ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка системи охолодження серверного приміщення»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

	Олександр Радчук
(підпис)	*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. КІД-42
Олександр РАДЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: Віталій ВОЛОХІН
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Рецензент:
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
_____
«_____» _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Радчук Олександр Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка системи охолодження серверного приміщення керівник кваліфікаційної роботи Віталій ВОЛОХІН доцент, к.т.н,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «24» лютого 2026р. № 56
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «5» червня 2026р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: особливості серверних приміщень та вимоги до мікроклімату; основні джерела тепловиділення серверного, мережевого та допоміжного обладнання; сучасні системи охолодження серверних приміщень, зокрема повітряне, рідинне та імерсійне охолодження; принципи організації холодних і гарячих коридорів, подача повітря через фальшпідлогу та ізоляція холодних зон; розрахунок теплового навантаження, вибір прецизійних кондиціонерів, резервування, моніторинг температури, оцінка ефективності та безпеки системи охолодження.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
   1. Теоретичні основи охолодження серверних приміщень.
   2. Аналіз існуючих систем охолодження серверних.
   3. Розробка системи охолодження серверного приміщення.
   4. Оцінка ефективності та безпеки розробленої системи.
   5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
   6. Дата видачі завдання«24» лютого 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз інформації про системи охолодження серверних приміщень	25.02–05.03.2026	Виконано
2	Дослідження методів охолодження серверного обладнання	05.03–15.03.2026	Виконано
3	Розрахунок теплового навантаження серверного приміщення	15.03–25.03.2026	Виконано
4	Розробка системи охолодження серверного приміщення	25.03–10.04.2026	Виконано
5	Оцінка ефективності та оформлення кваліфікаційної роботи	10.04–24.04.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Олександр РАДЧУК
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій ВОЛОХІН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена розробці системи охолодження серверного приміщення. У роботі розглянуто особливості функціонування серверних приміщень, вимоги до мікроклімату, основні джерела тепловиділення серверного обладнання, а також сучасні методи організації охолодження. Особливу увагу приділено аналізу повітряних і рідинних систем охолодження, їх енергоефективності, надійності та доцільності використання в серверних приміщеннях різного масштабу.

Об'єкт дослідження - серверне приміщення, у якому розміщується серверне, мережеве та допоміжне обладнання.

Предмет дослідження - система охолодження серверного приміщення, методи відведення тепла, організація циркуляції повітря, вибір кліматичного обладнання, а також заходи підвищення енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації.

Мета роботи - розробити ефективну систему охолодження серверного приміщення, яка забезпечить стабільний температурний режим, надійну роботу серверного обладнання, зменшення ризику перегріву та можливість безпечної експлуатації інформаційної інфраструктури.

Короткий зміст роботи: У першому розділі дипломної роботи розглянуто теоретичні основи охолодження серверних приміщень, зокрема особливості серверних кімнат, вимоги до мікроклімату, джерела тепловиділення та нормативні вимоги. У другому розділі проаналізовано існуючі системи охолодження серверних, зокрема повітряні та рідинні системи, принципи їх роботи, переваги, недоліки, енергоефективність і надійність. У третьому розділі виконано розробку системи охолодження серверного приміщення, наведено характеристику приміщення та обладнання, проведено розрахунок теплового навантаження, обґрунтовано вибір кліматичного обладнання і запропоновано схему розміщення та циркуляції повітря. У четвертому розділі здійснено оцінку ефективності розробленої системи, розглянуто питання енергоспоживання, резервування, надійності, охорони праці та безпеки експлуатації серверного приміщення.

Запропонована система охолодження дозволяє підтримувати необхідні параметри мікроклімату, забезпечувати стабільну роботу серверного обладнання, знижувати ризик аварійних ситуацій, пов’язаних із перегрівом, та підвищувати загальну надійність інформаційної інфраструктури підприємства.

