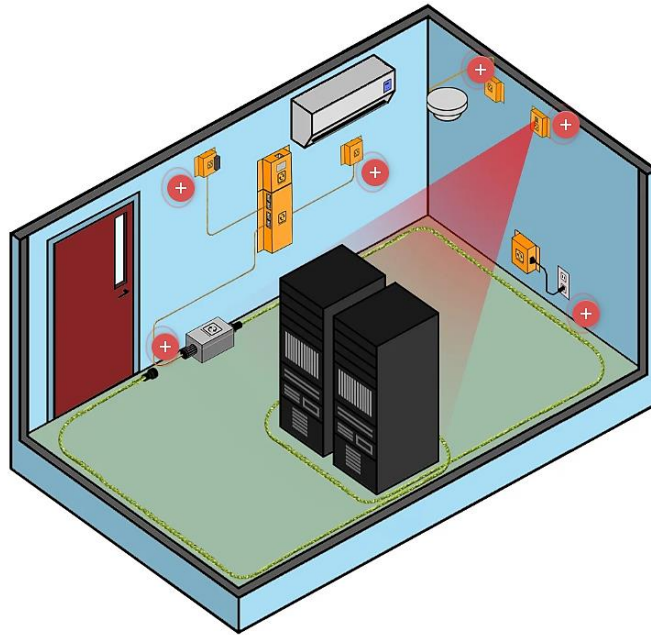


Рисунок 2.1 – Схема улаштування системи кліматозабезпечення ЦОД малої та середньої обчислювальної потужності

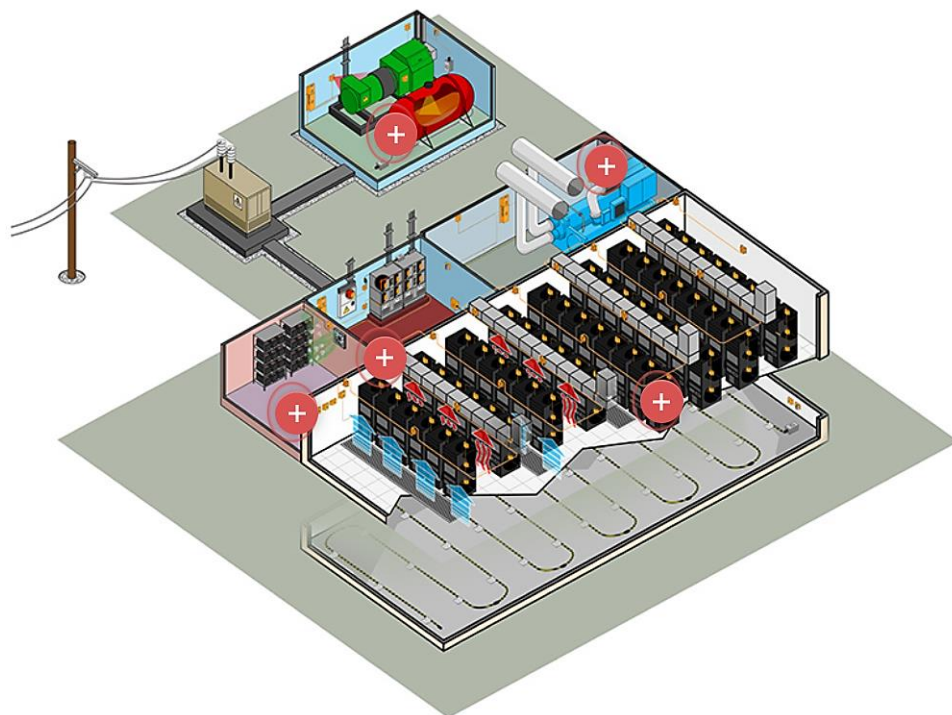


Рисунок 2.2 – Схема улаштування системи кліматозабезпечення ЦОД великої обчислювальної потужності

Моніторинг системи кліматозабезпечення ЦОД – це контроль параметрів температурно-вологісних режимів. Датчики температури та вологості зазвичай встановлюються в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

потенційних «гарячих зонах» всередині серверної кімнати поблизу блоків кондиціонування повітря для виявлення несправностей таких систем.

Якщо в кімнаті є кілька систем кондиціонування повітря, то вихід з ладу однієї системи спочатку буде компенсований іншими, перш ніж він може призвести до повної відмови системи охолодження через перевантаження. Тому для раннього виявлення несправностей біля кожного блоку рекомендується використовувати датчики температури та витрати повітряного потоку.

Моніторинг вологості не менш важливий, ніж температура, і часто його пропускають. Чи знаєте ви, що відносна вологість (гН) в серверних приміщеннях і центрах обробки даних має бути від 40% до 60% відносної вологості. Занадто сухе призведе до накопичення статичної електрики на системах. Занадто волога та корозія почнуть повільно пошкоджувати ваше обладнання, що призведе до постійних поломок обладнання.

При використанні холодних коридорів всередині ЦОД температура навколишнього повітря за межами коридору може бути вищою. Температура повітря 37°C не є рідкістю в таких установках. Це дозволяє значно знизити витрати на електроенергію. Однак це також означає, що моніторинг температури має надзвичайно важливе значення, оскільки несправний блок кондиціонування повітря матиме набагато швидший вплив на термін служби та доступність системи (напруга вентиляторів, перегрів процесора тощо), а робота приміщення при більш високих температурах також може вплинути на роботу без стійки. навісне обладнання [30 – 41].

При використанні гарячих коридорів важливо стежити за температурою в кімнаті, щоб забезпечити достатню кількість холодного повітря в кожному стійку. Однак у цьому випадку можна також покладатися на датчики температури в стійках на додаток до датчиків температури та вологості поруч із кожним кондиціонером.

За визначенням ASHRAE [10] (рис. 1.8, рис. 1.13, р. 1 цієї праці) :

– клас А1: як правило, центр обробки даних з жорстко контрольованими параметрами внутрішнього середовища (точка роси, температура та відносна вологість) і критично важливими операціями. Типами продуктів, які зазвичай розроблені для цього середовища, є корпоративні сервери та продукти зберігання.

– клас А2: Як правило, приміщення інформаційних технологій або офісне чи лабораторне середовище з деяким контролем параметрів внутрішнього середовища (точка роси, температура та відносна вологість). Типами продуктів, які зазвичай розроблені для цього середовища, є сервери, продукти зберігання даних, персональні комп'ютери та робочі станції.

– клас А3/А4: Як правило, приміщення інформаційних технологій або офісне чи лабораторне середовище з деяким контролем параметрів внутрішнього середовища (точка роси, температура та відносна вологість). Типами продуктів, які зазвичай розроблені для цього

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища, є сервери томів, продукти зберігання даних, персональні комп'ютери та робочі станції.

На підставі розглянутих інформаційно-матеріальних потоків сформуємо логіко-структурну схему для системи кліматозабезпечення ЦОД – рис. 2.3 [30 – 41].

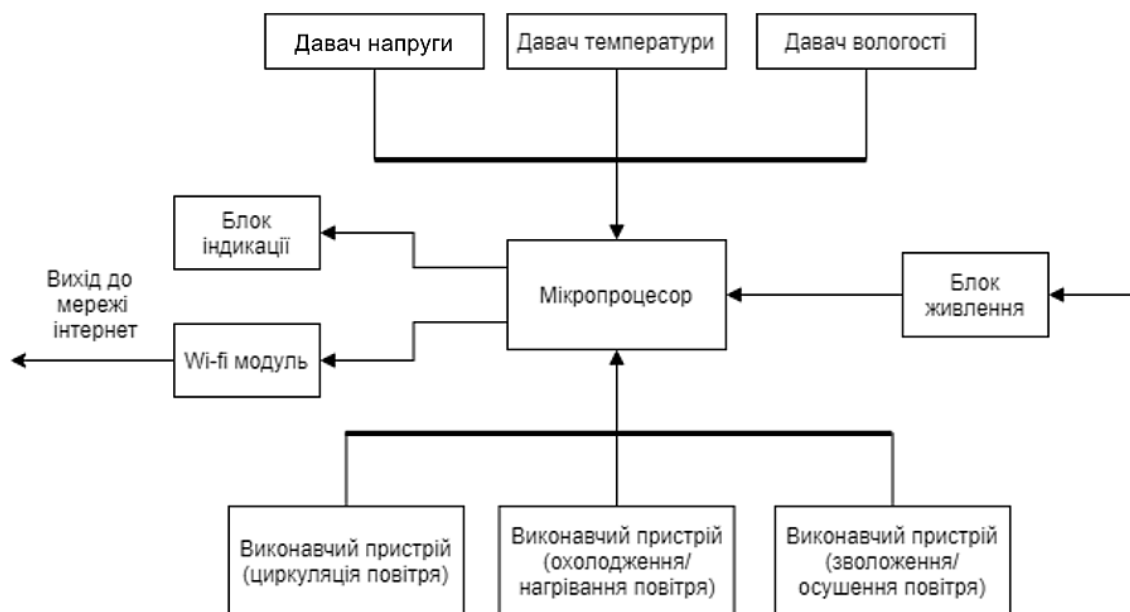


Рисунок 2.3 – Логіко-структурна схема системи кліматозабезпечення ЦОД

2.2 Визначення засобів автоматизації

Система кліматозабезпечення ЦОД базується на моніторингу температурно-вологісного режиму, що працює від датчика температури і вологості – рис. 2.4 [30 – 41].

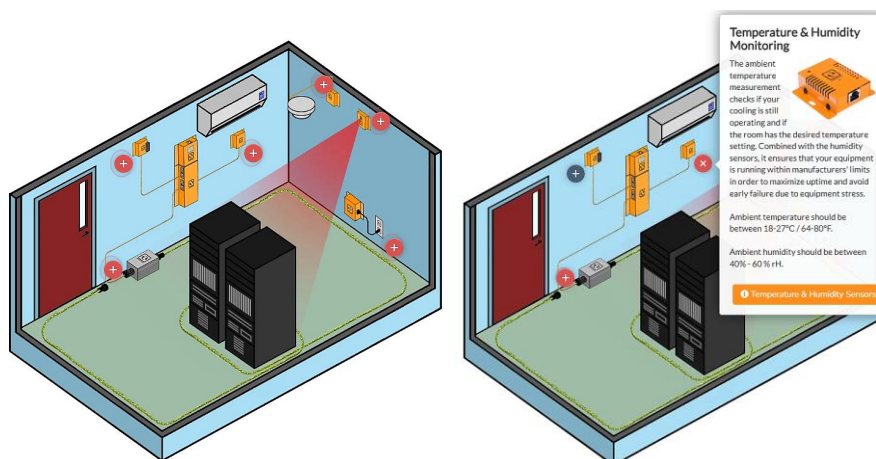


Рисунок 2.4 – Рекомендації з встановлення датчика температури і вологості системи моніторингу температурно-вологісного режиму ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Пропонується використовувати датчик ENV-THUM – рис. 2.5, рис. 2.6., табл. 2.1 [30 – 41].

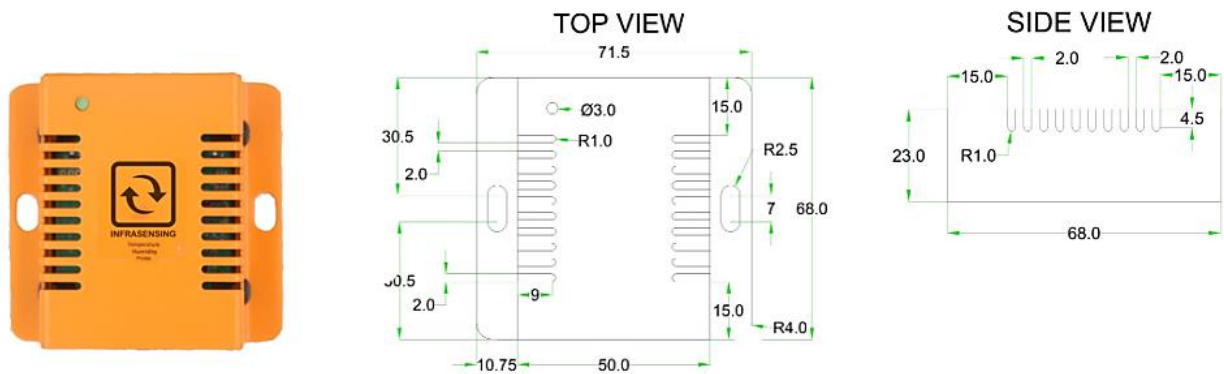


Рисунок 2.5 – Загальний вид сенсорного датчика ENV-THUM

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сенсорного датчика ENV-THUM

General Description	
Designed for monitoring temperature and humidity levels inside data centers, server rooms, cabinets and other critical facilities.	
Key Features	
<ul style="list-style-type: none"> - Plugs into the base unit (BASE-WIRED). - Powered by the base unit (BASE-WIRED). - Compact plug & play sensor. - 0U rack or wall mountable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Steel inclosure. Industrial Grade. - Alerts via SNMP Traps, email, SMS or voice calls. - Optional calibration certificates available. - Humidity probe made in Switzerland.
Technical Specifications	
Power Source	SensorGateway (BASE-WIRED)
Power Usage	60 mW
Temperature Resolution	0.1°C (0.18)°F precision
Temperature Accuracy	+/- 0.5°C (+/- 0.9 °F) from -10°C to +85°C / 14°F to 185°F
Temperature Reading:	-55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
Reading Unit	in Celsius or Fahrenheit
Relative Humidity Range	0 to 100 % RH.
Relative Humidity Resolution or Precision	0.1 % RH and 1% RH
Relative Humidity Accuracy:	+/- 2 % RH between 10 % RH to 90 % RH and +/- 4 % RH below 10 % RH and above 90 % RH.
Relative Humidity Long Term Stability	< 1 % RH/year.
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	0°C to +75°C (32°F to +167°F)
Humidity (operating and storage)	< 90% rH (non-condensating).
Dimensions	71.5 mm (2.8") x 68 mm (2.68") x 23 mm (0.9")
Weight	0.12kg (0.26 lbs.)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

32

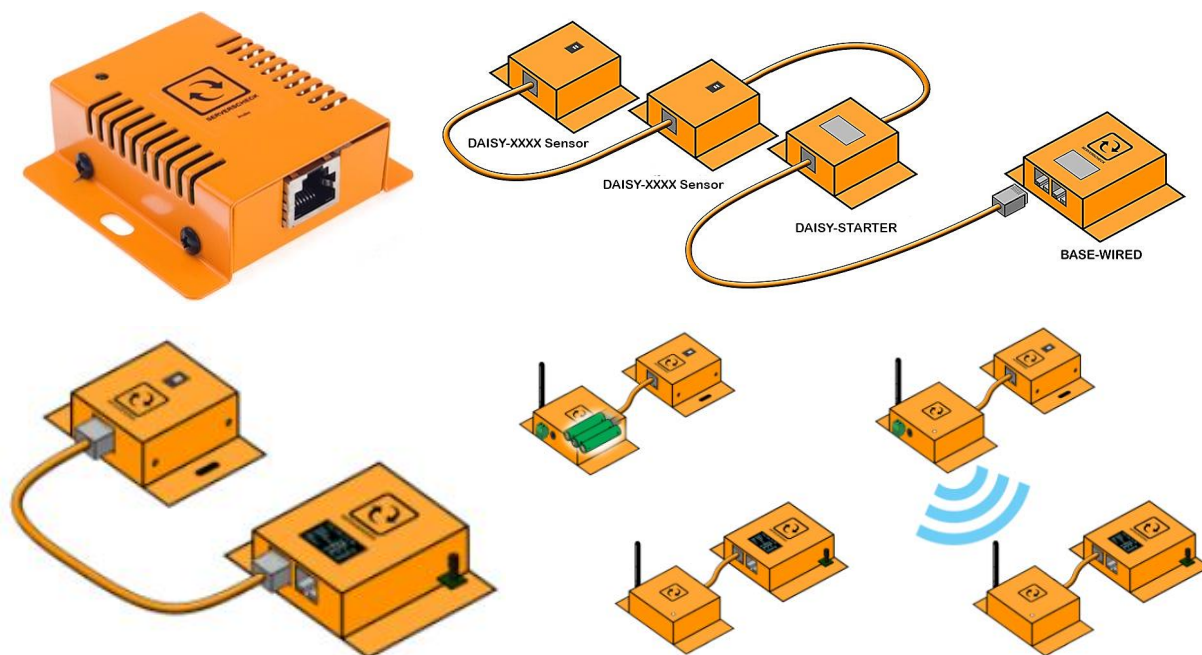


Рисунок 2.6 – Варіації комутації температурно-вологісного сенсорного датчика ENV-THUM

Теплові потоки від серверного обладнання залишаються непоміченими за допомогою традиційних датчиків температури, оскільки блоки кондиціонування повітря намагатимуться компенсувати проблему надмірних тепловитрат. Датчик термокамери направлений на серверне обладнання та контролює температуру його поверхні в 4800 точках кожні 2 секунди. Перегрів серверного обладнання спричинить стрес вентилятора, помилки ЦП на самому пристрої, а також може вплинути на суміжні системи. Різниця між виходом і споживанням (кімнатна температура) не повинна перевищувати 20°C – рис. 2.7 [30 – 41].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

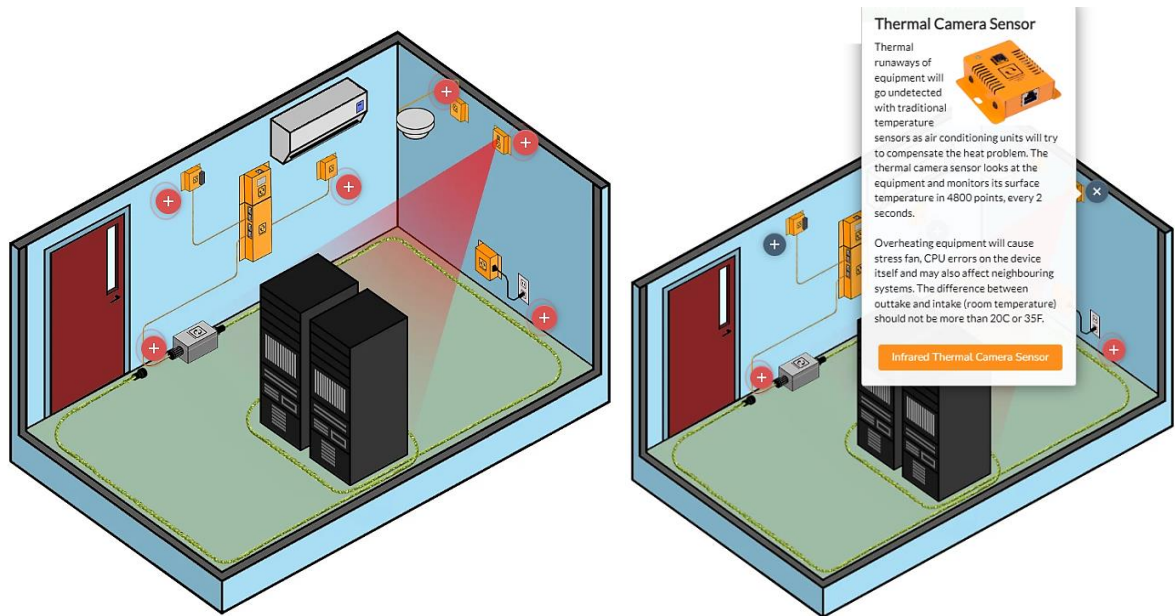


Рисунок 2.7 – Рекомендації з встановлення датчика камери теплового контролю системи моніторингу температурно-вологісного режиму ЦОД

Системи, які перегріваються, в основному залишаються непоміченими через охолодження, що забезпечується системою кліматозабезпечення. Традиційні датчики температури спрацьовують лише тоді, коли система охолодження не в змозі компенсувати розсіювання тепла внаслідок теплової аномалії. Датчики камери теплового контролю контролюють температуру поверхонь в полі дії: від 192 до 19200 датчиків температури кожні 2 секунди – рис. 2.8 [30 – 41].

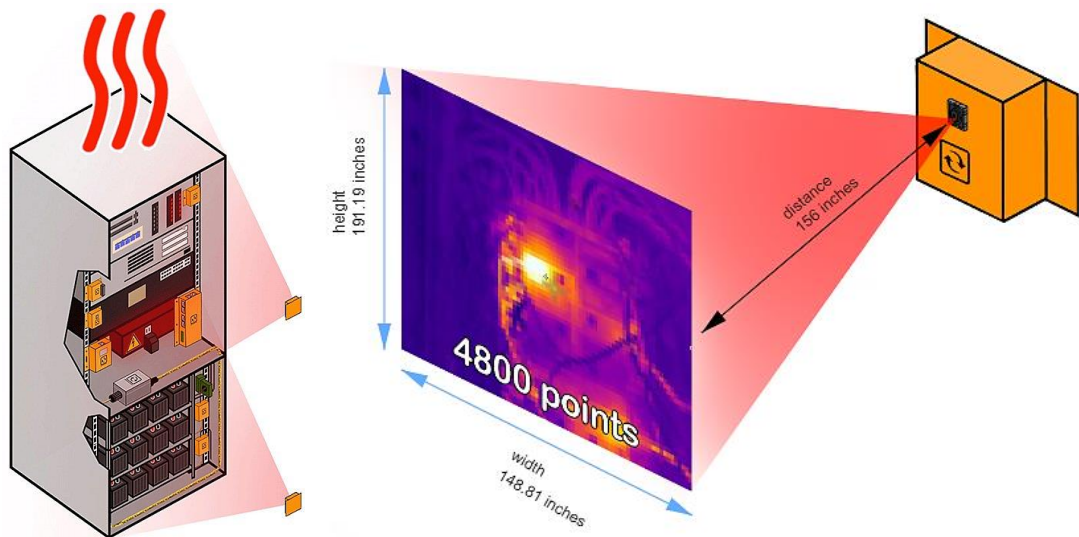


Рисунок 2.8 – Візуалізація принципу моніторингу температури за допомогою сенсора камери теплового контролю

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Пропонується встановлення камери теплового контролю ENV-THIMG-L – табл. 2.2, рис. 2.9 [30 – 41].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики камери теплового контролю ENV-THIMG-L

General Description	
A regular temperature sensor provides you with the temperature of the air surrounding the sensor. The thermal camera sensors provide you with the temperature of the objects & equipment it sees. The world's first SNMP & Modbus thermal camera sensor that tells you the temperature of what it actually sees. 9600 temperature measurement points in one image, analysed every 2 seconds. Minimum and maximum temperature data is available to industrial and IT automation platforms via Modbus TCP or SNMP.	
Key Features	
<ul style="list-style-type: none"> - plugs into the base unit (BASE-WIRED) - powered by the base unit (BASE-WIRED) - can monitor temperature up to 4 zones 	<ul style="list-style-type: none"> - can detect IR heat from up to approximately 45m/147ft - reading in Celcius or Fahrenheit - up to 6 thermal camera sensors supported (by connecting to SensorHub)
Technical Specifications	
Power source	SensorGateway (BASE-WIRED)
Power usage	492 mW
Thermal sensitivity	<50 mK (0.050° C / 32.09° F)
Temperature accuracy	+/- 5°C / 41°F from 0°C to +65°C / 32°F to 149°F
Field of View (FOV)	56° horizontal(narrow) 71° vertical
Spectral range	Longwave infrared, 8 µm to 14 µm
Resolution	160x120 pixels
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	-10°C to +65°C (14°F to +149°F) in PoE mode
Humidity (operating and storage)	< 90% rH (non-condensating)
Dimensions	74 mm (2.9") x 66 mm (2.59") x 22 mm (0.8")
Weight	0.15kg (0.33 lbs)

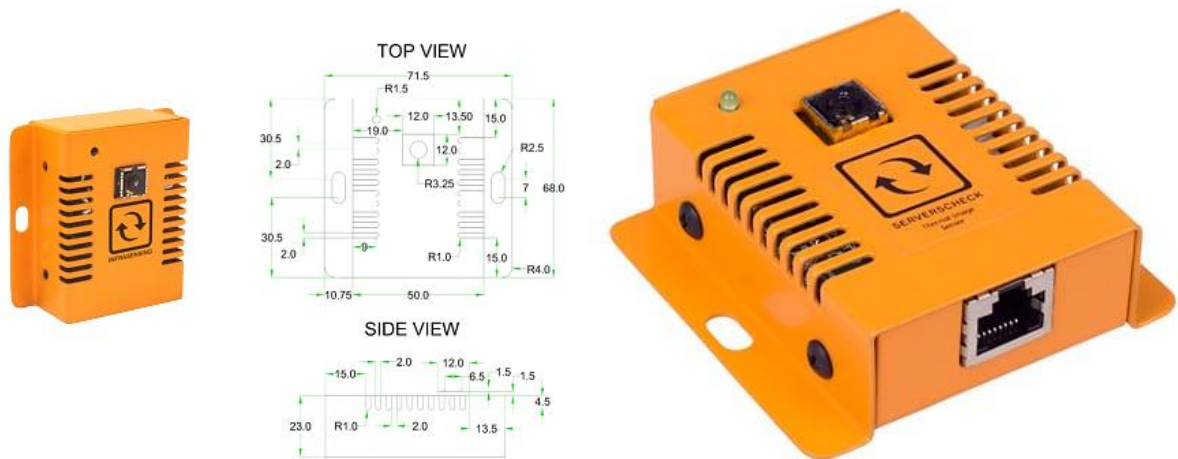


Рисунок 2.9 – Загальний вид та габаритні розміри камери теплового контролю ENV-THIMG-L

Датчик підключається до базового блоку (SensorGateway) за допомогою стандартного мережевого кабелю. Мережевий кабель передає дані та живлення між базовим блоком і

датчиком. Максимальна відстань між датчиком і базовим блоком становить 100 м/330 футів за допомогою кабелю CAT6/7 (залежно від якості кабелю та перешкод). Підтримуються два датчики теплового зображення на SensorGateway. За допомогою додаткового ADDON-RTU датчик можна інтегрувати з промисловими системами керування (ICS) за допомогою промислового протоколу Modbus RTU (RS485) – рис. 2.10 [30 – 41].