Ключові слова: СЕРВЕРНЕ ПРИМІЩЕННЯ, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, МІКРОКЛІМАТ, ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ПОВІТРЯНА ЦИРКУЛЯЦІЯ, КОНДИЦІЮВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕЗЕРВУВАННЯ, БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП 9
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНИХ ПРИМІЩЕНЬ 10
1.1 Особливості серверних приміщень та вимоги до мікроклімату 10
1.2 Джерела тепловиділення в серверному обладнанні 14
1.3 Основні методи та системи охолодження серверних 16
1.4 Нормативні вимоги та стандарти для серверних приміщень 20
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНИХ 25
2.1 Повітряні системи охолодження та принцип їх роботи 25
2.2 Рідинне охолодження серверного обладнання 28
2.3 Порівняння ефективності сучасних систем охолодження 32
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНОГО ПРИМІЩЕННЯ 36
3.1 Характеристика серверного приміщення та обладнання 36
3.2 Розрахунок теплового навантаження приміщення 39
3.3 Вибір обладнання для системи охолодження 44
3.4. Проєктування схеми розміщення та циркуляції повітря 47
4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ 52
4.1 Аналіз ефективності охолодження серверного приміщення 52
4.2. Оцінка енергоспоживання системи 54
4.3. Забезпечення надійності та резервування охолодження 57
4.4. Охорона праці та безпека експлуатації серверного приміщення 60
ВИСНОВКИ 64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 66
Додаток А. Схема організації холодних та гарячих коридорів у серверному приміщенні 68
Додаток Б. Розрахунок теплового навантаження серверного приміщення 69
Додаток В. Основні параметри обраної системи охолодження 70
Додаток Г. Основні показники ефективності системи охолодження серверного приміщення 71
Додаток Д. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація) 72

ВСТУП

У сучасних умовах серверні приміщення є важливою частиною інформаційної інфраструктури підприємств, організацій та дата-центрів. У них розміщується серверне, мережеве та допоміжне обладнання, яке забезпечує зберігання, обробку й передачу даних. Таке обладнання працює переважно у безперервному режимі, тому потребує стабільних умов експлуатації.

Під час роботи сервери, комутатори, системи зберігання даних і джерела безперебійного живлення виділяють значну кількість тепла. Якщо тепло не відводиться належним чином, температура в приміщенні підвищується, що може призвести до перегріву обладнання, зниження його продуктивності, аварійних вимкнень, втрати даних і скорочення строку служби компонентів.

Актуальність теми полягає в тому, що сучасні серверні приміщення мають високу щільність розміщення обладнання та підвищене теплове навантаження. Тому для забезпечення їх надійної роботи необхідно правильно розрахувати систему охолодження, організувати циркуляцію повітря, підібрати відповідне кліматичне обладнання та передбачити заходи резервування і контролю мікроклімату.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Особливості серверних приміщень та вимоги до мікроклімату

Серверне приміщення - це спеціально підготовлене технічне приміщення, призначене для розміщення серверного, мережевого, телекомунікаційного та допоміжного обладнання (рис.1.1). У ньому можуть знаходитися серверні стійки, комутатори, маршрутизатори, системи зберігання даних, джерела безперебійного живлення, патч-панелі, системи моніторингу та інші елементи інформаційної інфраструктури. Головним призначенням серверного приміщення є забезпечення стабільної та безперервної роботи обладнання, яке відповідає за обробку, зберігання й передачу даних.



Рисунок 1.1 — Загальний вигляд серверного приміщення з розміщенням серверних стійок

На відміну від звичайних офісних приміщень, серверна кімната має підвищені вимоги до умов експлуатації. Це пов’язано з тим, що серверне

обладнання працює переважно цілодобово, без тривалих перерв, і постійно виділяє тепло. Навіть невелике серверне приміщення може мати значне теплове навантаження, оскільки більша частина електричної енергії, яку споживають сервери та мережеві пристрої, перетворюється на теплову енергію. Якщо це тепло не відводити своєчасно, температура в приміщенні швидко підвищується, що негативно впливає на стабільність і строк служби обладнання, тому під час проєктування системи охолодження серверного приміщення потрібно враховувати вимоги до мікроклімату серверного приміщення (табл. 1.1).

Однією з головних особливостей серверного приміщення є висока щільність розміщення обладнання. У серверній стійці може бути встановлено декілька серверів, систем зберігання даних та мережевих пристроїв, які одночасно працюють під навантаженням. У результаті на відносно невеликій площі формується значна кількість тепла. Тому під час проєктування серверної необхідно враховувати не лише площу приміщення, а й сумарну потужність обладнання, його розташування, напрямок руху повітря та можливість подальшого розширення інфраструктури.

Важливою вимогою до серверного приміщення є підтримання стабільного температурного режиму. Температура повітря має бути такою, щоб обладнання працювало в допустимих межах і не переходило в аварійний режим. Для серверного обладнання особливо важливо контролювати температуру повітря не просто в центрі приміщення, а саме на вході повітря в сервери. Це пояснюється тим, що охолодження внутрішніх компонентів сервера залежить від температури повітря, яке надходить у передню частину корпусу або серверної стійки.