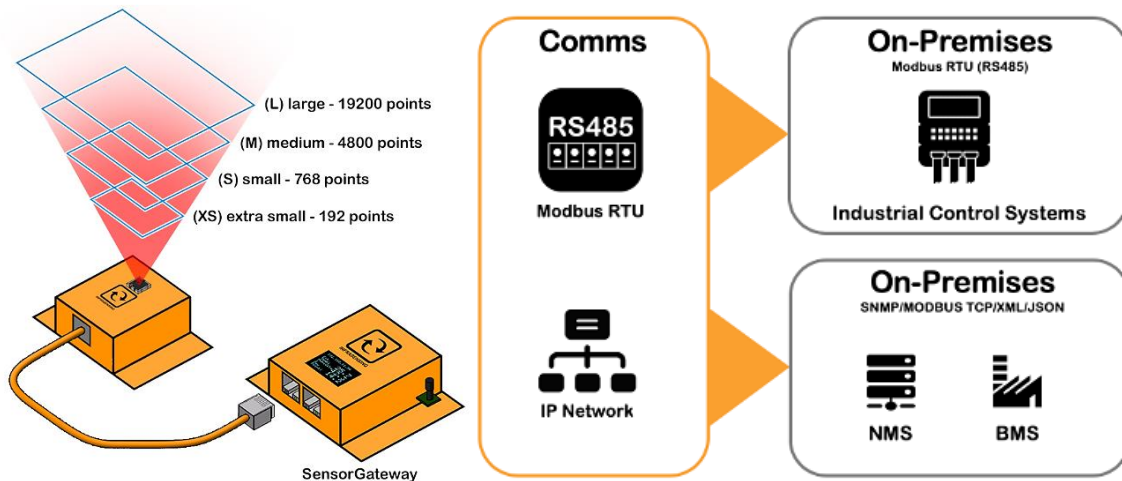


Рисунок 2.10 – Варіації схем приєднання камери теплового контролю, що встановлюється для моніторингу тепловиділення серверного обладнання

Збій живлення є поширеною причиною, чому граничні об’єкти відключаються. Часто системи кліматозабезпечення ЦОД не мають вбудованих можливостей оповіщення, як з LTE або супутниковим підключенням. Цей датчик гарантує, що про виникненні збою живлення змінного струму, оператор ЦОД зміг вжити протиаварійні заходи – рис. 2.11 [30 – 41].

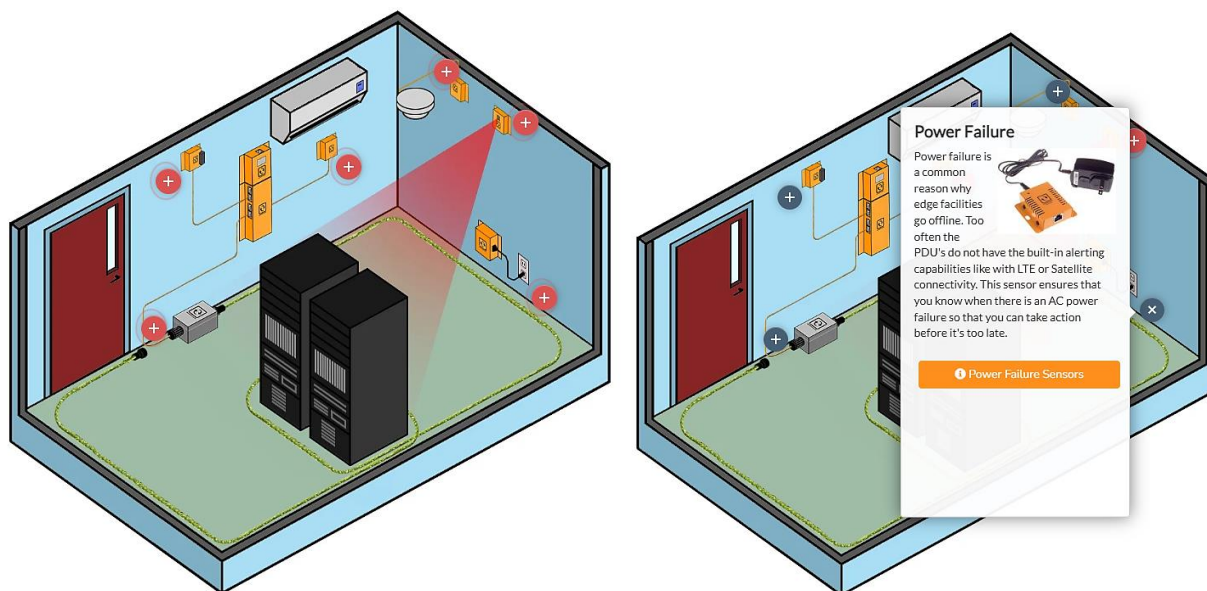


Рисунок 2.11 – Рекомендації з застосування контролю живлення ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Датчики збою живлення від InfraSensing дають змогу отримувати сповіщення, коли відключається електрика. Датчик поставляється з зовнішнім адаптером живлення, який підключається до основної лінії живлення. Сам датчик має житися від системи безперебійного живлення, щоб він міг надсилати сповіщення у разі відключення електроенергії. За замовчуванням датчик надсилає сповіщення через базовий блок електронною поштою, SMS і SNMP Traps. Ви також можете використовувати датчик для безпечного вимкнення серверів у разі виявлення збою живлення. Датчики підтримують PoE, Modbus і SNMP. Датчик може запитуватися в режимі реального часу будь-якою системою керування мережею, що підтримує SNMP, як-от Tivoli, OpenView, Nagios, MRTG – рис. 2.12 [30 – 41].

Пропонується застосувати датчик контролю живлення PWR-AC-FAIL – рис. 2.12, табл. 2.3.

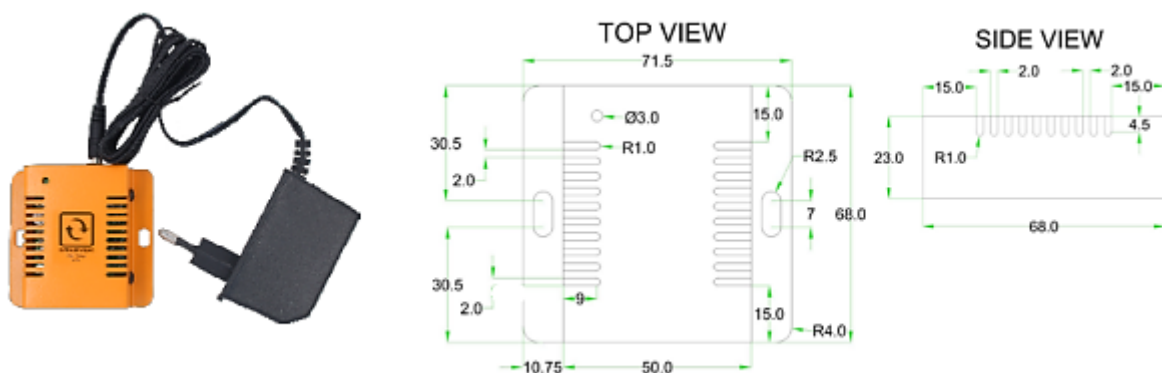


Рисунок 2.12 – Загальний вид та габаритна схема датчику контролю живлення PWR-AC-FAIL

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика датчика контролю живлення PWR-AC-FAIL

General Description	
The power failure sensors from ServersCheck enable you to get alerts when the main power goes out. The sensor comes with an external power adapter that is plugged into the main power line. The sensor itself has to be powered by a UPS system so that it still can send alerts in the event of a mains power outage. By default alerts are sent by the sensor through the base unit via email, SMS and SNMP Traps. You can also use the sensor to safely shutdown your servers in the event of a detected power failure.	
Key Features	
- plugs into the base unit (BASE-WIRED). - powered by the base unit (BASE-WIRED).	- Provides an ON/OFF indication to the gateway - AC Power Adapter for sensing main power status
Technical Specifications	
Power Source:	SensorGateway (BASE-WIRED)
Power Usage	216 mW
Power Adapter Style	EU, UK or US
Power adapter Specs	Input : Autoswitching 90-240 VAC/47-63 Hz
	Output: 9 VDC, 1.5 A, 2m cord terminated with 2.1mm (center positive) plug
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	-40°C to +75°C (40°F to +167°F)
Humidity (operating and storage)	< 90% rH (non-condensating).
Dimensions	74 mm (2.9") x 66 mm (2.59") x 22 mm (0.8")
Weight	0.24kg (0.53 lbs.)

Варіації схем приєднання датчика контролю живлення PWR-AC-FAIL зазначені на рис. 2.12.

Комутація та загальний контроль пропонованої схеми автоматизованого кліматозабезпечення ЦОД виконується базі мікропроцесорного модулю SensorGateway (BASE-WIRED) – табл. 2.4, рис. 2.13 [30 – 41].



Рисунок 2.12 – Варіації схем приєднання датчика контролю живлення PWR-AC-FAIL

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика мікропроцесорного модулю SensorGateway (BASE-WIRED)

General Description	
The Sensor Gateway is a stand-alone IP based temperature sensor with built in alerting features and serves as the base unit for our solution.	
Key Features	
<ul style="list-style-type: none"> - Onboard temperature sensor. - Built-in web server. - Alerting via email, voice call or SMS. - Industrial protocols: SNMP and Modbus TCP - Web API protocols: JSON and XML. - DHCP or static IP. - PoE built-in, optional AC adapter or USB power adapters. - OU and DIN mountable 	<ul style="list-style-type: none"> - Ultra low power usage (< 0.5W). - Runs locally - No Internet connectivity required to operate. - Stand-alone device: no software needed. - Fully responsive web interface for desktop, tablet or smart phone. - User configurable firewall for enhanced security. - Industrial grade: UL Listed, FCC and CE certified.
Technical Specifications	
TCP/IP:	IPv4 at 10/100 Mbps.
Power Source:	PoE: IEEE 802.3af or BASE-PWR (Optional AC power adapter) or BASE-PWR-USB (USB power adapter)
Power Usage:	1500mW (without sensors attached)
Network Data Transfer	SNMP GET (50 - 130 bytes) , SNMP Trap (143 - 280 bytes)
Built-in:	Web server, SNMP v1, v2 & v3 (MD5/AES), Modbus TCP.
Built-in alerting options:	Email, SMS (over IP) & SNMP Traps.
External sensors probes:	2 sensor probes through straight RJ45 CAT6/7 cable with max distance of 100m or 330ft (subject to cable quality and interference).
Max distance to switch:	CAT6/CAT7 up to 100m / 300ft.
Built-in Temperature Monitoring Sensor Specifications	
Temperature Resolution:	0.1°C / 0.18°F
Temperature Reading:	-55°C to +125°C (-67°F to +257°F) / SensorGateway operates up to 75°C / 167°F
Temperature Accuracy:	± 1°C (± 2°F) over 0°C to +75°C / 32°F to 167°F
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	0°C to +75°C (+167°F)
Humidity (operating and storage)	< 90% rH (non-condensating)
Dimensions	95 mm (3.7") x 88 mm (3.4") x 21 mm (0.8")
Weight	0.21 kg (0.46 lbs)

SensorGateway



BASE-WIRED

Display	OLED
Web Server:	HTTP
Security:	Built-in Firewall
Built-In Alerting:	email, SNMP Traps, SMS, call
Protocols:	SNMP v1,v2,v3
	Modbus TCP
	XML, JSON
	Optional MQTT, Modbus RTU
Network:	IPv4 at 10/100 Mbps
External Probes:	2 optional probes
PoE:	IEEE 802.3af
Power Adapter:	12V DC
Operating Conditions	
Temperature:	0°C to 75°C / 32°F to 167°F
Humidity:	<90% RH (non-condensing)
Embedded Temperature Sensor	
Resolution:	0.1°C / 0.18°F
Accuracy:	± 1°C (± 2°F) over 0°C to +75°C / 32°F to 167°F

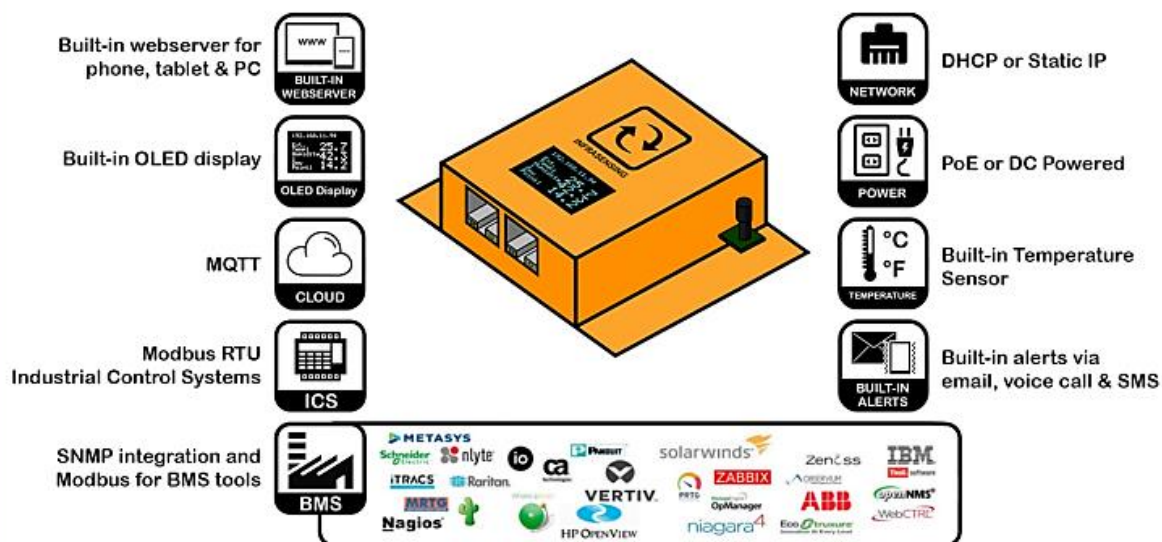


Рисунок 2.13 – Загальний вид та технологія використання мікропроцесорного модулю SensorGateway (BASE-WIRED)

На базі мікропроцесорного модулю SensorGateway (BASE-WIRED) здійснюється комутація сенсорних здавачів, що здійснюють моніторинг температурно-вологісного режиму функціонування серверного обладнання ЦОД та організацію сучасних схем і протоколів керування пропонованою автоматизованою системою керування мікрокліматичними параметрами data-центрів – рис. 2.14 [30 – 41].

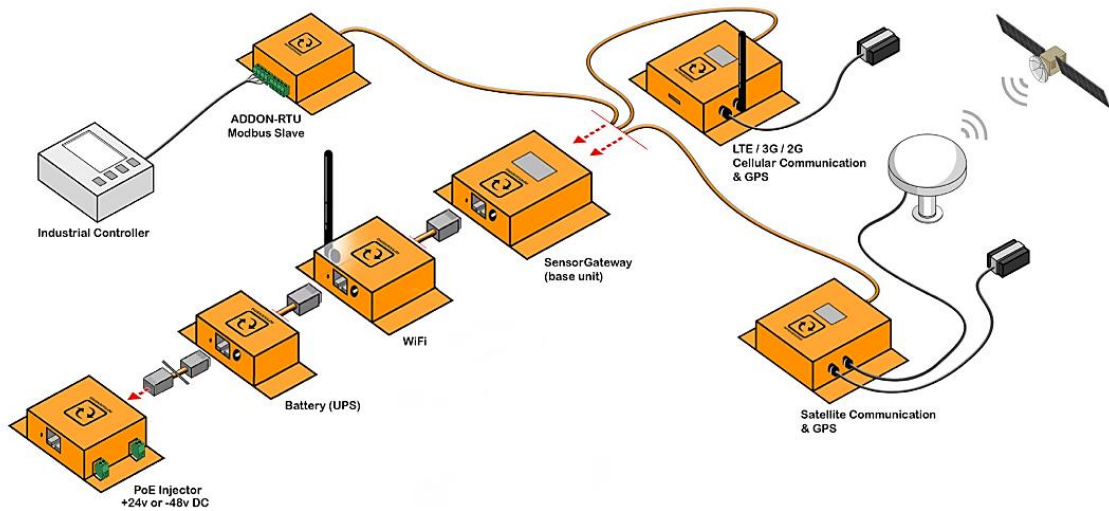


Рисунок 2.14 – Комутаційна схема складових автоматизованої системи кліматозабезпечення ЦОД

Для схеми моніторингу і контролю параметрів мікроклімату, що зображена на рис. 2.1, додатково до базового мікропроцесорного модулю SensorGateway (BASE-WIRED) використовується хаб приєднання сенсорних датчиків – EXP-8HUB – рис. 2.15, табл. 2.5 [30 – 41].



EXP-8HUB

Expansion ports for external sensor probes:	8
Dry contact input ports:	4
Dry contact output ports:	2 (digital sink 100mA)
Relay outputs:	2 (400VAC/150VDC and 200VA/192W)
Auxillary supply:	maximum current capacity of 500mA at 9 to 12 VDC
Power consumption:	650 milliWatts
Dimensions:	165 mm (6.5") x 95 mm (3.7") x 22 mm (0.8")

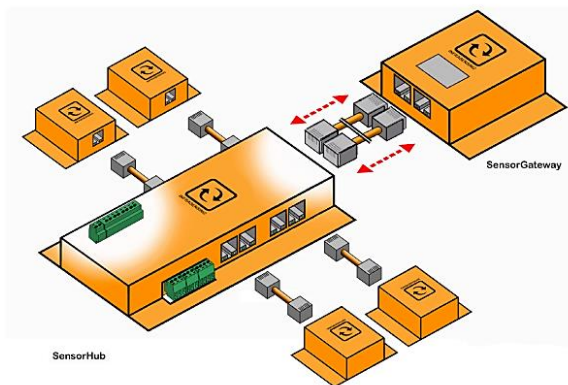


Рисунок 2.15 – Загальний вид та схема комутації сенсорних датчиків з використанням конекторного хабу EXP-8HUB

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика конекторного хабу EXP-8HUB

General Description	
Expands the base unit from 2 to 8 ports & adds control capabilities.	
Key Features	
- plugs into the base unit w/ max length of 1m (BASE-WIRED). - powered by the base unit (BASE-WIRED). - 4 dry contact inputs for 3rd party systems.	- 4 dry contact outputs & 2 relay outputs for automatic control. - max 1 expansion hub per base unit.
Technical Specifications	
Power Source:	SensorGateway (BASE-WIRED)
Power Usage	588 mW
Expansion ports for external sensor probes	8
Dry contact input ports	4
Dry contact output ports	4 (digital sink 100mA)
Relay outputs	2 (400VAC/150VDC and 200VA/192W)
Auxillary supply	maximum current capacity of 500mA at 9 to 12 VDC
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	0°C to +75°C (32°F to +167°F)
Operating humidity range	< 90% rH (non-condensating)
Dimensions	165 mm (6.5") x 95 mm (3.7") x 22 mm (0.8")
Weight	0.57 kgs (1.26 lbs.)

Мікропроцесорний модуль SensorGateway (BASE-WIRED) може сам надсилати сповіщення електронною поштою, SMS або голосовим дзвінком, для чого не потрібно використання додаткового програмного забезпечення.

Електронні листи можна налаштувати для надсилання за допомогою вашого поштового сервера або загальнодоступних поштових серверів, таких як Gmail. SMS та голосові сповіщення про дзвінки надсилаються через шлюз.

За допомогою додаткового стільникового зв'язку ви можете надсилати SMS-повідомлення через SIM-карту. Попередження про дані (електронна пошта) надсилаються через мобільну мережу передачі даних, коли IP-мережа не працює.

Для IT-спеціалістів базовий блок надає дані доступними через SNMP. Він підтримує SNMP v2 і v3 з такими командами SNMP: GET, GETNEXT, SET, WALK & TRAPS.

Ця функція дозволяє інтегрувати пристрої з будь-яким програмним забезпеченням SNMP або DCIM. Це робить базовий блок за замовчуванням датчиком температури SNMP [30 – 41].

Для людей, які працюють на підприємстві, протоколом є Modbus TCP. Це дозволяє інтегрувати датчики з популярною системою управління будівлею (BMS).

Додатковий модуль Modbus RTU забезпечує інтеграцію з промисловими системами керування (ICS) Modbus RTU Master (R-S485), SNMP, Modbus TCP, Modbus RTU можна

використовувати одночасно. Це означає, що вже встановлені NMS, BMS та ICS можуть одночасно приймати дані від датчиків [30 – 41].

Аналогічні принципи застосовуються і для побудови ЦОД великої обчислювальної потужності, що функціонують відповідно до найдоцільнішої системи організації повітряних потоків внутрішнього середовища data-центру (що встановлено за результатами аналітичних вишукувань у п. 1.3 цієї роботи) – з надходженням охолоджуючого агенту через решітки фальш-підлоги (рис. 2.2). Схема керування системами кліматозабезпечення в такому разі доповнюється додатковими інфраструктурними блоками: генераторами резервного живлення (рис. 2.16), системою холодозабезпечення (рис. 2.17), батареями безперебійного живлення (рис. 2.18), системи контролю живлення (рис. 2.19) та власне ЦОД (рис 2.20).



Рисунок 2.16 – Компонування та облаштування системами автоматизації генератору резервного живлення



Рисунок 2.17 – Компонування та облаштування системами автоматизації блоку охолоджуючих чилерів

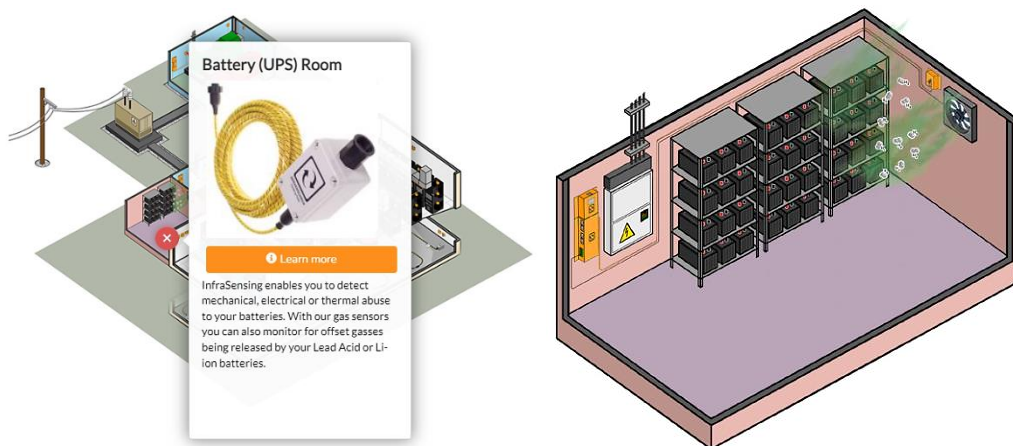


Рисунок 2.18 – Компонування та облаштування системами автоматизації блоку батарей безперебійного живлення

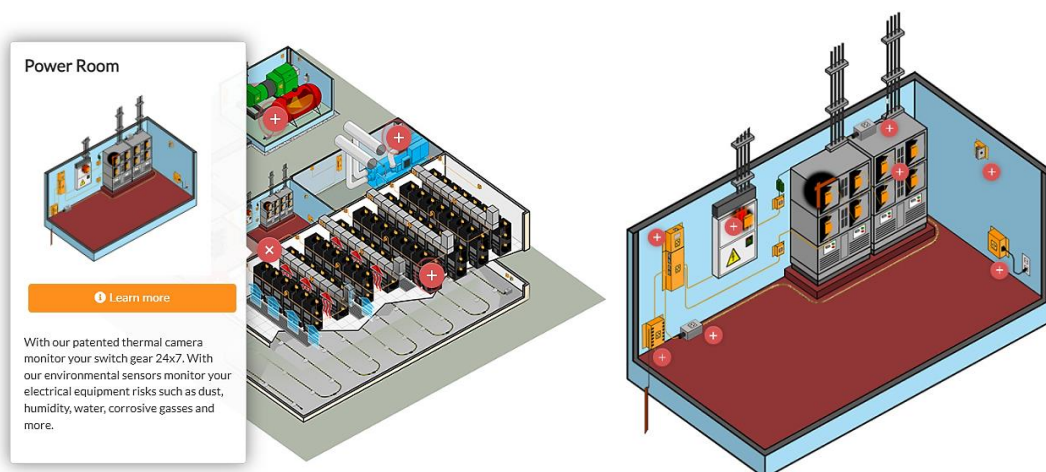


Рисунок 2.19 – Компонування та облаштування системами автоматизації блоку керування живленням ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

44

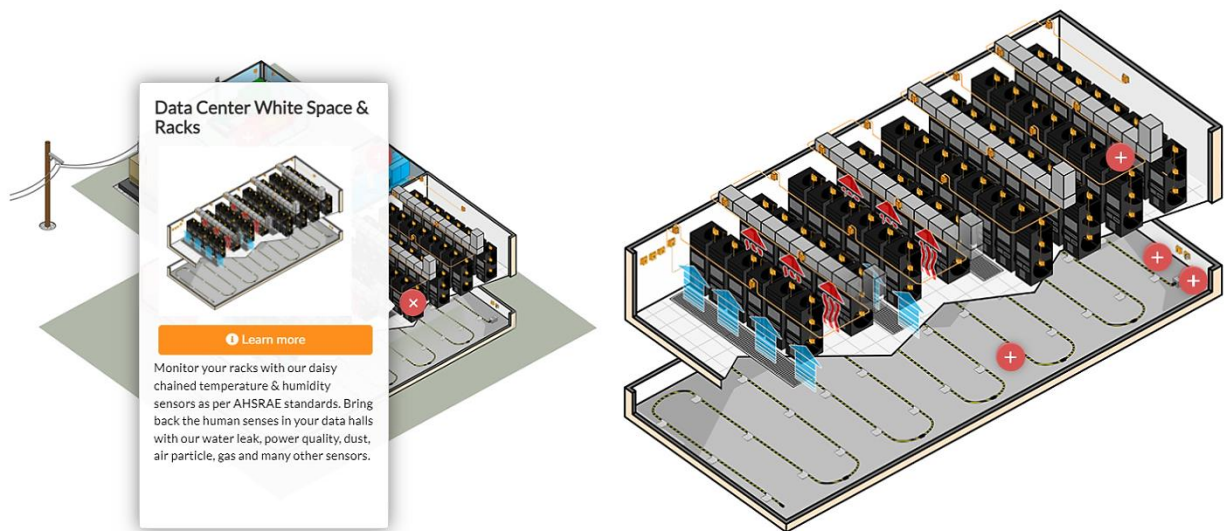


Рисунок 2.20 – Компонування та облаштування системами автоматизації приміщень з серверним обладнанням ЦОД

ЦОД великої обчислювальної потужності пропонується облаштовувати сенсорними давачами температурно-вологісного режиму – рис. 2.21 [30 – 41].

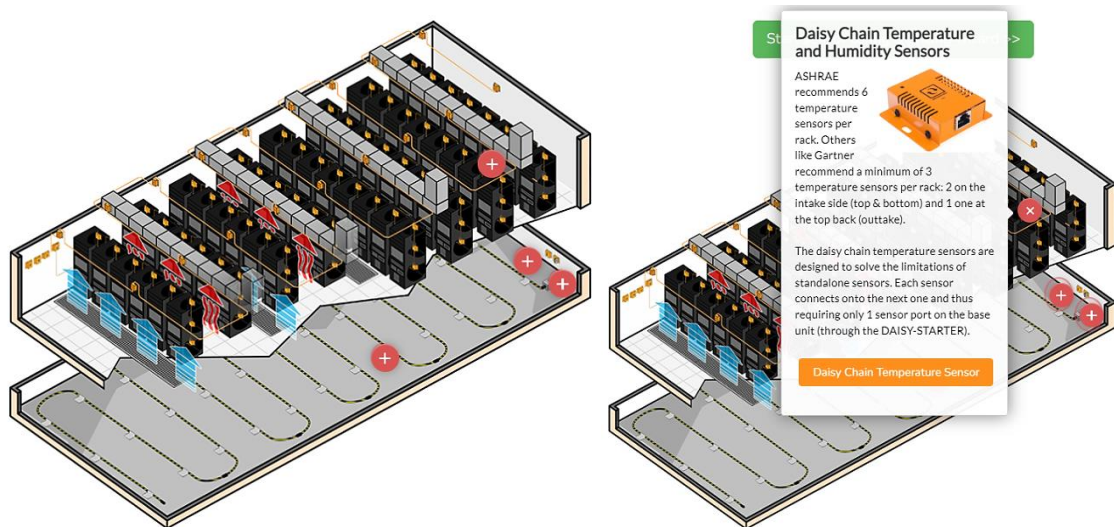


Рисунок 2.21 – Облаштування великих ЦОД сенсорними давачами температурно-вологісного режиму

Датчики температури та вологості Daisy Chain. Датчики температури шлейфового ланцюга розроблені для вирішення обмежень автономних датчиків. Кожен датчик підключається до наступного, тому на базовому блоці потрібен лише 1 порт датчика (через DAISY-STARTER) [30 – 41].

Завдяки цьому унікальному ланцюжковому датчику оператори центрів обробки даних можуть моніторинг серверного обладнання за меншою вартістю володіння порівняно з

більшістю дротових і бездротових рішень. Використовуючи лише один базовий блок та одну IP-адресу, у ваших стійках можна розмістити до 20 датчиків температури. Відповідно до стандартів ASHRAE [10], це означає, що за допомогою одного базового блоку ви можете контролювати до 3 серверів з 6 датчиками на стійку. Датчик DAISY-STARTER* підключається до базового блоку. За допомогою простих кабелів RJ45 до DAISY-STARTER можна підключити до 20 додаткових датчиків DAISY-TEMP. Це робить пристрій датчиком температури на основі Ethernet для контролю температури в 30* точках всередині стійки. Сповіщення електронною поштою, SMS, голосовим дзвінком. Інтегрується з платформами BMS за допомогою протоколу Modbus TCP. Або з системами NMS через SNMP GET і SNMP TRAPS – рис. 2.22, табл. 2.6 [30 – 41].

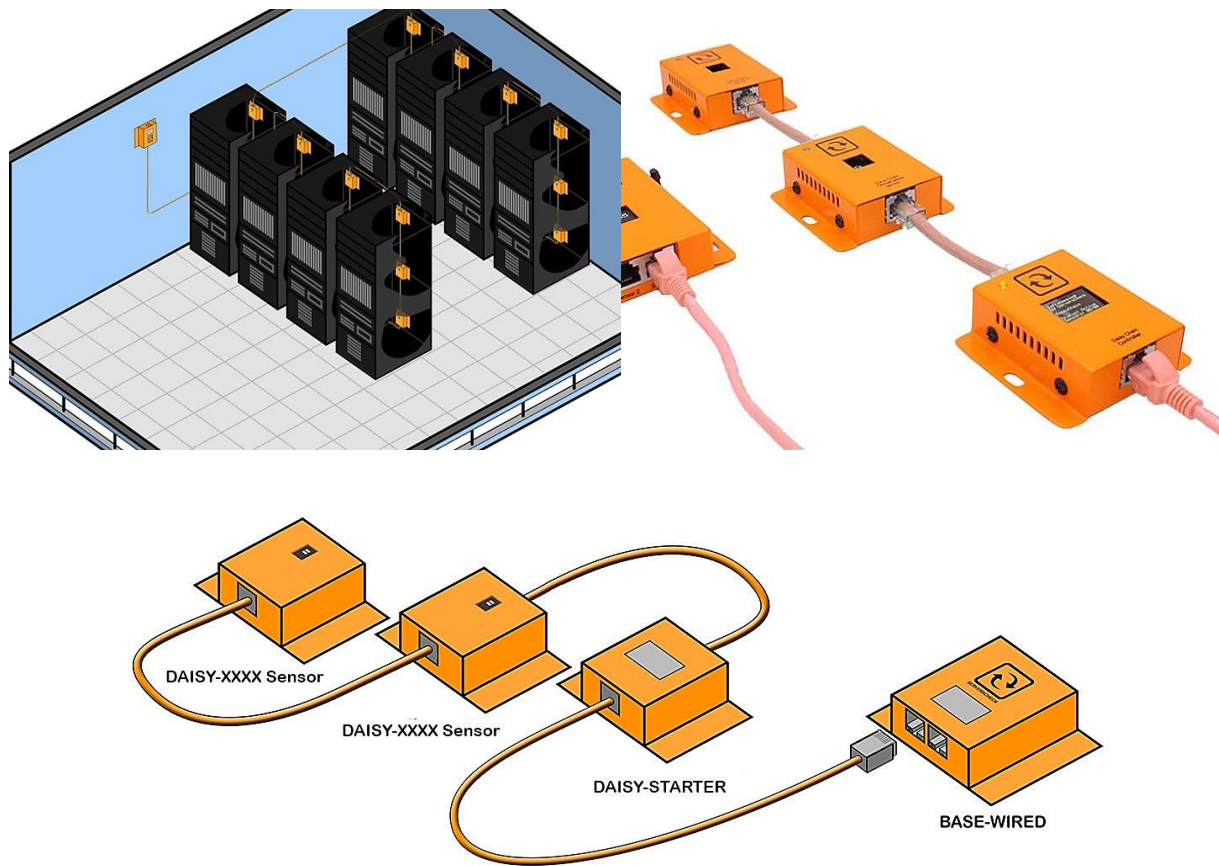


Рисунок 2.22 – Загальний вид та схема приєднання Daisy Chain

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика датчиків температури і вологості Daisy Chain

General Description	
Designed for monitoring temperature levels inside data centers, server rooms, cabinets and other critical facilities.	
Key Features	
<ul style="list-style-type: none"> - Plugs into the base unit (BASE-WIRED). - Powered by the base unit (BASE-WIRED). - Compact plug & play sensor. - 0U rack or wall mountable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Steel inclosure. Industrial Grade. - Alerts via SNMP Traps, email, SMS or voice calls. - Optional calibration certificates available. - Only 1 IP address required for every 20 temperature sensors.
Technical Specifications	
Power Source	SensorGateway (BASE-WIRED), power adapter 12V 2A is required for more than 10 Sensors
Power Usage	60 mW
Temperature Resolution	0.1°C (0.18)°F precision
Temperature Accuracy	+/- 0.5°C (+/- 0.9 °F) from -10°C to +85°C / 14°F to 185°F
Temperature Reading	-55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
Reading Unit	in Celsius or Fahrenheit
Environmental and Physical Specification	
Operating temperature range	0°C to +75°C (32°F to +167°F)
Humidity (operating and storage)	< 90% rH (non-condensating).
Dimensions	74 mm (2.9") x 66 mm (2.59") x 22 mm (0.8")
Weight	0.12kg (0.26 lbs.)
Maximum Length of Daisy Chain	20 sensors per base unit within 100m/330ft total length

Інші системи автоматизації функціонують подібно до аналогічних засобів, що застосовуються до data-центрів малої та середньої обчислювальної потужності.

2.3 Розробка контурів контролю та керування

У серверних кімнатах у центрах обробки даних хмарних обчислень температура зазвичай повинна бути у межах, рекомендованих ASHRAE [10], щоб уникнути перегріву сервера. Належне охолоджувальне обладнання має бути розроблене для забезпечення постійної температури, а також для точного контролю вологості, щоб уникнути статичної електрики або конденсату. Зі збільшенням щільності серверів у приміщеннях системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) вимагають високої надійності та безпеки, високоефективних двигунів та підвищеного рівня інтеграції [42 – 47].

У якості контуру контролю та керування пропонується розробка керуючої системи до приводу елемента (наприклад кондиціонеру, вентилятору або дилеру) системи кліматозабезпечення ЦОД (зокрема кондиціонування), що функціонує на базі мікропроцесорного контролера з використанням ПІ-закону керуючого впливу – рис. 2.23 [42 – 47].

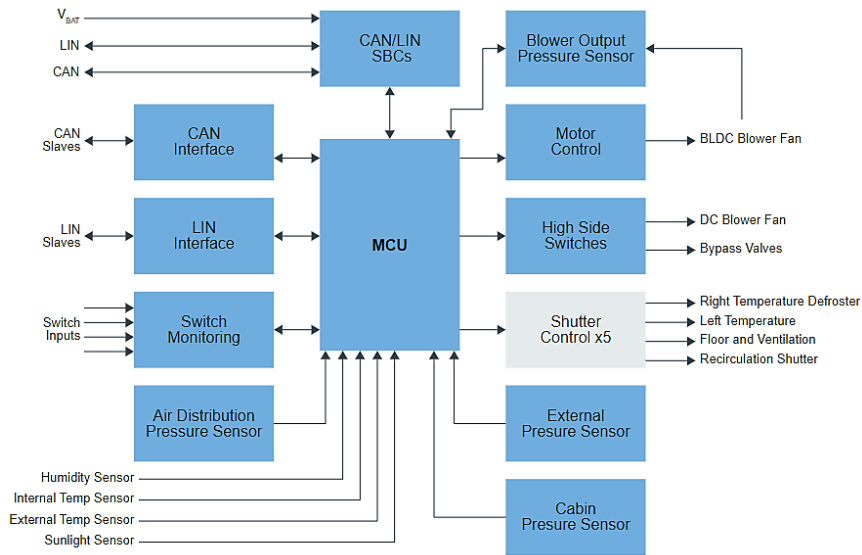


Рисунок 2.23 – Структурна схема мікропроцесорного контролера для керування приводом елемента системи кліматозабезпечення ЦОД

З метою визначення ефективності функціонування виконаємо відповідне моделювання пропонованого контуру контролю та керування приводом елемента кліматозабезпечення ЦОД. Проектна модель пропонованого контуру керування сформована на рис. 2.24 [42 – 47].

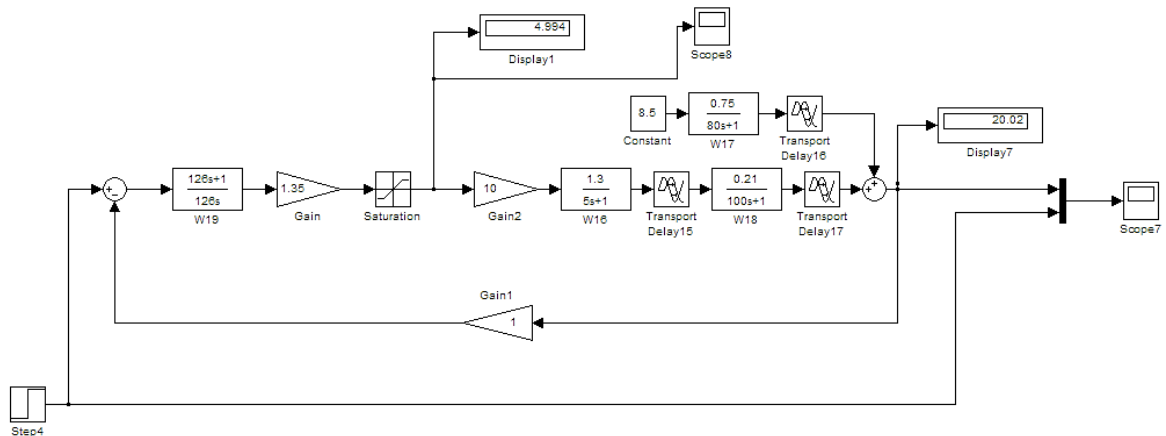


Рисунок 2.24 – Проектна модель пропонованого контуру керування

Передаточна функція, що керує приводом елемента системи кліматозабезпечення ЦОД – ф. 2.1 [42 – 47]:

$$W_o = \frac{k_1 \times k_2}{(T_1 p + 1) \times (T_2 p + 1)} = \frac{1,3 \times 0,21}{(5 p + 1) \times (100 p + 1)} \quad (2.1)$$

Передаточна функція ПІ-регулятора – ф. 2.2 [42 – 47]:

$$W_p = k_p \times \frac{(T_u p + 1)}{T_u p}, \quad (2.2)$$

де k_p , T_u – відповідні параметри ПІ-регулятора, що визначаються за ф. (2.3), (2.4) [42 – 47]:

$$k_p = \frac{(T_1 + T_2)}{k_o \tau} = \frac{5 + 100}{0,273 \times 10} = 38,5; \quad (2.3)$$

$$T_u = T_1 + T_2 = 5 + 100 = 105. \quad (2.4)$$

Перехідні характеристики по каналах завдання та збурення наведені на рис. 2.25, 2.26 [42 – 47].

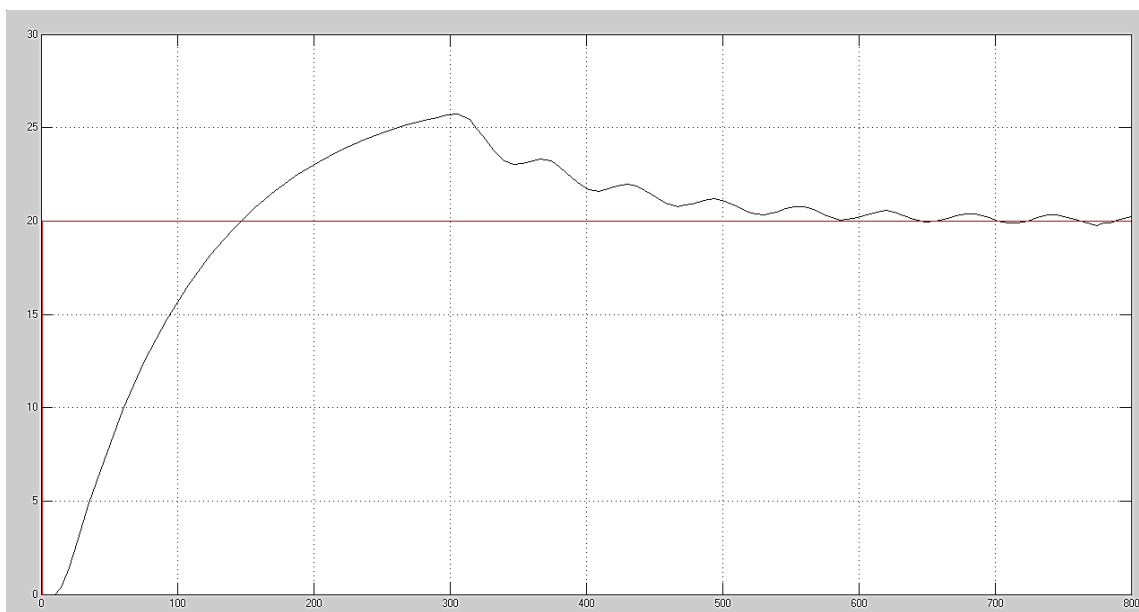


Рисунок 2.25 – Перехідна характеристика каналу завдання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

49

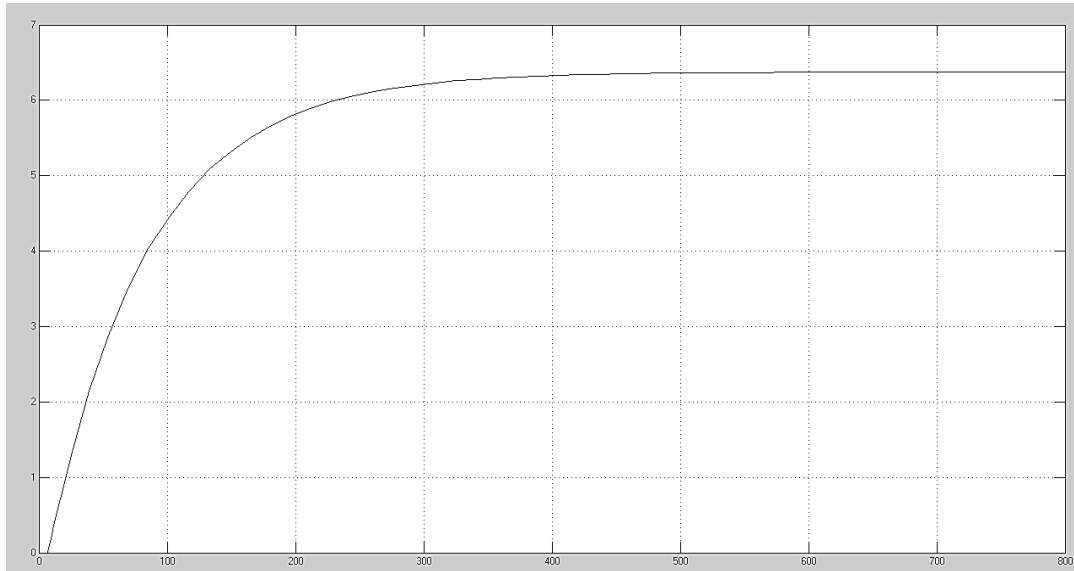


Рисунок 2.26 – Перехідна характеристика контуру по каналу збурення

З графіка (рис. 2.26) виходить, що перехідний процес має значні коливання, тому для оптимізації застосуємо поправочні коефіцієнт – ф. (2.5) [42 – 47]:

$$k_p = k_p \times 0,35 = 38,5 \times 0,35 = 13,5;$$

$$T_u = T_u \times 1,2 = 105 \times 1,2 = 126. \tag{2.5}$$

На рис. 2.27, 2.28 представлені перехідні характеристики зі скоригованими коефіцієнтами.

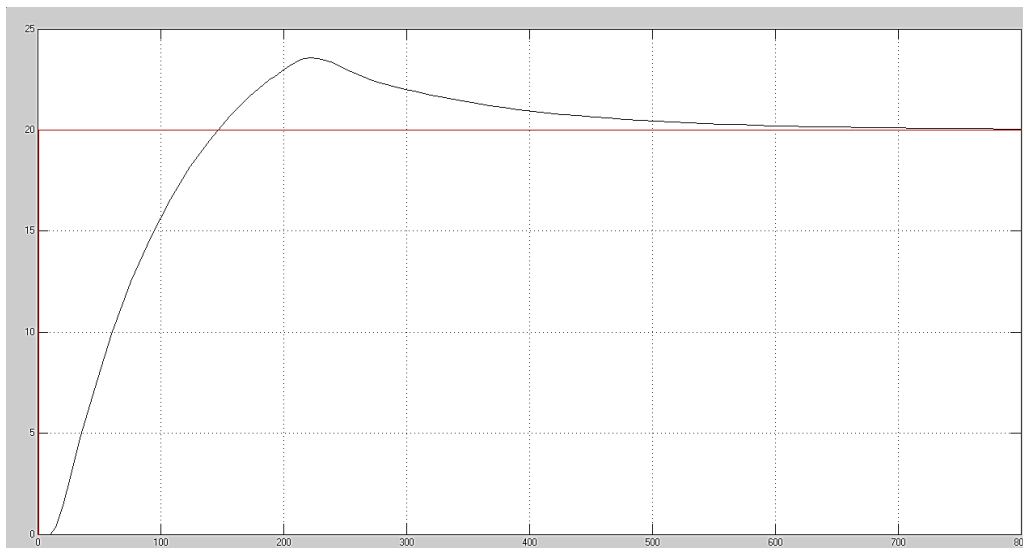


Рисунок 2.27 – Перехідна характеристика каналом завдання зі скоригованими коефіцієнтами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

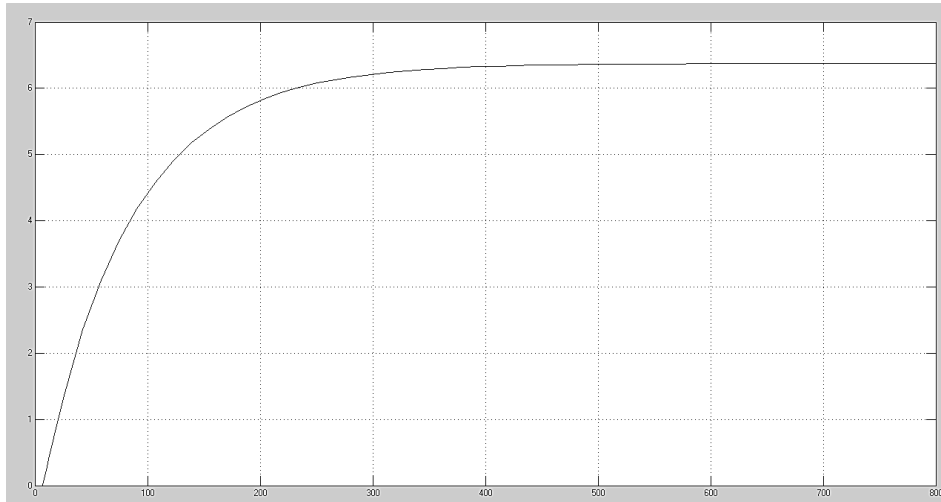


Рисунок 2.28 – Перехідна характеристика каналу збурення зі скоригованими коефіцієнтами

Перехідна характеристика по каналу збурення має таку форму, тому що у складі регулятора присутня ланка, яка обмежує вихідний сигнал регулятора в діапазоні 0-10 постійного струму. Також у складі регулятора приводу елемента системи кліматозабезпечення ЦОД, що представлена передаточною функцією з підсилювальним ланкою, у якої передавальний коефіцієнт складає 10.

На рисунках нижче представлено графік вихідного сигналу регулятора під час коригувальних операцій [42 – 47].

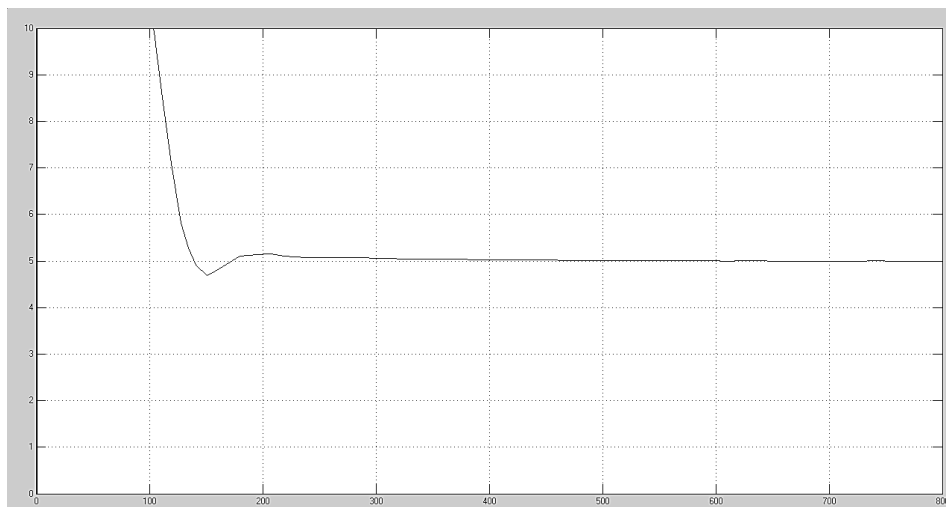


Рисунок 2.29 – Графік вихідного сигналу регулятора під час перехідного процесу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

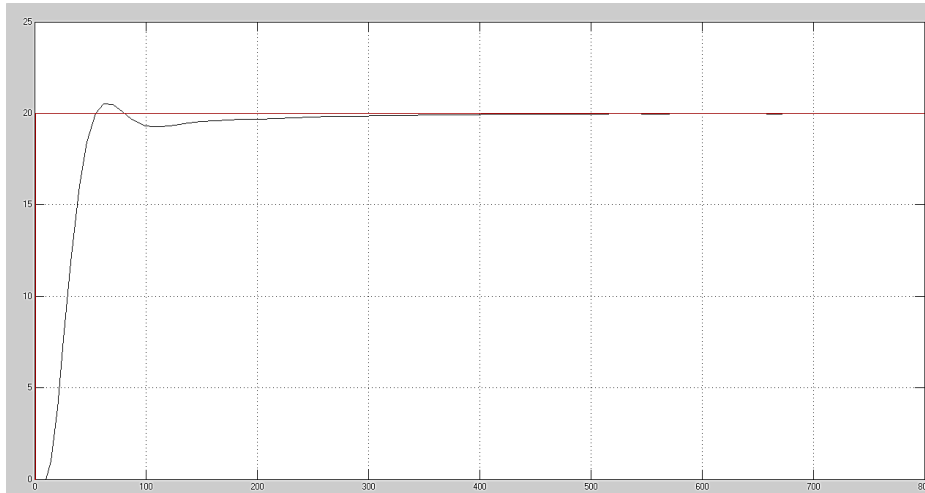


Рисунок 2.30 – Перехідна характеристика каналу завдання без обмеження вихідного сигналу регулятор

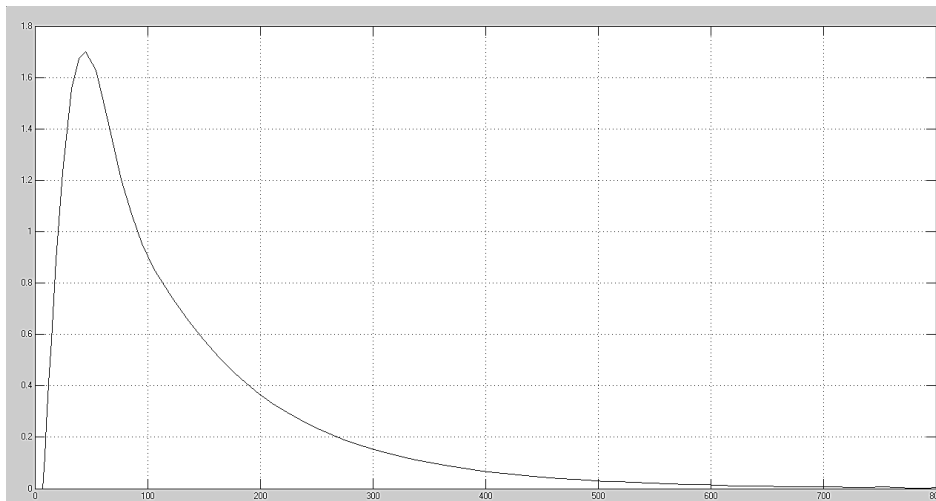


Рисунок 2.31 – Перехідна характеристика каналу збурення без обмеження вихідного сигналу регулятора

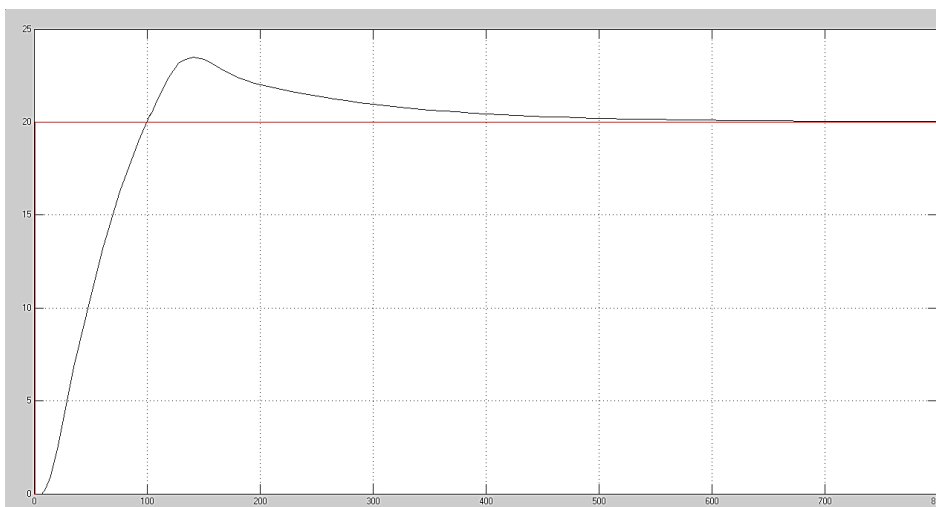


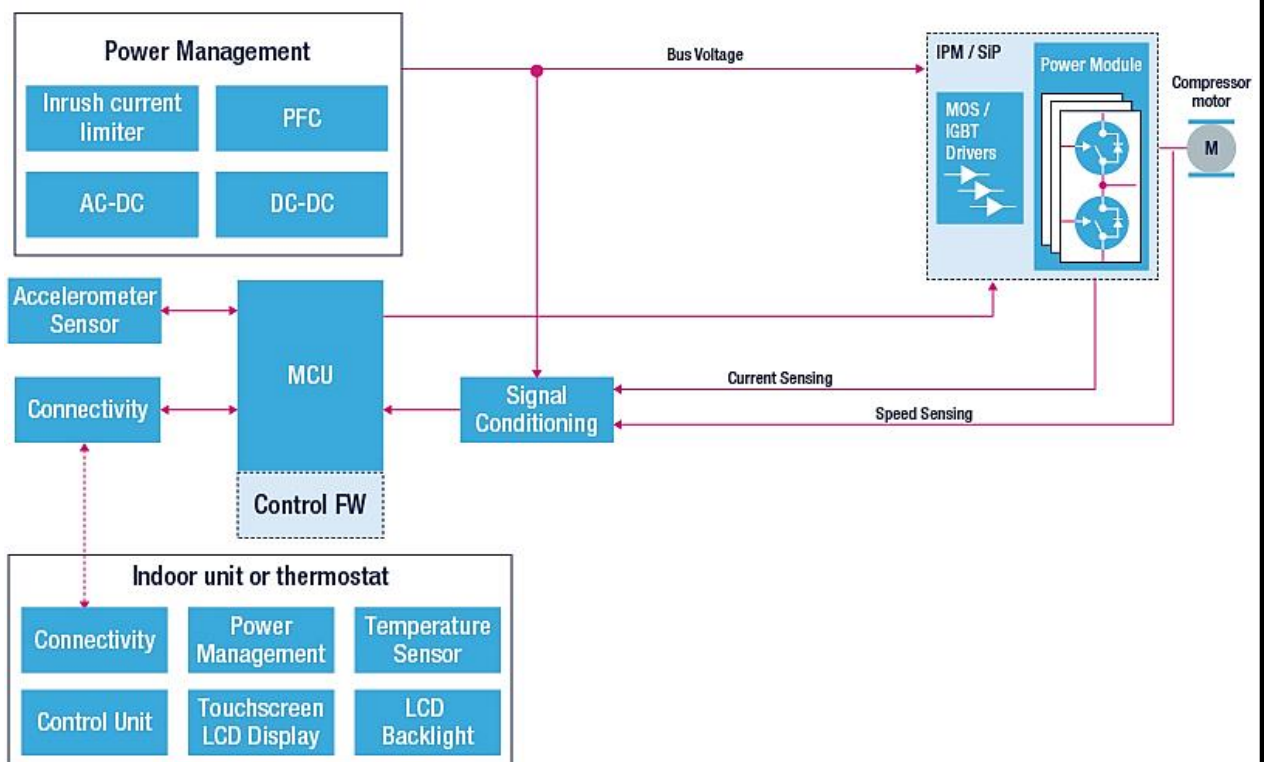
Рисунок 2.32 – Перехідна характеристика контуру

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таким чином, забезпечено стабільне функціонування регулятора приводу елемента системи кліматозабезпечення ЦОД, що дозволить пропонованому контуру інтегруватись до пропонованої схеми моніторингу і автоматизації температурно-вологісного режиму експлуатації серверного обладнання data-центру.

2.4. Розробка виконавчих схем проектної системи автоматизації

Функціональна схема керування приводом елемента кліматозабезпечення ЦОД функціонує завдяки зв'язку основних комплексів (рис. 2.33) [42 – 47]: мікропроцесорного контролера MCU, здавачів Indoor unit thermostat, блоку керування живленням Power Management, блоку керування приводом IPM/SIP.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

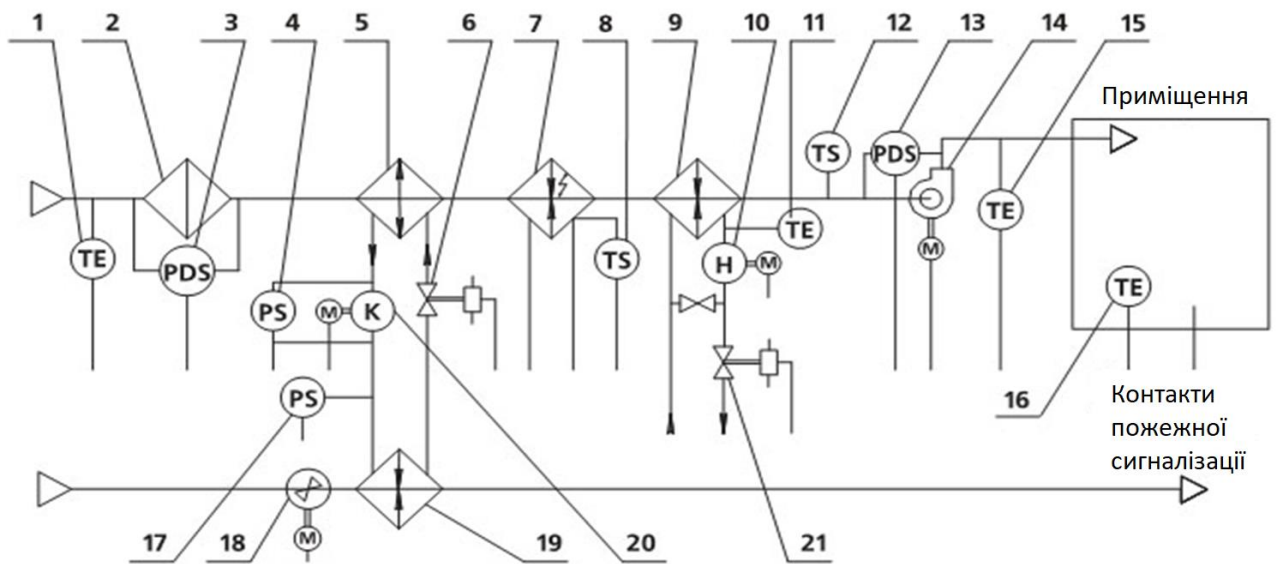


Рисунок 2.33 – контур керування приводом елемента кліматозабезпечення ЦОД (кондиціонування) (1 - Датчик зовнішньої температури, 2 - Фільтр осередковий, 3 - Датчик перепаду тиску, 4 - Здвоєне реле тиску, 5 - Фреоновий повітроохолоджувач по воді, 6 - Соленоїдний вентиль, 7 – Електрокалорифер, 8 - Датчик захисту від перегріву, 9 - Водяний повітронагрівач, 10 - Циркулярний насос, 11 - Датчик температури зворотної води, 12 - Датчик загрози заморозування повітрям, 13 - Датчик температури руху повітрям, 14 – Вентагрегат, 15 - Датчик температури каналний, 16 - Датчик температури, 17 - Реле тиску, 18 - Вентилятор осьового конденсатора, 19 - Повітряний конденсатор, 20 – Компресор, 21 - Клапан водяного повітронагрівача)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

54

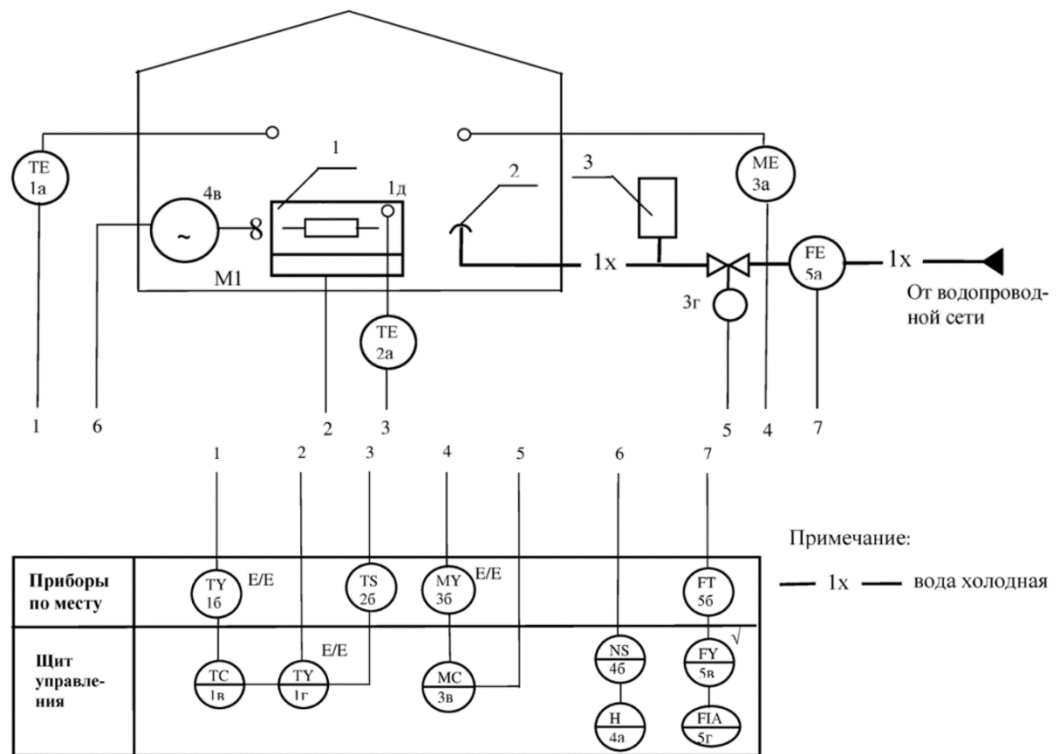


Рисунок 2.34 – Контур керування приводом елементу кліматозабезпечення ЦОД
(осушка повітря та вологість)

Повна функціональна схема – Додаток А

- 1а, 1б - Термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом,
- 1в - ПДД регулятор,
- 1г - Керований перетворювач змінної напруги (блок управління симисторами та тиристорами),
- 1д - Повітрянагрівачі електричні ПНЕ (сучасний аналог калориферів СФО) застосовуються для комплектації агрегатів повітря,
- 2а, 2б - Датчик реле температури,
- 3а, 3б - Датчик відносної вологості повітря (ємнісний сенсор),
- 3в - Регулятор вологості,
- 3г - Клапан електромагнітний,
- 4в - Вентиляційна установка з вентилятором відцентрового типу,
- 4а - Пост кнопковий: один штовхач розмикаючих контакт червоний колір); один штовхач замикаючих контактних ланцюгів (чорний колір);
- 4б - Магнітний пускач нерEVERсивний,
- 5а - Первинний перетворювач,
- 5б - Перетворювач різниці тисків аналоговий,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

55

5в - Блок живлення з кореневидною характеристикою,

5г - Прилад аналоговий, що показує, сигналізує, межа основної наведеної похибки, що допускається.

Мікропроцесорний контролер MCU має наступні технічні характеристики (рис. 2.34) [42 – 47]:

- матриці шин AXI і multi-AHB для з'єднання ядра, периферійних пристроїв і пам'яті;
- до 16 Кбайт +16 Кбайт I-кешу та D-кешу;
- до 2 Мбайт вбудованої флеш-пам'яті з можливістю читання-під час-запису на певних пристроях;

- два контролери DMA загального призначення та спеціальні контролери DMA для Ethernet (у деяких варіантах), високошвидкісний інтерфейс USB On-The-Go та графічний прискорювач Chrom-ART (у деяких варіантах);

- периферійна швидкість не залежить від швидкості ЦП (підтримка подвійного тактового сигналу), що дозволяє змінювати системний годинник без будь-якого впливу на периферійні операції;

- ще більше периферійних пристроїв, таких як два послідовних аудіоінтерфейси (SAI) з підтримкою виходу SPDIF, три напівдуплексні інтерфейси I²S з підтримкою входу SPDIF, два інтерфейси USB OTG із виділеним джерелом живлення та дворезимний інтерфейс флеш-пам'яті Quad-SPI;

- велика SRAM з розсіяною архітектурою:
 - до 512 Кбайт універсальної пам'яті даних, у тому числі до 128 Кбайт тісно пов'язаної пам'яті для даних (DTCM) для обробки критичних за часом даних (stack, heap...);

- 16 Кбайт тісно пов'язаної пам'яті для інструкцій (ITCM) для важливих за часом процедур;

- 4 Кбайти резервної SRAM для збереження даних у режимах з найнижчим енергоспоживанням;

- функція захищеного виконання коду (PC-ROP) у деяких варіантах;

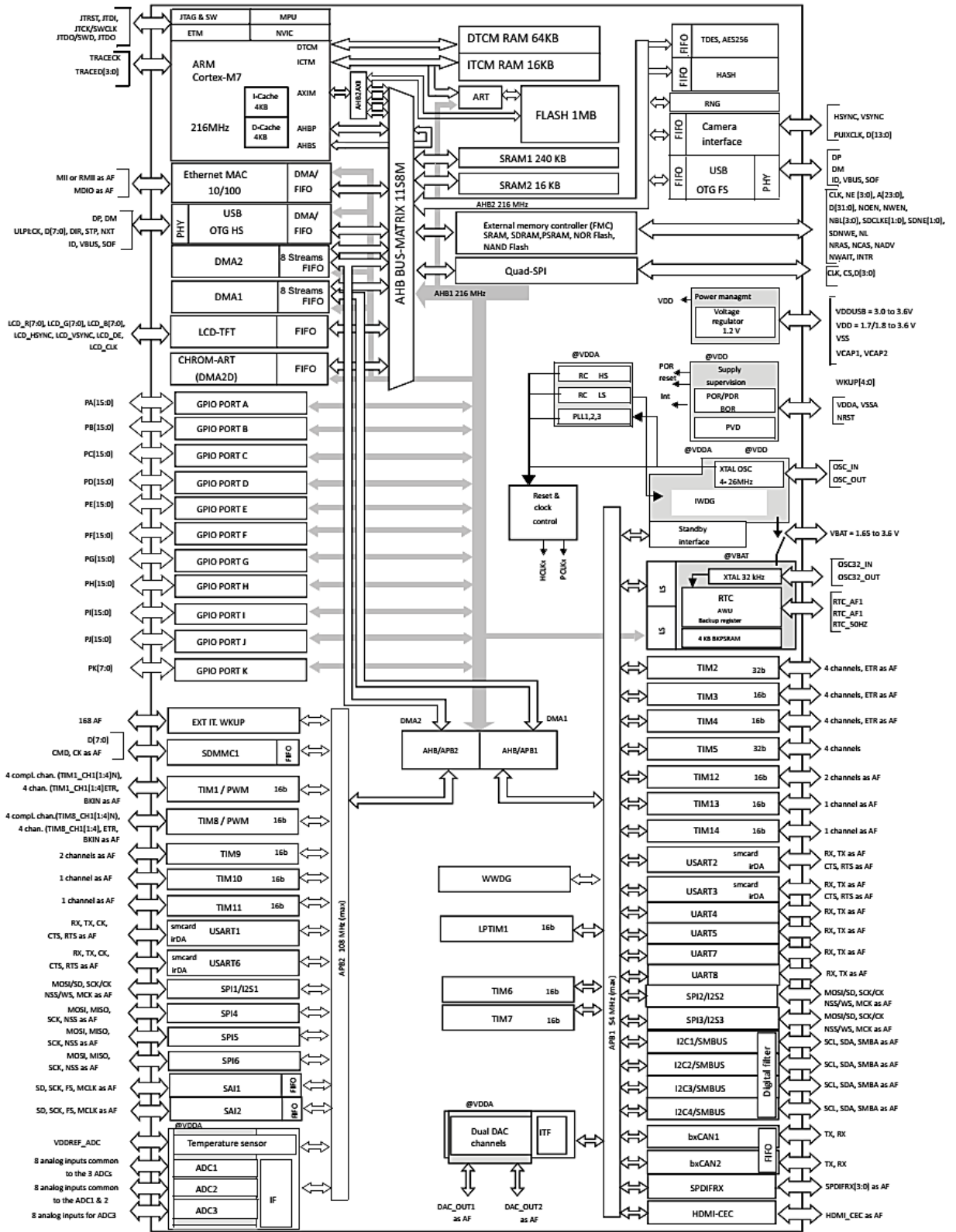
- вбудований USB високошвидкісний PHY на деяких варіантах;

- енергоефективність:

- 7 CoreMark/мВт при 1,8 В;

- типове споживання струму 100 мкА в режимі зупинки зі збереженим контекстом та SRAM.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

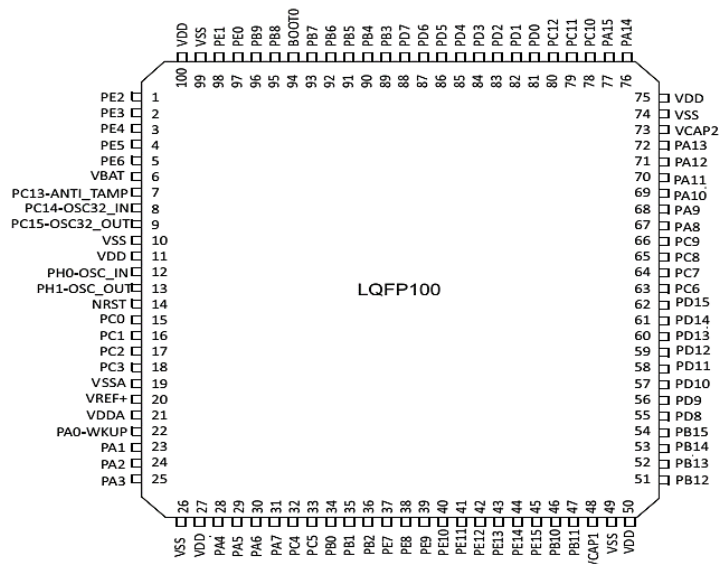


MS34160V2

Рисунок 2.35 – Блок-схема мікропроцесорного контролера MCU

Розпінування мікропроцесорного контролера MCU представлено на рис. 2.36 [42 – 47].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------



MSV34171V2

Рисунок 2.36 – Розпінування мікропроцесорного контролера MCU

Мікропроцесорний контролер базується на високопродуктивному 32-розрядному ядрі ARM Cortex-M7, що працює на частоті до 216 МГц. Ядро Cortex-M7 має єдину точність з плаваючою комою (SFPU), яка підтримує всі інструкції та типи даних ARM з одинарною точністю. Він також реалізує повний набір інструкцій DSP і блок захисту пам'яті (MPU), що підвищує безпеку програми. Пристрої STM32F756xx включають високошвидкісні вбудовані пам'яті з флеш-пам'яттю до 1 Мбайт, 320 Кбайт SRAM (включаючи 64 Кбайт RAM даних TCM для критичних даних у реальному часі), 16 Кбайт RAM TCM з інструкціями (для критичного режиму реального часу підпрограм), 4 Кбайти резервної SRAM, доступної в режимах з найнижчим енергоспоживанням, і широкий спектр розширених ввідів-виводів і периферійних пристроїв, підключених до двох шин APB, двох шин AHB, 32-розрядної матриці шини multiAHB і багаторівневого з'єднання AXI з підтримкою доступ до внутрішньої та зовнішньої пам'яті [42 – 47].

Мікропроцесорний контролер містить три 12-розрядних АЦП, два ЦАП, RTC з низьким енергоспоживанням, тринадцять 16-бітних таймерів загального призначення, включаючи два ШІМ таймери для керування двигуном і один малопотужний таймер, доступний у режимі зупинки, два загальних 32-розрядних таймера. таймери, справжній генератор випадкових чисел (RNG) і осередок криптографічного прискорення. Вони також мають стандартні та розширені комунікаційні інтерфейси.

Безпосереднє керівництво приводом елемента кліматозабезпечення ЦОДЮ, що координується мікропроцесорним контролером здійснюється блоком керування на базі технології SLLIMM Intelligent Power Modules (рис. 2.37) – сімейство компактних

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високоєфективних дворядних інтелектуальних силових модулів (ІРМ) з додатковими додатковими функціями SLLIMM (Small Low-Loss Intelligent Molded Module). Вони забезпечують високий рівень інтеграції, що означає спрощену схему схеми, зменшену специфікацію, меншу вагу та високу надійність. Серія SLLIMM може поєднувати шість перемикачів живлення (IGBT, MOSFET та SJ-MOSFET) та драйвери в інверторній конфігурації, що забезпечує найкращу конфігурацію. компроміс між енергією провідності та перемикання з надзвичайною надійністю та поведінкою ЕМІ [42 – 47].

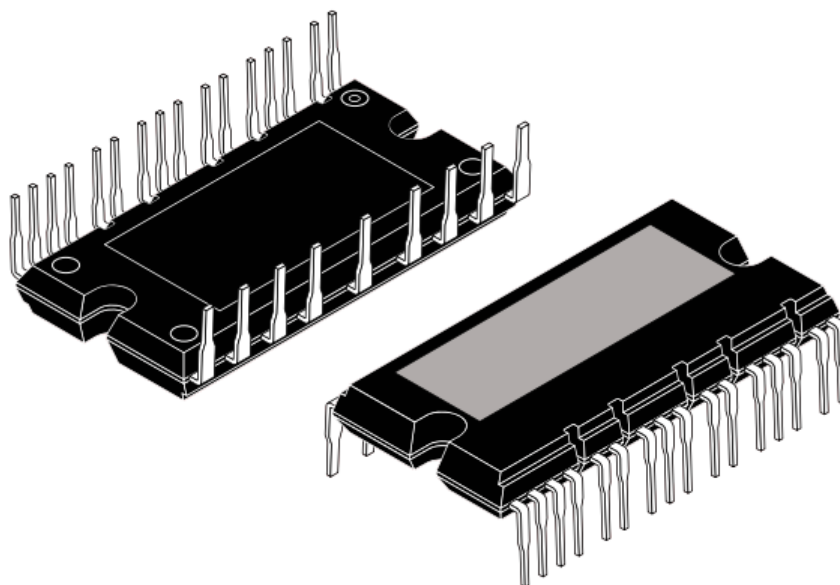


Рисунок 2.37 – Загальний вид SLLIMM Intelligent Power Modules

Технічні характеристики:

- ІРМ 30 А, 600 В 3-фазний інверторний міст IGBT, включаючи інтегральні мікросхеми керування для діодів керування затвором і вільним ходом;
- надійних захист від КЗ на базі технології IGBT;
- 3,3 В, 5 В, 15 В CMOS/TTL вхідні компаратори з гістерезисом і підтягуючими резисторами;
- функція блокування зниженої напруги;
- внутрішній бутстрап діод;
- функція блокування
- функція вимкнення
- DBC, що призводить до низького термічного опору;
- потужність ізоляції 2500 В/хв;
- 4,7 кОм NTC для контролю температури.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Розпінування та внутрішня блок-схема SLLIMM Intelligent Power Modules на водиться на рис. 2.37, 2.38 відповідно. Схема керування приводом елементу кліматозабезпечення ЦОД на базі SLLIMM Intelligent Power Modules виконана на рис. 2.40 [42 – 47].

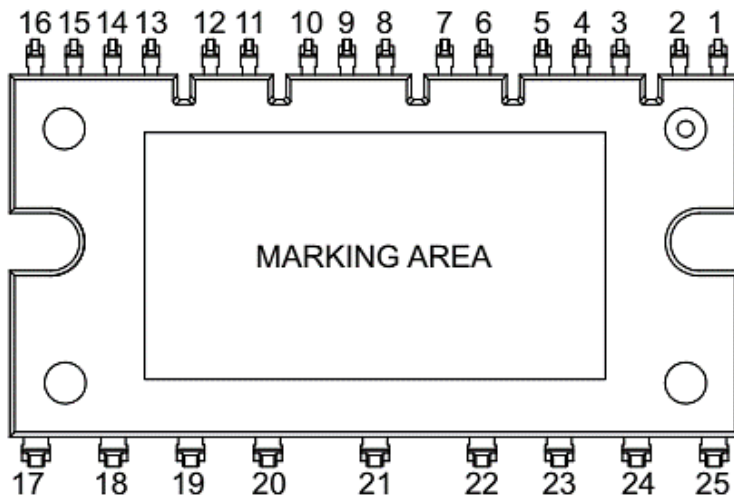


Рисунок 2.38 – Розпінування SLLIMM Intelligent Power Modules

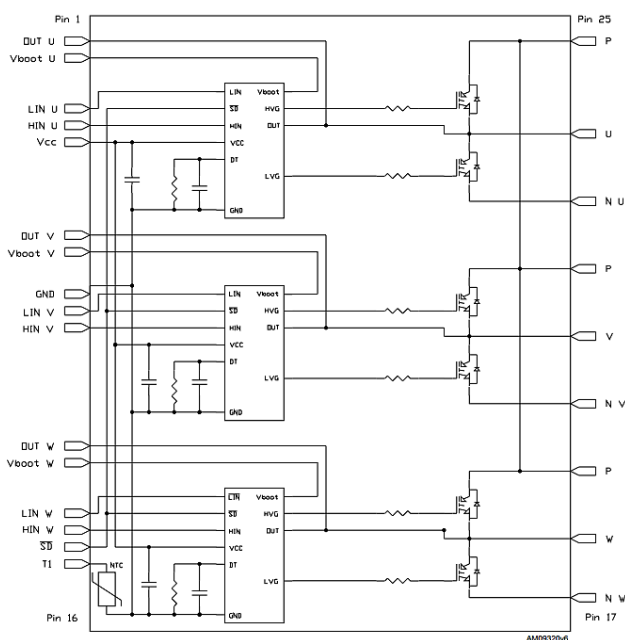


Рисунок 2.39 – Внутрішня блок-схема SLLIMM Intelligent Power Modules

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ЦЕНТРІ ОБРОБКИ ДАНИХ

3.1 Формування алгоритму функціонування системи автоматизації

Розробка керуючих систем та алгоритмів кліматозабезпечення ЦОД базується на оптимізації основних параметрів функціонування серверного обладнання. Серед них: розподілена енергія/потужність охолодження для системних вентиляторів, споживана потужність для охолодження при типових робочих температурах сервера в роботі центру обробки даних, зазвичай у рекомендованому діапазоні 18–27°C, оптимізоване підвищення температури повітряного потоку через сервер, який зазвичай становить до 20°C між входом і випуском сервера. Кількість енергії, яка зазвичай виділяється на ефективне охолодження сервера, становить близько 10% від споживаної енергії системи, а справжнє споживання електроенергії в діапазоні 3–5% для ефективних систем у рекомендованому діапазоні робочих температур для серверів [24 – 29].

Проектування систем кліматозабезпечення ЦОД обмежено необхідністю збалансувати вектори продуктивності, вартості експлуатації та вартості придбання обладнання та комунікацій, а також надійність роботи серверного обладнання, яке чутлива до робочої температури. Стандартні моделі надійності використовують підходи, засновані на енергії активації, де константа Арреніуса може визначати відносні обмеження проектування системи кліматозабезпечення ЦОД.

На додаток до впливу робочих температур пристроїв, відносна вологість навколишнього середовища може накласти набагато більший тягар на частоту відмов основних компонентів, таких як накопичувачі, пам'ять, процесори та джерела живлення. Наприклад, нещодавнє дослідження роботи системи в великого центра обробки даних задокументувало сильніший вплив змін вологості на частоту відмов обертових дисків порівняно з фактичною робочою температурою пристроїв [24 – 29].

Надмірна пропускна здатність повітря для систем кліматозабезпечення може посилити наслідки недосконалого контролю внутрішнього середовища в центрі обробки даних. Стандарти ASHRAE [10] вимагають, щоб якість повітря підтримувалася в проектних режимах, відтак моніторинг, необхідний для надійної роботи серверного обладнання data-центрів.

Кожен компонент системи має наступні теплотехнічні показники, яких необхідно дотримуватися, щоб забезпечити функціональну та надійну роботу. У деяких технічних

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

паспортах постачальники пристроїв включають робочу температуру 55°C або 70°C, яка зазвичай визначається як температура навколишнього повітря для вхідного охолоджуючого середовища для сервера. Для адекватної оцінки вимог до охолодження важливо визначити, чи є вказане значення температури температурою повітря чи температурою з'єднання/корпуса пристрою.

Ці значення включають [24 – 29]:

- мінімальна робоча температура: це температура, нижче якої час сигналу пристрою не перевіряється контролером. Прикладом цього значення є типове значення 0°C для процесора;
- максимальна робоча температура: це температура, вище якої пристрій не буде працювати з прийнятною якістю сигналу і почне регулюватися. Її ще називають максимальною температурою переходу. Прикладом цього значення є 90–100°C для процесорів або 95°C для модулів пам'яті;
- критична температура: це температура, при якій відбудеться непоправне пошкодження обладнання. У багатьох випадках система вимикається, перш ніж досягне цієї температури. Прикладом цього значення є приблизно 120°C для типового кремнію і приблизно 65°C для HDD;
- надійна робоча температура: це очікувана нормальна робоча межа, коли пристрій може працювати 24×7 протягом заявленого терміну експлуатації. Зазвичай процесори можуть надійно працювати в діапазоні 70–80°C, тоді як накопичувачі мають робочу температуру 50°C. У моделях з прогнозуванням надійності для оптимізованих робочих температур передбачається, що споживана потужність компонентів не буде на цьому граничному тепловому проектному стані потужності для безперервної роботи. Передбачається, що коефіцієнт використання пристроїв знаходиться в діапазоні ~50–70%, щоб визначити споживану потужність для стану, в якому слід вимірювати теплову поведінку пристрою в порівнянні з його прогнозованою надійністю. У прикладі процесора Intel Xeon 6148 з TDP 150 Вт і максимально дозволеною робочою температурою 96°C, процесор може працювати при 86°C, що відповідає типовому режиму живлення 100 Вт.

Рішення з організації системи кліматозабезпечення ЦОД повинні враховувати режими як для максимальної, так і для типової робочої температури для конструкції системи. Якщо дозволити пристрою працювати близько до максимальної робочої температури, це може значно вплинути на термін служби системи, і цієї ситуації слід уникати. Хоча перевага зниження температури на 10°C є критичною для підвищення надійності, а подальше зниження температури ще більше покращить надійність, наслідок цієї зміни може значно вплинути на кількість повітряного потоку, необхідного для досягнення цієї мети [24 – 29].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Рис. 3.1 ілюструє конкретний приклад визначення витрати повітряного потоку, необхідного для зниження робочої температури процесора.

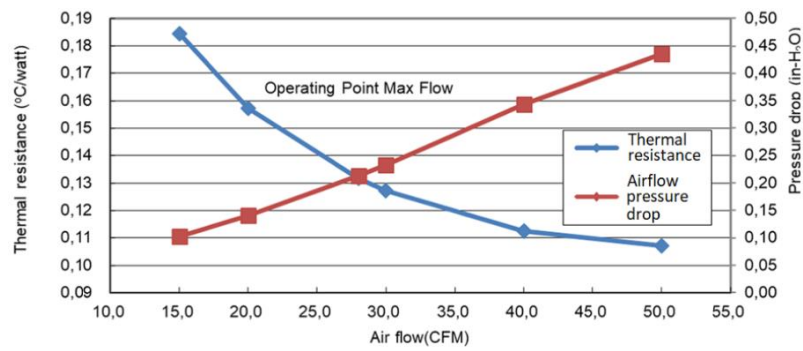


Рисунок 3.1 – Визначення витрати повітряного потоку, необхідного для зниження робочої температури процесора

На підставі визначених параметричних вишукувань сформуємо алгоритму функціонування системи автоматизації системи кліматозабезпечення ЦОД – рис. 3.2.

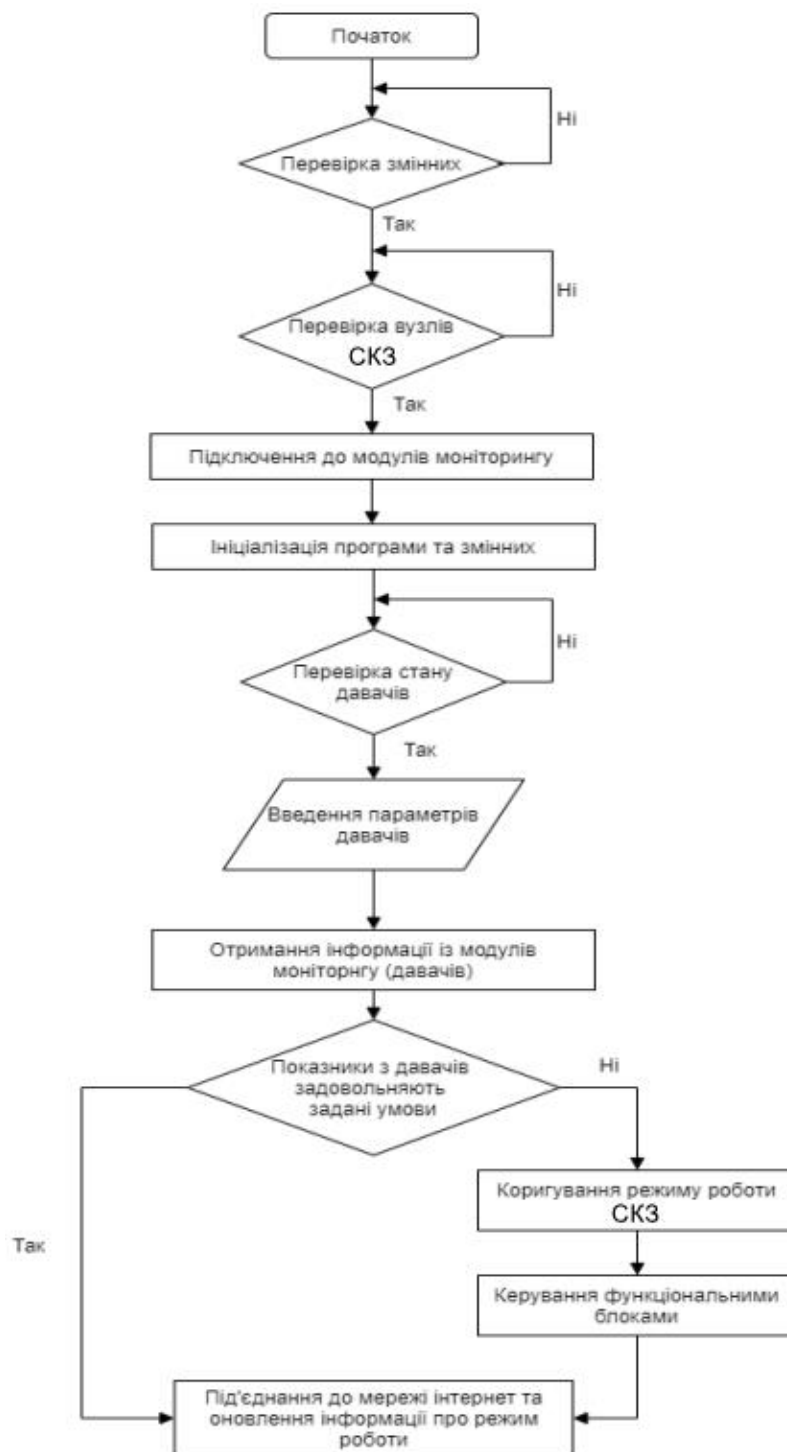


Рисунок 3.2 – Алгоритм функціонування системи автоматизації системи кліматозабезпечення (СКЗ) ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2 Програмні засоби реалізації функціонування проектної системи автоматизації

Для реалізації керуючих функцій системи автоматизації кліматозабезпечення ЦОД виконаємо розробку програмних засобів у програмному середовищі C++.

Функціонування температурного давача реалізується з застосуванням бібліотеки OneWire, що використовує функції, застосовані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Команди/функції бібліотеки OneWire

Команда/ функція	Опис дії
1	2
search (addressArray)	Шукає температурний датчик, при знаходженні масив addressArray записується його код, в іншому випадку - false.
reset_search ()	Проводиться пошук на першому приладі.
reset ()	Виконання скидання шини перед тим, як зв'язатися з пристроєм.
select (addressArray)	Вибирається пристрій після операції скидання, записується його ROM код.
write (byte)	Проводиться запис байта інформації на пристрій.
write (byte, 1)	Аналогічно write (byte), але в режимі паразитного харчування.
read ()	Читання байта інформації з пристрою.
crc8 (dataArray, length)	Обчислення CRC коду.
dataArray	Обраний масив, length - довжина коду.

Програмний алгоритм температурного моніторингу внутрішнього повітряного простору ЦОД, де здійснюється функціонування серверного обладнання зафіксовано з допомогою відповідного температурного давача на рис. 3.3.

Фрагмент програмного коду для організації функціонування температурного датчика позначено на рис. 3.4.



Рисунок 3.3 – Програмний алгоритм температурного моніторингу внутрішнього повітряного простору ЦОД, де здійснюється функціонування серверного обладнання з допомогою відповідного температурного датчика

```
#include <OneWire.h>
/*
 * Опис взаємодії з датчиком DS18B20
 * Підключення DS18B20 до Arduino
 */
OneWire ds(8); // Створюємо об'єкт OneWire для шини 1-Wire
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Дізнаємося температуру від датчика DS18B20
  byte data[2]; // Місце для значення температури
  ds.reset(); //
  ds.write(0x44); // Задаємо команду датчику DS18B20 виміряти температуру
  delay(1000); // Мікросхема виміряє температуру
  ds.reset(); //
  ds.write(0xBE); // Передаємо значення регістрів зі значенням температури
  data[0] = ds.read(); // Зчитуємо молодший байт значення температури
  data[1] = ds.read(); // Зчитуємо старший байт значення температури
  float temperature = ((data[1] << 8) | data[0]) * 0.0625; // Формуємо кінцеве значення
  // Виводимо отримане значення температури в монітор порта
  Serial.println(temperature);
}
```

Рисунок 3.4 – Фрагмент програмного коду для організації функціонування температурного датчика

Для роботи з датчиком вологості, у т.ч. з виводом на дисплей використовується приєднання бібліотек DHT та U8glib відповідно. Сформовані програмні коди проілюстровано фрагментом на рис. 3.5.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

```

#include <U8g2lib.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // до якого піна ми підключаємо
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#ifdef U8X8_HAVE_HW_SPI
#include <SPI.h>
#endif
#ifdef U8X8_HAVE_HW_I2C
#include <Wire.h>
#endif
U8G2_SSD1306_128X64_NONAME_1_HW_I2C u8g2(U8G2_R0, /* reset=*/ U8X8_PIN_NONE);
void draw(void) {
// // розміщуємо графічні команди
float h = dht.readHumidity();
// зчитуємо температуру в градусах Цельсія
float t = dht.readTemperature();
// зчитуємо температуру в Фаренгейтах
float f = dht.readTemperature(true);
u8g2.setFont(u8g2_font_helvb10_tf);
u8g2.setCursor(0, 16);
u8g2.print("Temp & Humidity");
u8g2.setFont(u8g2_font_helvb18_tf);
u8g2.setCursor(0, 42);
u8g2.print("T= "); u8g2.print(t); u8g2.print(" *C");
u8g2.setCursor(0, 64);
u8g2.print("H= "); u8g2.print(h); u8g2.print(" %");
}

void setup(void) {
dht.begin();
u8g2.begin();
}

void loop(void) {
// чекаємо кілька секунд між вимірюваннями
delay(2000);
// Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
// Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
float h = dht.readHumidity();
// Read temperature as Celsius
float t = dht.readTemperature();
u8g2.firstPage();
do {
draw();
} while ( u8g2.nextPage() );
delay(1000);
}

```

Рисунок 3.5 – Фрагмент програмного коду для організації функціонування вологісного давача з виводом інформації на дисплей

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою функціонування здавачів автоматизованої системи кліматозабезпечення ЦОД на протоколі бездротової передачі даних Wi-fi розробимо відповідний програмний код на базі бібліотеки UnoWiFiDevEd – рис. 3.6.

```

#include <Wire.h>
#include <UnoWiFiDevEd.h>
void setup () {
  Wifi.begin ();
  Wifi.println ( "Web Server is up"); // Виводимо повідомлення про старт сервера у Wi-fi-консоль
}
void loop () {
  while (Wifi.available ()) {
    process (Wifi);
  }
  delay (50);
}
void process (WifiData client) {
  String command = client.readStringUntil ( '/');
  if (command == "webserver") {
    WebServer (client);
  }
}

void WebServer (WifiData client) {
  client.println ( "HTTP / 1.1 200 OK");
  client.println ( "Content-Type: text / html");
  client.println ( "Connection: close");
  client.println ( "Refresh: 2"); // Заголовок, який задає період оновлення сторінки в секундах
  client.println ();
  client.println ( "<html>"); // Формуємо сторінку
  client.println ( "<head> <title> UNO WIFI Web-server </ title> </ head>");
  client.print ( "<body> <h2> Приклад виведення значень з аналогових пинов </ h2>");
  client.print ( "<ul>");
  for (int analogChannel = 0; analogChannel <4; analogChannel ++ ) {
    int sensorReading = analogRead (analogChannel);
    client.print ( "<li> на аналоговому вході");
    client.print ( analogChannel);
    client.print ( ": <em>");
    client.print ( sensorReading);
    client.print ( "</ em> </ li>");
  }
  client.println ( "</ ul> </ body> </ html>");
  client.print ( DELIMITER);
}

```

Рисунок 3.6 – Фрагмент програмного коду для організації функціонування системи обміну даних за протоколом Wi-fi

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 SCADA система контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в центрі обробки даних

Пропонована до застосування автоматизована система кліматозабезпечення ЦОД (опис якої надається в р. 2 цієї роботи) підтримує SNMP v2 і v3 з такими командами SNMP: GET, GETNEXT, SET, WALK & TRAPS [42 – 47].

Ця функція дозволяє інтегрувати пристрої з будь-яким програмним забезпеченням SNMP або DCIM (рис. 3.7). Це робить базовий блок за замовчуванням датчиком температури SNMP.



Рисунок 3.7 – Брандовий аналіз розробників засобів систем автоматизації

Для людей, які працюють на підприємстві, протоколом є Modbus TCP. Це дозволяє інтегрувати датчики з популярною системою управління будівлею (BMS). Додатковий модуль Modbus RTU забезпечує інтеграцію з промисловими системами керування (ICS) Modbus RTU

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Master (R-S485). SNMP, Modbus TCP, Modbus RTU можна використовувати одночасно. Це означає, що ваші NMS, BMS та ICS можуть одночасно приймати дані від датчиків [42 – 47].

SensorGateway (базовий блок) підтримує 4 протоколи: SNMP, Modbus TCP, JSON (Pull) і XML. Додаткові протоколи: Modbus RTU (RS-485), IoT (MQTT) і JSON (Push) – рис. 3.8 [42 – 47].

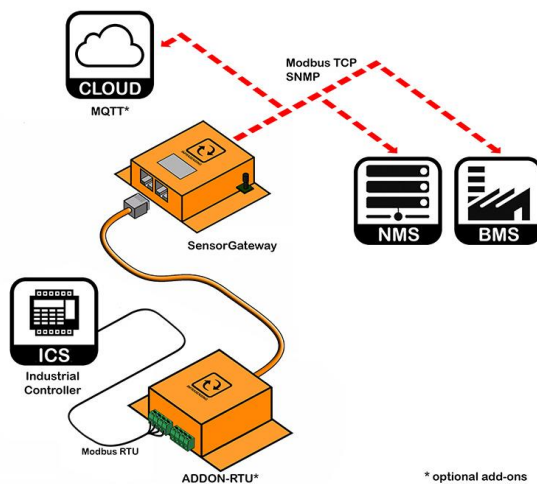


Рисунок 3.8 – Варіації інтегрування сучасних протоколів обміну даними, що можуть бути застосованими для організації функціонування системи кліматозабезпечення ЦОД

Системи моніторингу SNMP. Базові блоки підтримують 2 методи SNMP (рис. 3.9):

- SMP Get: формування запитів до SensorGateway за допомогою SNMP v2 або v3;
- SNMP Traps: використання SNMP v1 і v3.



Рисунок 3.9 – Системи моніторингу SNMP

Системи управління та автоматизації будівель. Базові блоки InfraSensing поруч із SNMP підтримують протокол Modbus TCP, який дозволяє інтегрувати датчики із системами управління будівлею (BMS).

MQTT для промислових платформ IoT (рис. 3.10). Прошивка підтримує MQTT версії 3.1 та 3.1.1, через TCP, TLS або TLS_CERT. Підтримувані методи автентифікації засновані на імені користувача або сертифікатах клієнта [42 – 47].

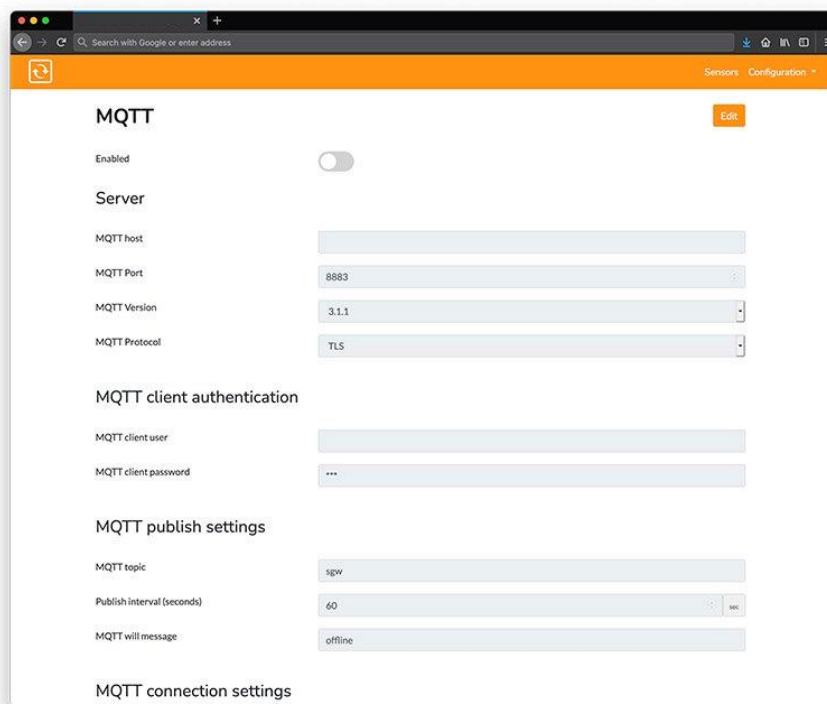


Рисунок 3.10 – MQTT для промислових платформ IoT

MQTT: за допомогою додаткової мікропрограми MQTT базовий блок може підключатися до кінцевої точки MQTT за вибором і доставляти дані датчика через потрібний інтервал. Аутентифікацію можна здійснити за допомогою автентифікації імені користувача або сертифіката. Дані надсилаються через вашу IP-мережу до вашого брокера MQTT.

JSON (Push): За допомогою ADDON-LTE можна підключатися до мобільних мереж 4G і використовувати push-протокол JSON, щоб отримати дані від ваших датчиків у вашу платформу IoT [42 – 47].

Промислові системи управління. Додатковий модуль Modbus RTU дозволяє інтегрувати сенсорну платформу InfraSensing з вашими промисловими системами керування (ICS). Додатковий модуль RS-485 можна використовувати одночасно з протоколами SNMP або Modbus TCP.

Вбудовані сповіщення електронною поштою, SMS або голосовим дзвінком. Електронні листи можна налаштувати для надсилання за допомогою поштового сервера або загальнодоступних поштових серверів, таких як Gmail. SMS та голосові сповіщення про дзвінки надсилаються через наш шлюз. Кредити включені до преміальних планів. За допомогою додаткового стільникового зв'язку ви можете надсилати SMS-повідомлення через SIM-карту. Попередження про дані (електронна пошта) надсилаються через мобільну мережу передачі даних, коли IP-мережа не працює.

Модуль надсилає сповіщення по мережі стільникового телефону в основному або резервному режимі (рис. 3.11). У режимі резервного копіювання він надсилатиме повідомлення через звичайну мережу TCP/IP і використовуватиме мережу стільникового телефону лише тоді, коли IP-мережа виходить з ладу [42 – 47].

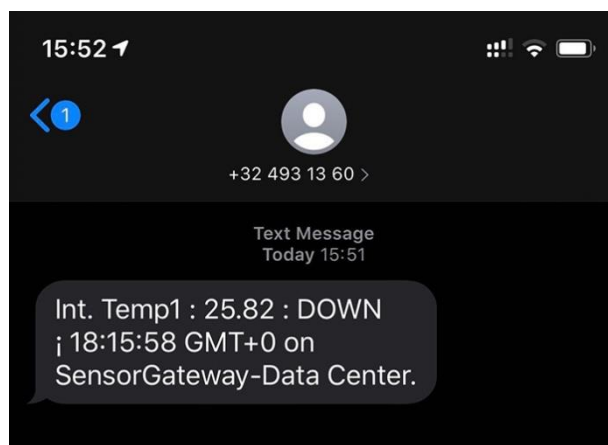


Рисунок 3.11 – Приклад SMS-сповіщення

Крім того, модуль може працювати в основному режимі. У цьому режимі всі сповіщення надсилаються по стільниковій мережі.

Використання модуля дозволяє отримувати сповіщення, навіть коли основна мережа не працює [42 – 47].

SCADA система контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в центрі обробки даних має наступну блок-схему – рис. 3.12 [42 – 47].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

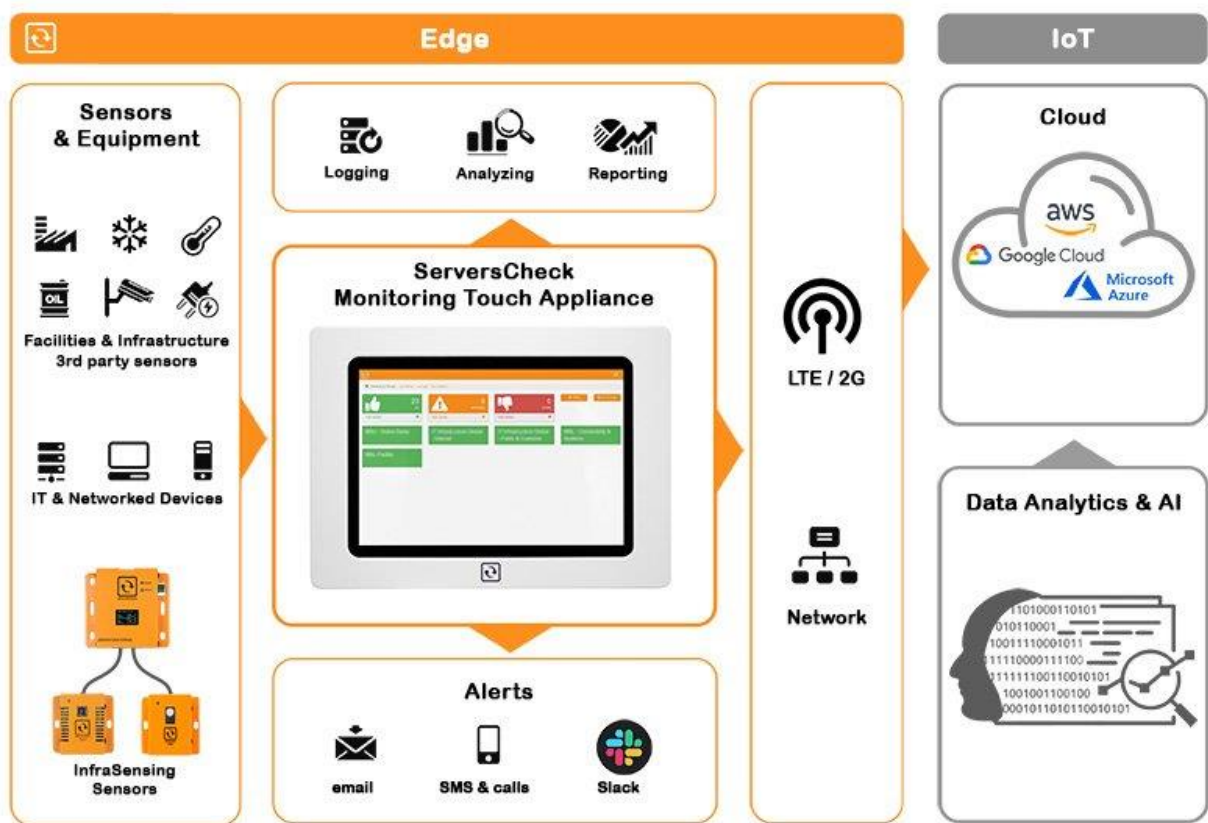


Рисунок 3.12 – SCADA система контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в ЦОД

Monitoring Touch Appliance – це відкритий комп’ютер на базі Microsoft Surface GO2, який дає змогу реєструвати, відстежувати та сповіщати про дані з обладнання та датчиків прямо з місця встановлення.

Завдяки додатковому стільниковому зв’язку система може сповіщати оператора у будь-який час, скрізь і скрізь: електронною поштою, SMS або Slack. Отримуйте сповіщення, навіть коли ваша мережа не працює.

Незабаром зібрані дані можна буде нормалізувати, агрегувати або безпосередньо відправити в хмару на ваш вибір: AWS, Gcloud, Azure або будь-яку іншу. Використовуючи аналітичні платформи сторонніх розробників, можливо контролювати всі свої межі з однієї платформи – рис. 3.13, табл. 3.2 [42 – 47].

MON-TOUCH2

MON-APPLIANCE



product code	MON-TOUCH2	MON-TOUCH2-LTE	MON-APPLIANCE
processor (CPU)	Intel Pentium Gold 4425Y	Intel Core M	Intel Quad Core Atom Z8350
memory (RAM)	4GB	8GB	4GB
default storage	64GB	128GB	64GB
optional storage		up to 1TB (via SD card)	
network	Wifi 2.4 & 5Ghz	Wifi 2.4 & 5Ghz	100 Mbps Wired Ethernet
cellular network		LTE ⁺	
screen	10.5" touch 1920x1280	10.5" touch 1920x1280	HDMI
mount	VESA 100x100	VESA 100x100	rack & DIN rail
software		ServersCheck Monitoring Software	
operating system		Windows 10 IoT Enterprise	
AC/DC power adapter		✓	
POE powered		optional	
+24V or -48V input		optional	

Рисунок 3.13 – Технічна характеристика та складові SCADA системи контролю та моніторингу параметрів мікроклімату в ЦОД

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика SCADA системи кліматозабезпечення

General Description	
The Monitoring Touch Appliance is a Microsoft Surface GO2 based open computer that enables you to log, monitor and alert on data from your equipment and sensors right at the edge. With the optional Cellular it can alert you anywhere and everywhere: Email, SMS or Slack. Soon, collected data can be normalized, aggregated or directly sent to the Cloud of your choice: AWS, Gcloud, Azure or any other. Using 3rd party analytic platforms you can then monitor all your edges from one single platform.	
Key Features	
<ul style="list-style-type: none"> - Optional Cellular (MON-TOUCH2-LTE) - Can be powered through PoE (Optional) - Can be powered through +24V or -48V (Optional) - User friendly design 	<ul style="list-style-type: none"> - Runs on Windows 10 Enterprise IoT platform. - FIPS 140-2 - Access from any device (tablet, desktop or smartphones) - Optional Expandable storage through SD card of up to 1TB (MON-TOUCH2-LTE)
Technical Specifications	
Power Source MON-TOUCH2	Battery Operated, comes with the Surface Go 2 Charger/ PoE / +24V or -48V
Operating System	Windows 10 Enterprise IoT
Processor (CPU)	Intel® Pentium® Gold Processor 4425Y / Intel Core M with the optional MON-TOUCH2-LTE
Memory (RAM)	4 GB DDR3L / 8GB with the optional MON-TOUCH2-LTE
GPU	Intel® UHD Graphics 615
Default Storage	64 GB / 128 GB with the optional MON-TOUCH2-LTE (can be expanded up to 1TB via SD card)
Network	Wifi 2.4 and 5 Ghz
Operating System	Windows 10 Enterprise
Software	ServersCheck Monitoring Software
Mount	VESA, Optional 4U kit, Wall Mount and has Provision for Tripod Mounting
Bluetooth	5.0
Physical Specifications	
Dimensions of MON-TOUCH2 With provisioned VESA enclosure	303mm (11.9") x 222mm (8.7") x 17mm (0.7")

Безпосередньо інтерфейс SCADA системи кліматозабезпечення ЦОД розробляється в адаптованому середовищі Simple-SCADA, зразок якого наводиться на рис. 3.14 – 3.16.

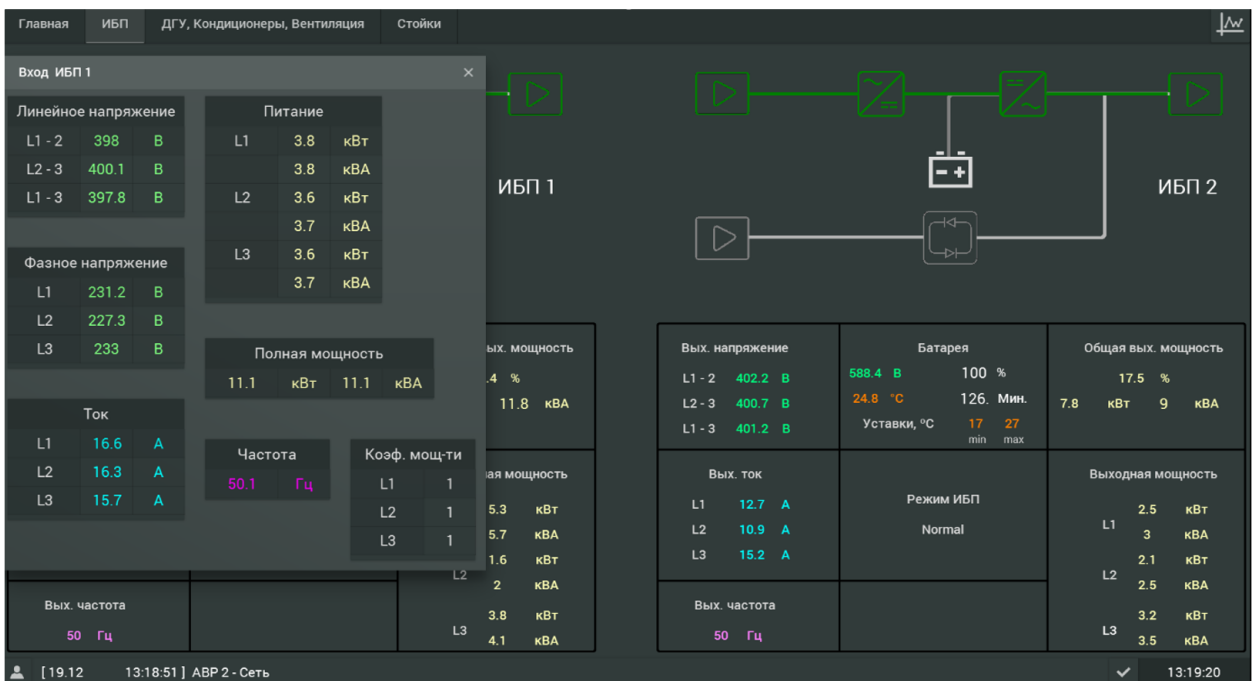
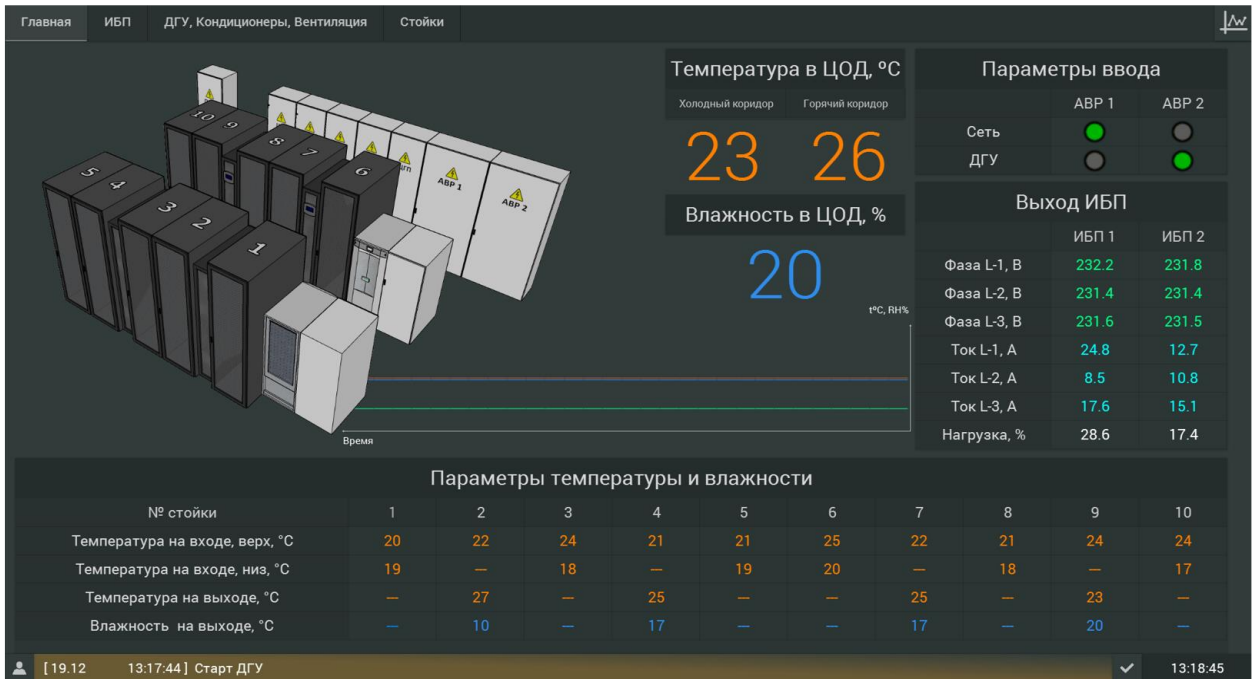


Рисунок 3.14 – Врзак інтерфейсу SCADA системи кліматозабезпечення ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

76

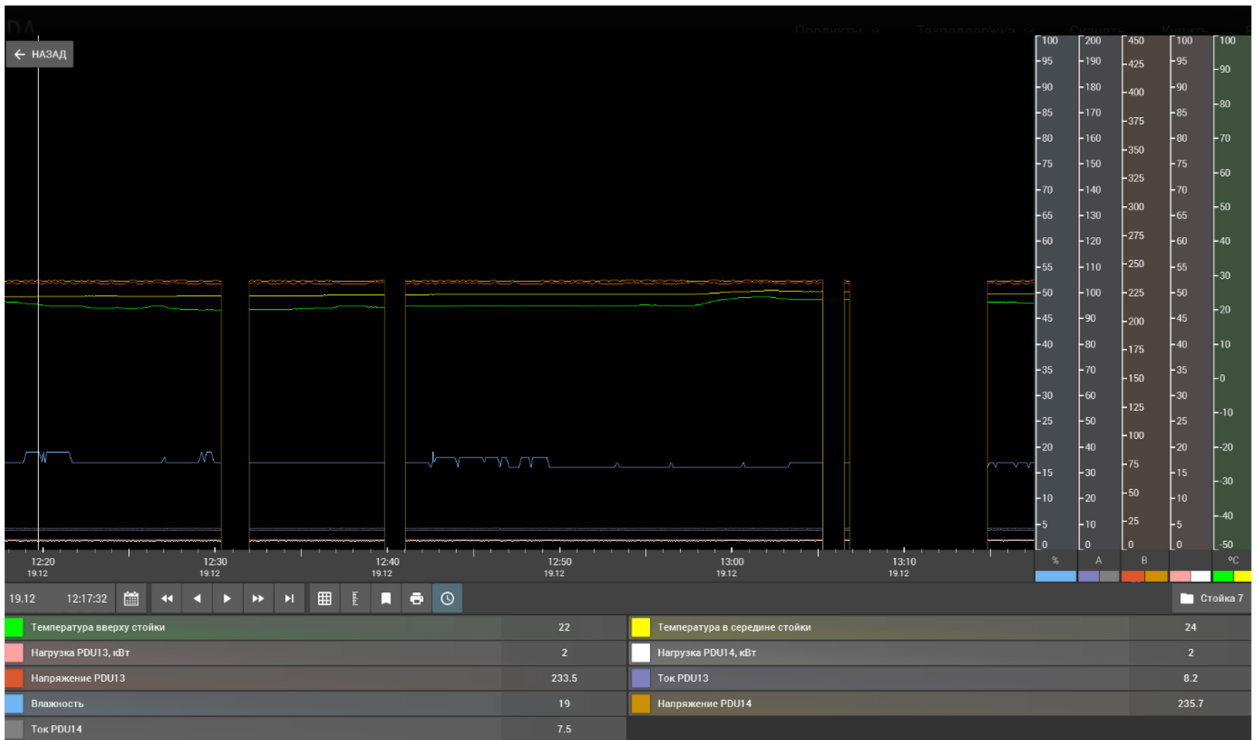


Рисунок 3.15 – Зразок інтерфейсу SCADA системи кліматозабезпечення ЦОД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

СУ-81 6.151.23.ПЗ

Арк.

77



Рисунок 3.16 – Врзак інтерфейсу SCADA системи кліматозабезпечення ЦОД

Таким чином, існує значна кількість варіації програмних та SCADA засобів, що дозволяють в повній мірі забезпечити оптимальне та ефективне функціонування системи автоматичного контролю і моніторингу мікрокліматичних параметрів внутрішньооб'ємного середовища data-центрів, забезпечуючи високий рівень інтеграції з сучасними протоколами та технологіями обміну, аналізу та зберігання даних.

4 РОЗРОБКА РІШЕНЬ З МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЕКТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ЦЕНТРІ ОБРОБКИ ДАНИХ

4.1 Аналітичний огляд можливості модернізації проектної системи

Розглянемо можливість модернізації запропонованої схеми регулювання приводу елемента кліматозабезпечення ЦОД, що працює за ПІ-законом регулювання (відповідно до положень п. 2.3 цієї праці), шляхом впровадження ПІД-закону керування, що є більш ефективним, згідно з результатами дослідження профільних публікацій [48 – 59].

Графік перехідний характеристик досліджуваної системи з ПІ-законом регулювання позначено на рис. 4.1.

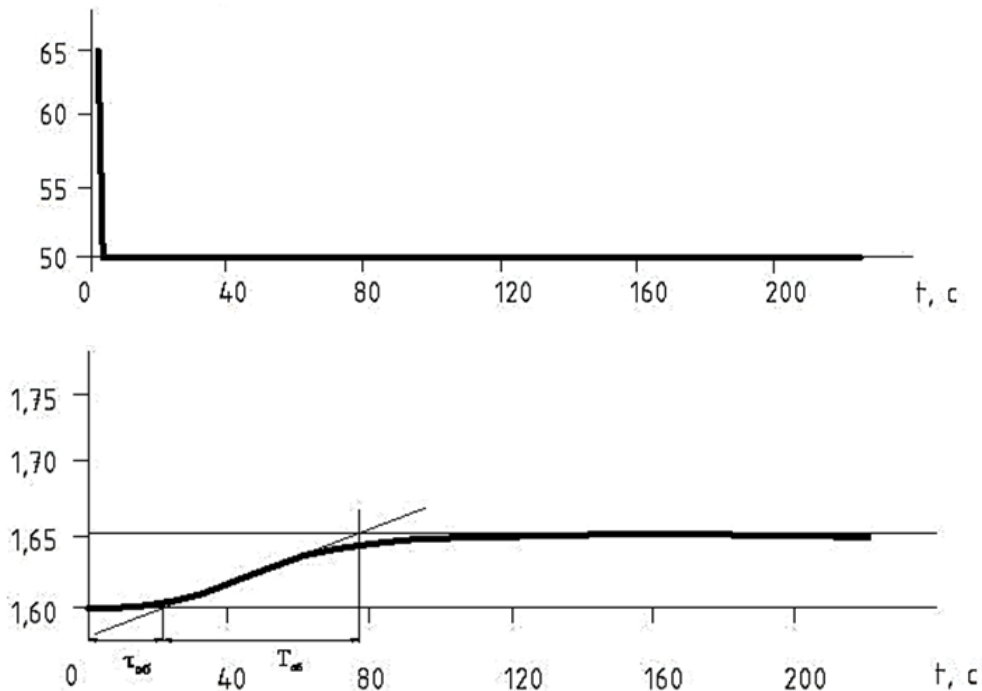


Рисунок 4.1 – Графік перехідний характеристик приводу елемента кліматозабезпечення ЦОД, що працює за ПІ-законом регулювання

Структурна схема системи керування приводом елемента кліматозабезпечення ЦОД позначена на рис. 4.2.

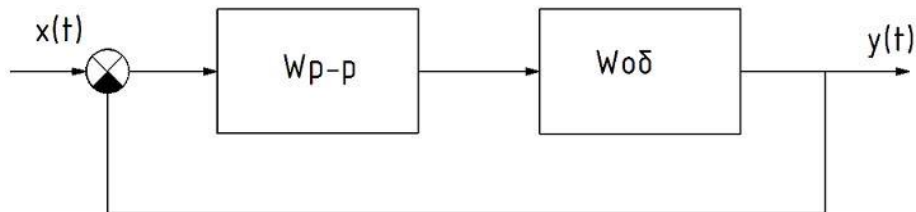


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи керування приводом елемента кліматозабезпечення ЦОД

Реакція системи автоматичного регулювання на одиничний ступінчастий вплив (крива реакція системи) – рис. 4.3.

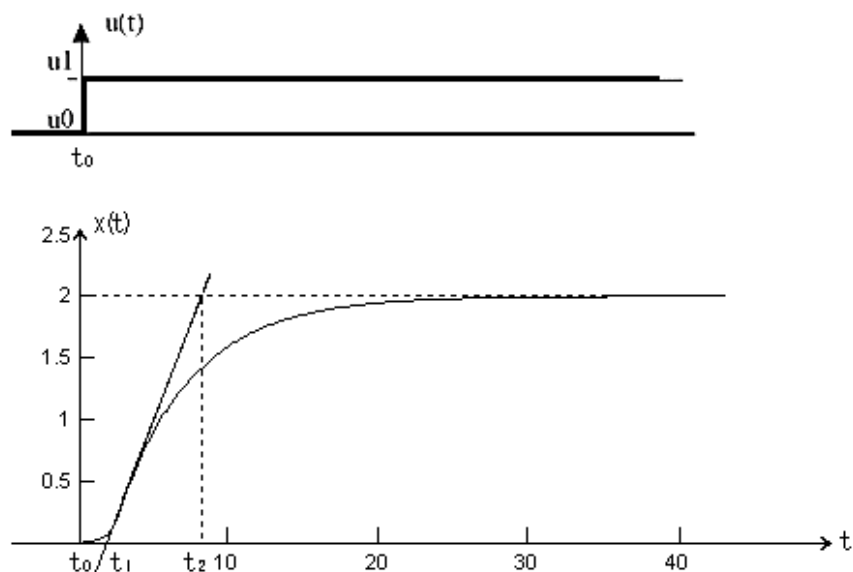


Рисунок 4.3 – Реакція системи автоматичного регулювання на одиничний ступінчастий вплив (крива реакція системи): $T_{об} = t_2 - t_1$, $\tau_{об0} = t_2 - t_0$

Для даного окремого випадку передатна функція об'єкта апроксимується аперіодичною ланкою I порядку із запізненням (4.1) [48 – 59]:

$$W_{об}(s) = \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} e^{-s\tau_{об}}, \quad (4.1)$$

де $W_{об}(s)$ – передаточна функція;

$T_{об}$ – постійна часу;

$\tau_{об}$ – час запізнення;

$K_{об}$ – коефіцієнт передачі – ф. 4.2 [48 – 59]:

$$K_{OB} = \frac{V}{\mu}, \quad (4.2)$$

де V , μ – передаточні коефіцієнти.

Відповідно до ф. (4.2):

$$K_{OB} = \frac{3}{15} = 0,2.$$

Відповідно до ф. (4.3):

$$W_{OB}(s) = \frac{0,2}{62s + 1} e^{-10s}.$$

Відносна зміна регулювання – ф. 4.3 [48 – 59]:

$$\delta = \frac{\Delta Y_{уст}}{Y_{ном}} \times 100 \%, \quad (4.3)$$

де $\Delta Y_{уст}$ – різниця регулювання;

$Y_{ном}$ – номінальні значення.

Відповідно до ф. (4.3):

$$\delta = \frac{1,65 - 1,60}{1,60} \times 100 \% = 3 \%.$$

На підставі отриманих значень $W_{OB}(s)$, δ , відповідно до положень [48 – 59] приймаємо період дискретизації $T = 2$ с.

Для переходу до цифрової системи передаточних функцій запропонованої схеми автоматичного контролю привода елемента системи кліматозабезпечення ЦОД виконаємо Z – перетворення отриманої функції – ф. (4.4) [48 – 59]:

$$W_{OB}(z) = K_{OB} \times \left\{ \frac{z}{z - 1} - \frac{z \times e^{T/T1}}{z - e^{T/T1}} \right\} \times z^{-\frac{\tau_0}{T}}, \quad (4.4)$$

де z – складова Z – функції.

Відповідно до ф. (4.4):

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 W_{OB}(z) &= K_{OB} \times \left\{ \frac{z \times (1 - e^{-\frac{5}{31}})}{(z-1) \times (z - e^{-\frac{5}{31}})} \right\} \times z^{-1} = \\
 &= \frac{1}{z} \times \left\{ \frac{z \times (z - e^{-\frac{5}{31}})}{(z-1) \times (z - e^{-\frac{5}{31}})} \right\} \times K_{OB} = \\
 &= z^{-5} \times \frac{0,006349}{z - 0,9683}.
 \end{aligned}$$

Використовуючи значення Z -функції $W_{OB}(z)$ та застосовуючи ПІД-закон регулювання визначимо оптимальні параметри контролю функціонування приводу елементу системи кліматозабезпечення ЦОД.

4.2 Застосування ПІД-закону регулювання

Згідно з даними [48 – 59], з урахуванням отриманих значень $W_{OB}(z)$ для забезпечення ефективного функціонування приводу елементу системи кліматозабезпечення приймаємо ПІД-закон регулювання, який має пропорційно-інтегральну дію, забезпечуючи велику швидкість регулювання, порівняно з базовим ПІ-законом регулювання, який функціонує за пропорційним принципом дії та має статистичні помилки пропорційного регулювання (рис. 4.1, 4.2).

Пропорційно-інтегральний закон регулювання має загальний вигляд – ф. (4.5) [48 – 59]:

$$u(t) = k \times (x(t) + \frac{1}{T_u} \times \int_0^t x(t) dt), \quad (4.5)$$

де $u(t)$ – функція ПІД-регулювання;

k – коефіцієнт посилення;

T_u – константа інтегрування

Використовуючи пропорційно-інтегральний закон регулювання (4.5), скоригуємо передатну функцію, оптимізуючи її параметрами ПІД-регулювання (4.6) [48 – 59]:

$$W_p(s) = k \times \left(1 + \frac{1}{T_u s} \right), \quad (4.6)$$

де k – коефіцієнт посилення регулятора, який визначається графоаналітичним методом з урахуванням рекомендацій [48 – 59].

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Оцінка ефективності рішень з модернізації

Метод розрахунку пропорційно-інтегрального регулювання приводу елемента системи кліматозабезпечення ЦОД – обмежувальний за параметром коливальності, що виходить з отриманої кривої відклику – рис. 4.3.

Показник коливальності M визначається за номограмою [48 – 59] в залежності від параметрів σ (перерегулювання) та t_p (час регулювання). Отримане значення – $M = 1,1$.

На основі отриманого значення параметру коливальності за ф. (4.7) визначають параметр граничної зони стійкості [48 – 59]:

$$R = \frac{M^2}{M^2 - 1}. \quad (4.7)$$

Відповідно до ф. (4.7):

$$R = \frac{1,1^2}{1,1^2 - 1} = 5,76.$$

Центр зони стійкості має координати – ф. (4.8):

$$\left(-\frac{M}{M^2 - 1}; 0\right), \quad (-5,76; 0). \quad (4.5)$$

Для визначення діапазону значень T_u при різних значеннях k_p визначається точка дотику кола та годографу Найквіста: при перетині кола $k_p \downarrow$, при віддаленні від кола – $k_p \uparrow$.

На підставі отриманих точок дотику визначимо для них найбільше значення відношення $\frac{k_p}{T_u}$, максимальне значення якого є оптимальним.

На підставі отриманих значень будується перехідна характеристика (рис. 4.4), що є основою для визначення параметрів якості регулювання: коефіцієнта пропорційності k_p та постійної інтегрування T_u .

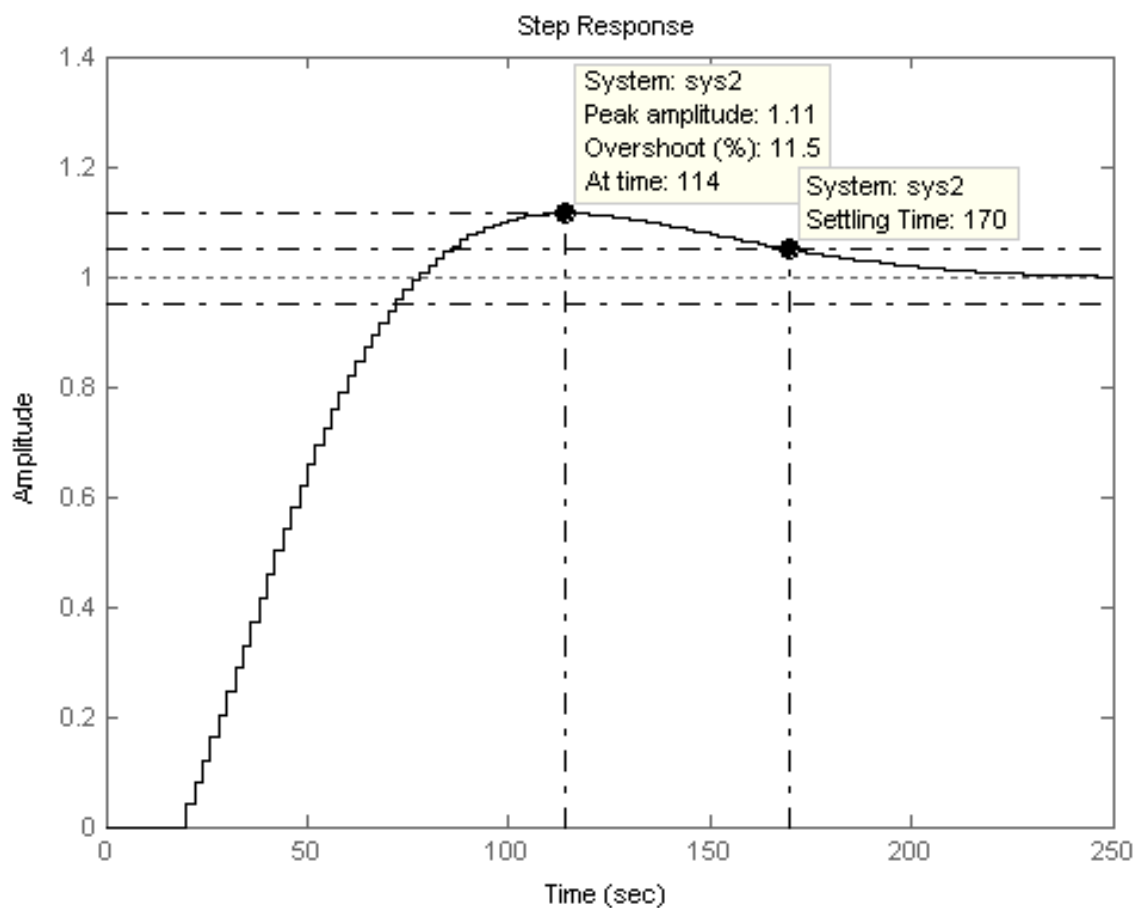


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика $k_p = 6$; $T_u = 45$

Прямі показники якості регулювання, визначені за перехідною характеристикою регулювання (рис. 4.4): перерегулювання $\sigma = 11,5\%$, час регулювання $t_p = 170c$.

Зважаючи, що отримані прямі показники якості не є оптимальними, за визначеним вище алгоритмом виконаємо повторний розрахунок та побудування відповідної перехідної характеристики (рис. 4.5) з метою зменшення значення параметра пере регулювання [48 – 59].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

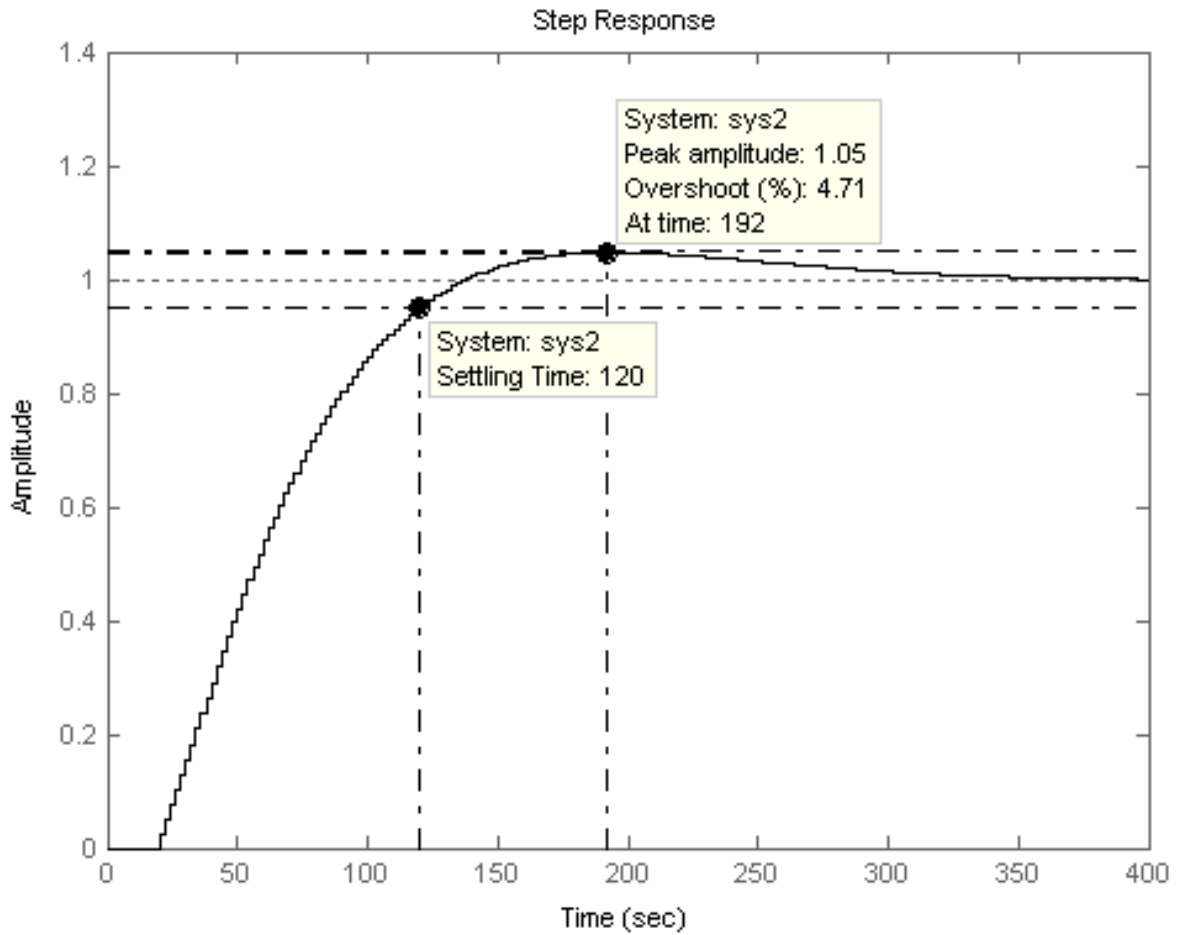


Рисунок 4.5 – Перехідна характеристика $k_p = 3,6$; $T_u = 45$

За перехідною характеристикою ПД-регулювання (рис. 3.8) отримаємо прямі показники якості регулювання: перегулювання $\sigma = 4,71\%$, час регулювання $t_p = 120\text{с}$.

Таким чином, інтегрування ПД-закону регулювання приводом елементу системи кліматозабезпечення ЦОД отримані оптимальні показники якості регулювання перегулювання $\sigma = 4,71\%$, час регулювання $t_p = 120\text{с}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВОК

У відповідності до поставленої мети та задач у цій праці отримані наступні результати щодо організації функціонування автоматизованої системи кліматозабезпечення ЦОД:

– встановлено, що ефективність функціонування серверного обладнання ЦОД напряму залежить від належного функціонування системи кліматозабезпечення: для досягнення оптимального значення *PUE (Power Usage Effectiveness)* необхідно дотримуватись рекомендованих значень температурно-вологісного режиму внутрішньооб'ємного повітряного простору data-центру, що встановлюється ANSI/TIA-942-2005 [10];

– встановлений нормалізований підхід до організації кліматозабезпечення ЦОД відповідно до вимог ANSI/TIA-942-2005 [10], що дозволяє отримати високоефективні data-центри з оптимальним значенням *PUE (Power Usage Effectiveness)*. Визначення технології забезпечення нормативних мікрокліматичних параметрів виконується у відповідності до положень і рекомендацій ANSI/TIA-942-2005 [10], при цьому враховують локальні кліматогеографічні умови експлуатації ЦОД. За результатами огляду апаратно-апаратних схем кліматозабезпечення функціонування серверного обладнання об'єктом автоматичного контролю є відповідні внутрішньооб'ємні потоки повітря. Відтак, доцільно розглянути схеми організації цих потоків та їх вплив на організацію ефективного теплообміну ІТ-приладів ЦОД;

– за результатами вишукувань, що приводяться у цій главі дослідження встановлені особливості доцільної та економічної організації системи кліматозабезпечення ЦОД; встановлені оптимальні нормативні температурно-вологісні параметри мікроклімату внутрішнього повітряного простору data-центру, що виходять з необхідності витримки оптимального значення *PUE (Power Usage Effectiveness)*; встановлений нормальний ряд термодинамічних рішень з організації системи кліматозабезпечення ЦОД, що визначається відповідно до оптимальних мікрокліматичних параметрів нормалізованих температурно-вологісних режимів функціонування серверного обладнання; виявлена найефективніша схема організації внутрішнього руху потоків теплоносіїв (внутрішнього повітря), що дозволяє забезпечити нормалізацію температурного градієнту на поверхні серверного обладнання у межах, визначених ANSI/TIA-942-2005 [10];

– на підставі аналізу сучасних доробків та засобів систем моніторингу, контролю та автоматичного підтримання мікрокліматичних параметрів у внутрішньооб'ємному просторі data-центрів, що визначені у профільних публікаціях та наукових працях [42 – 47], визначені

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальні прилади та виконавчі схеми керування, що задовольняють вимогам з ефективною експлуатації центрів обробки даних відповідно положень ASHRAE [10];

– встановлено, що існує значна кількість варіації програмних та SCADA засобів, що дозволяють в повній мірі забезпечити оптимальне та ефективне функціонування системи автоматичного контролю і моніторингу мікрокліматичних параметрів внутрішньооб'ємного середовища data-центрів, забезпечуючи високий рівень інтеграції з сучасними протоколами та технологіями обміну, аналізу та зберігання даних;

– інтегрування ПД-закону регулювання приводом елементу системи кліматозабезпечення ЦОД отримані оптимальні показники якості регулювання перегулювання $\sigma = 4,71\%$, час регулювання $t_p = 120\text{с}$.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Про національну безпеку України [Електронний ресурс] : Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII «Про національну безпеку України (з останніми змінами, внесеними Законом України від 16.07.2021 № 1702-IX)» / Верховна Рада України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

2 Про основні засади забезпечення кібербезпеки України [Електронний ресурс] : Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України (з останніми змінами, внесеними Законом від 18.11.2021 № 1907-IX)» / Верховна Рада України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

3 Про критичну інфраструктуру [Електронний ресурс] : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX «Про критичну інфраструктуру» / Верховна Рада України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

4 Про електронні комунікації [Електронний ресурс] : Закон України від 16.12.2020 № 1089-IX «Про електронні комунікації» / Верховна Рада України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

5 Стратегія кібербезпеки України [Електронний ресурс] : Указ від 01.02.2022 № 37/2022 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30.12.2021 року Про План реалізації Стратегії кібербезпеки України» / Президент України. – Офіційний сайт Президента України : Режим доступу [сайт] : president.gov.ua, 2022.

6 Стратегія здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1467-р «Про схвалення Стратегії здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року та затвердження плану заходів щодо її реалізації» / Кабінет Міністрів України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

7 Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 10 липня 2019 р. № 526-р «Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року» / Кабінет Міністрів України. – Офіційний сайт Верховної Ради України : Режим доступу [сайт] : zakon.rada.gov.ua, 2022.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Li, W. Mapping Two Decades of Smart Home Research: A Systematic Scientometric Analysis [Web resource] / W. Li [et al.]. // Technological Forecasting and Social Change. – 2022. – Vol. 179. – pp. 1-25. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

9 Hwaiyu, G. Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center [Text] : Monograph / G. Hwaiyu [et al.]. – 2nd edition. – Wiley, 2021. – 755 p.

10 ANSI/TIA-942-2005 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers [Web resource] : Standard /ANSI (American National Standards Institute) / TIA (Telecommunications Industry Association), 2005. – Access mode [site] : ansi.org, 2022.

11 Dutt, D. G. EVPN in the Data Center [Text] : Monograph / D. G. Dutt. – O'Reilly Media, 2018. – 106 p.

12 Brochard, L. Energy-Efficient Computing And Data Centers [Text] : Monograph / L. Brochard [et al.]. – New York: ISTE/Wiley, 2019. – 227 p.

13 Ahmadi, A. CCNP Data Center Application Centric Infrastructure 300-620 DCACI Official Cert Guide [Text] : Monograph / A. Ahmadi. – Cisco Press, 2021. – 730 p.

14 Bradley, L. C. Handbook Of Data Center Management [Text] : Monograph / L. C. Bradley. – 2nd edition. – CRC Press, 2017. – 816 p.

15 Tischer, R. Programming and automating Cisco networks: a guide to network programmability and automation in the data center, campus, and wan [Text] : Monograph / R. Tischer, J. Gooley. – Cisco Press, 2017. — 339 p.

16 A Guide to Data Center Automation [Text] : Special report / ZDNet // TechRepublic. – San Francisco, CA: CBS Interactive Inc., 2018. – 39 p.

17 Lammle, T. Ccna Data Center: Introducing Cisco Data Center Technologies Study Guide: Exam 640-916 [Text] : Complete theory and practice for the CCNA Data Center Technologies exam / T. Lammle, T. Montgomery. – Sybex, 2016. – 288 p.

18 The Data Center Builder's Bible - Book 1: Defining Your Data Center Requirements: Specifying, Designing, Building and Migrating to New Data Centers [Text] : Special report / Carapola Art. – NewVista Advisors, 2018. – 224 p.

19 Zhang, L. Cloud Data Center Network Architectures and Technologies [Text] : Monograph / L. Zhang, L. Chen. – CRC Press, 2021. – 526 p.

20 Nadjib, A. Management of Data Center Networks [Text] : Monograph / A. Nadjib. – Wiley-IEEE Press, 2021. – 159 p.

21 Dutt, D. G. Cloud Native Data Center Networking: Architecture, Protocols, and Tools [Text] : Monograph / D. G. Dutt. – O'Reilly Media, 2020. – 608 p.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 22 Nguyen, B. L. Transmission and Processing for Data Center Networking [Text] : Monograph / B. L. Nguyen. – IOP Publishing, 2020. – 226 p.
- 23 Sharma, D. K. Green Computing in Network Security: Energy Efficient Solutions for Business and Home [Text] : Monograph / D. K. Sharma, G. K. Datta. – CRC Press, 2022. – 187 p.
- 24 Kachris, C. Hardware Accelerators in Data Centers [Text] : Monograph / C. Kachris, B. Falsafi, D. Soudris. – Springer, 2019. – 280 p.
- 25 Long, S. A review of energy efficiency evaluation technologies in cloud data centers [Web resource] / S. Long [et al.]. // Energy and Buildings. – 2022. – Vol. 260. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 26 Ahmed, K. M. U. A Review of Data Centers Energy Consumption And Reliability Modeling [Web resource] / K. M. U. Ahmed, M. H. J. Bollen, M. Alvarez // IEEE Access. – 2021. // Access mode [site] : researchgate.net, 2022.
- 27 Vasques, T. L. A review on energy efficiency and demand response with focus on small and medium data centers [Web resource] / T. L. Vasques, P. S. Moura, A. Almeida // Energy Efficiency. – 2019. – Vol. 12 (4). // Access mode [site] : researchgate.net, 2022.
- 28 Gong, Y. Advancements on mechanically driven two-phase cooling loop systems for data center free cooling [Web resource] / Y. Gong [et al.]. // International Journal of Refrigeration. – 2022. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 29 Ding, T. Principles of loop thermosyphon and its application in data center cooling systems: A review [Web resource] / T. Ding [et al.]. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 150. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 30 Zhou, F. Power usage effectiveness analysis of a liquid-pump-driven hybrid cooling system for data centers in subclimate zones [Web resource] / F. Zhou [et al.]. // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2022. – Vol. 52. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 31 Zhou, G. A two-phase liquid immersion cooling strategy utilizing vapor chamber heat spreader for data center servers [Web resource] / G. Zhou [et al.]. // Applied Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 210. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 32 Keskin, I. Optimal cost management of the CCHP based data center with district heating and district cooling integration in the presence of different energy tariffs [Web resource] / I. Keskin, G. Soykan // Energy Conversion and Management. – 2022. – Vol. 254. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.
- 33 Lyu, W. Energy efficiency and economic analysis of utilizing magnetic bearing chillers for the cooling of data centers [Web resource] / W. Lyu [et al.]. // Journal of Building Engineering. – 2022. – Vol. 48. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

					<i>СУ-81 6.151.23.ПЗ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34 Erden, H. S. Comprehensive energy and economic assessment of CRAH bypass method in air-cooled data centers [Web resource] / H. S. Erden // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2022. – Vol. 52. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

35 Al-Sayyab, A. K. S. Energy, exergy, and environmental (3E) analysis of a compound ejector-heat pump with low GWP refrigerants for simultaneous data center cooling and district heating [Web resource] / A. K. S. Al-Sayyab, J. Navarro-Esbrí, A. Mota-Babiloni // International Journal of Refrigeration. – 2022. – Vol. 133. – pp. 61 – 72. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

36 Zhang, Q. A survey on data center cooling systems: Technology, power consumption modeling and control strategy optimization [Web resource] / Q. Zhang [et al.]. // Journal of Systems Architecture. – 2021. – Vol. 119. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

37 Park, B. R. Adaptive control algorithm with a retraining technique to predict the optimal amount of chilled water in a data center cooling system [Web resource] / B. R. Park [et al.]. // Journal of Building Engineering. – 2022. – Vol. 50. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

38 Borkowski, M. Customized data center cooling system operating at significant outdoor temperature fluctuations [Web resource] / M. Borkowski, A. K. Piłat // Applied Energy. – 2022. – Vol. 306. – P. B. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

39 Chethana, G. D. Thermal management of air and liquid cooled data centres: A review [Web resource] / G. D. Chethana, B. S. Gowda // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 45. – P. 1. – pp. 145 – 149. // Access mode [site] : sciencedirect.com, 2022.

40 Пупена, О. М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/НМІ [Текст] : Навчальний посібник / О. М. Пупена. – Київ : Ліра-К, 2020. – 594 с.

41 Бобух, А. О. Автоматизація технологічних процесів і виробництв [Текст] : Навчальний посібник / А. О. Бобух [та інш.]. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 92 с.

42 Abdulmohsen, A. SCADA Security: Machine Learning Concepts for Intrusion Detection and Prevention [Text] : Monograph / A. Abdulmohsen [et al.]. – John Wiley & Sons, Inc., 2021. – 224 p.

43 Shaw, W. T. Cybersecurity for SCADA Systems [Text] : Monograph / W. T. Shaw. – 2nd Edition. — PennWell Books, LLC, 2020. – 523 p.

44 Соколов, С. В. Контроль і вимірювання в технологічних та енергетичних системах [Текст] : Навчальний посібник / С. В. Соколов, О.С. Соколов, С.С. Антоненко. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 242 с.

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 45 Савків, В. Б. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : Навчальний посібник / В. Б. Савків, Р. І. Михайлишин, І. Р. Козбур. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – 89 с.
- 46 Huafeng, D. Automatic Structural Synthesis and Creative Design of Mechanisms [Text] : Monograph / D. Huafeng, W. Yang, A. Kecskeméthy. – Springer, 2022. – 466 p.
- 47 Kulczycki, P. Automatic Control, Robotics, and Information Processing [Text] : Monograph / P. Kulczycki, J. Korbicz, J. Kacprzyk. – Springer, 2021. – 843 p.
- 48 Wang, L. PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink: Design and Implementation using MATLAB/Simulink [Text] : Monograph / L. Wang. – Wiley-IEEE Press, 2020. – 358 p.
- 49 Wei, W. Control Based on PID Framework: The Mutual Promotion of Control and Identification for Complex Systems [Text] : Monograph / W. Wei. – ITeXLi, 2021. – 129 p.
- 50 Ortega, R. PID Passivity-Based Control of Nonlinear Systems with Applications [Text] : Monograph / R. Ortega [et al.]. – New York: Wiley-IEEE Press, 2021. – 243 p.
- 51 Rojas, J. D. Industrial PID Controller Tuning: With a Multiobjective Framework Using MATLAB [Text] : Monograph / J. D. Rojas, O. Arrieta. – New York: Springer, 2021. – 158 p.
- 52 Kishore, B. Fractional-order Systems and PID Controllers: Using Scilab and Curve Fitting Based Approximation Techniques (Studies in Systems, Decision and Control) [Text] : Monograph / B. Kishore [et al.]. – Springer, 2020. – 267 p.
- 53 Cano, S. A. PID Tuning: A Modern Approach via the Weighted Sensitivity Problem [Text] : Monograph / S. A. Cano [et al.]. – Boca Raton: CRC Press, 2020. – 155 p.
- 54 Mohammad, S. Industrial Processes PID Control [Text] : Monograph / S. Mohammad. – ITeXLi, 2018. – 179 p.
- 55 Song, Y.-D. Control of Nonlinear Systems via PI, PD and PID: Stability and Performance [Text] : Monograph / Y.-D. Song. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 153 p.
- 56 Kallannan, J. Bio-Inspired Algorithms in PID Controller Optimization [Text] : Monograph / J. Kallannan [et al.]. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 90 p.
- 57 Morales, L. Advanced Fuzzy-Logic-Based Context-Driven Control for HVAC Management Systems in Buildings [Web resource] / L. Morales [et al.]. – IEEE Access. – 2020. – pp. 1 – 18. // Access mode [site] : researchgate.net, 2022.
- 58 Yao, L. Multi-Objective Optimization of Energy Saving Control for Air Conditioning System in Data Center [Web resource] / L. Yao, J.-H. Huang // Energies. – 2019. – Vol. 12 (8). – pp. 1 – 16. // Access mode [site] : researchgate.net, 2022.

					<i>СУ-81 6.151.23.ПЗ</i>	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

59 Matko, V. Intelligent Monitoring of Data Center Physical Infrastructure [Web resource] / V. Matko, B. Brezovec, M. Milanovič // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9. – Iss. 23. – pp. 1 – 16. // Access mode [site] : mdpi.com, 2022

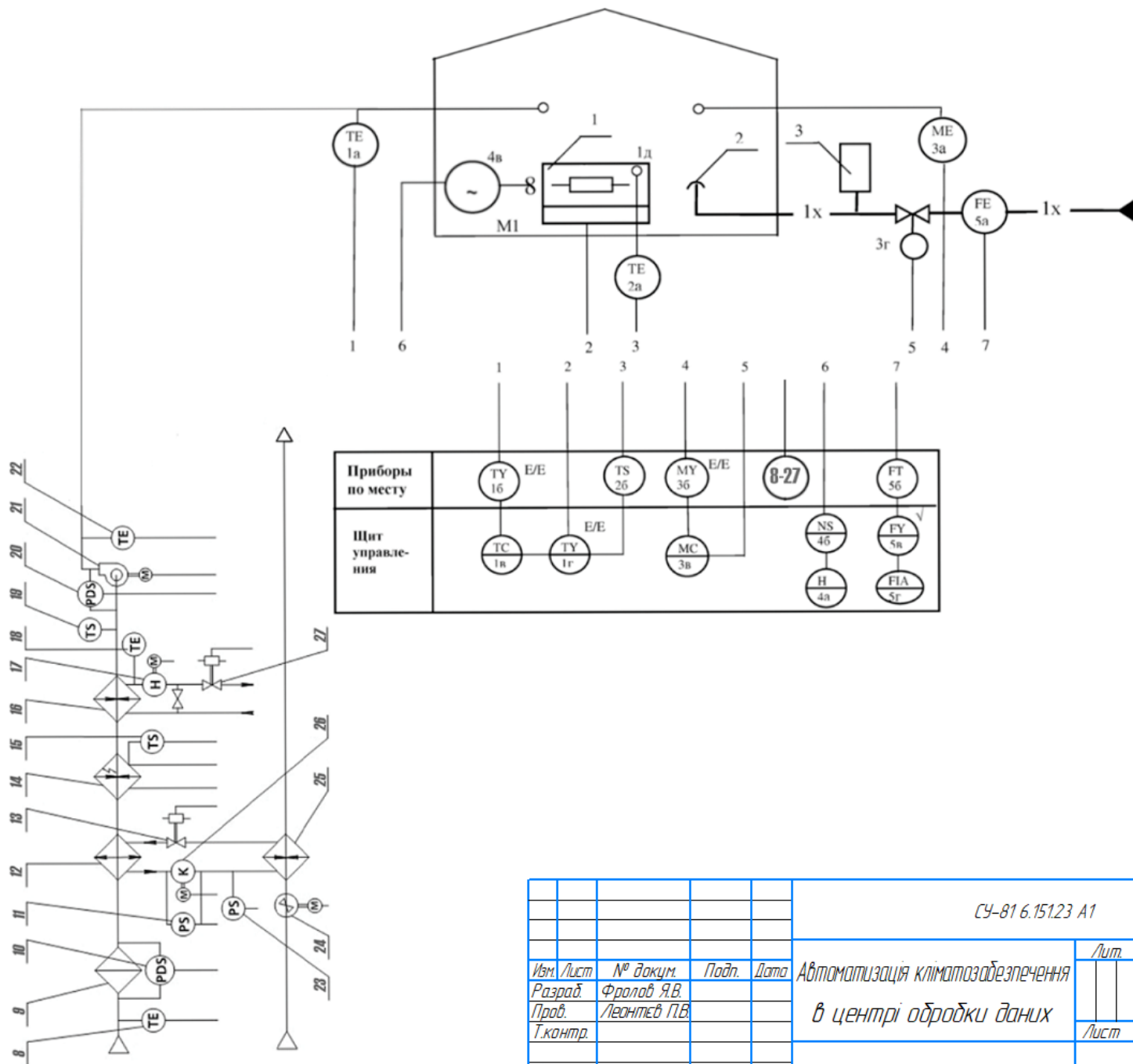
					<i>СУ-81 6.151.23.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						93
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А

Список конструкторської документації

1. СУ-81 6.151.23 А1 – Автоматизація еліматобезпечення в центрі обробки даних

					СУ-81 6.151.23.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



СУ-81.6.15123.А1

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизация климатозабезпечення в центрі обробки даних	Лист	Масштаб
Разраб.	Фролов Я.В.					1:1
Проб.	Леонтьев П.В.				Лист	Листов 1
Т.контр.						
Н.контр.				Функциональная схема автоматизации		
Утв.	Леонтьев П.В.					