Згідно з рекомендаціями ASHRAE TC 9.9, для багатьох класів IT-обладнання рекомендований температурний діапазон повітря на вході до обладнання становить приблизно 18–27°C. Такий діапазон дозволяє забезпечити баланс між надійністю роботи серверного обладнання та енергоефективністю системи охолодження. Надмірне зниження температури призводить до збільшення витрат електроенергії на кондиціювання, а надмірне підвищення температури може створити ризик перегріву обладнання.

Крім температури, важливим параметром мікроклімату є відносна вологість повітря. Занадто низька вологість може сприяти накопиченню статичної електрики, що є небезпечним для електронних компонентів. Надмірна вологість, у свою чергу, може призвести до утворення конденсату, корозії контактів і пошкодження обладнання. Тому в серверних приміщеннях необхідно забезпечувати контроль вологості та не допускати різких коливань параметрів повітряного середовища.

Ще однією важливою вимогою є правильна організація циркуляції повітря. Охолоджене повітря повинно надходити до передньої частини серверних стійок, де розташовані повітрозабірні отвори обладнання, а нагріте повітря має відводитися із задньої частини стійок. Якщо холодне й гаряче повітря змішуються, ефективність охолодження знижується, а кондиціонер працює з більшим навантаженням. Для підвищення ефективності в серверних приміщеннях застосовують принцип розділення холодних і гарячих повітряних потоків.

Серверне приміщення також повинно мати надійну систему вентиляції та кондиціювання. Звичайна побутова вентиляція не може забезпечити необхідний рівень охолодження, оскільки серверне обладнання створює постійне теплове навантаження. Для таких приміщень використовують кондиціонери, прецизійні системи охолодження, припливно-витяжну вентиляцію або комбіновані рішення. Вибір конкретної системи залежить від площі приміщення, кількості обладнання, теплового навантаження, вимог до надійності та бюджету проєкту.

Окрему увагу необхідно приділяти резервуванню системи охолодження. Оскільки серверне обладнання працює безперервно, відмова кондиціонера або вентиляційної системи може швидко призвести до підвищення температури. Тому для серверних приміщень доцільно передбачати резервне охолодження, наприклад за схемою N+1, коли один охолоджувальний пристрій може виконувати функцію резервного. Це дозволяє підвищити надійність системи та зменшити ризик аварійного перегріву.

Не менш важливим є моніторинг параметрів мікроклімату. У серверному приміщенні бажано встановлювати датчики температури та вологості, які дозволяють контролювати стан середовища в режимі реального часу. Дані з таких

датчиків можуть передаватися на систему моніторингу, яка повідомляє адміністратора про перевищення допустимих значень. Це дає змогу своєчасно реагувати на несправності системи охолодження або інші аварійні ситуації.

Міжнародний стандарт ISO/IEC 22237-4 визначає вимоги й рекомендації щодо контролю середовища в дата-центрах, зокрема температурного контролю, руху повітря, вологості, чистоти повітря, вібрації, розміщення обладнання та енергоощадних практик. Це підтверджує, що система охолодження серверного приміщення повинна розглядатися як комплекс інженерних рішень, а не лише як встановлення окремого кондиціонера.

Таблиця 1.1 — Основні вимоги до мікроклімату серверного приміщення

Параметр	Основна вимога
Температура повітря	Підтримання стабільного температурного режиму в допустимих межах
Вологість повітря	Недопущення надмірної сухості або підвищеної вологості
Циркуляція повітря	Подача холодного повітря до обладнання та відведення гарячого повітря
Чистота повітря	Зменшення кількості пилу та забруднень у приміщенні
Резервування охолодження	Забезпечення роботи системи у разі відмови основного обладнання
Моніторинг	Постійний контроль температури, вологості та аварійних станів
Безпека	Дотримання вимог електробезпеки та пожежної безпеки

Таким чином, серверне приміщення є технічним об’єктом із підвищеними вимогами до мікроклімату. Для забезпечення стабільної роботи серверного обладнання необхідно підтримувати допустиму температуру й вологість,

правильно організовувати повітряні потоки, передбачати резервування охолодження та здійснювати постійний моніторинг параметрів середовища. Виконання цих вимог дозволяє знизити ризик перегріву, підвищити надійність обладнання та забезпечити безперервну роботу інформаційної інфраструктури.

1.2 Джерела тепловиділення в серверному обладнанні

Основною причиною необхідності охолодження серверних приміщень є постійне тепловиділення обладнання. Сервери, системи зберігання даних, мережеві пристрої та джерела безперебійного живлення під час роботи споживають електричну енергію, значна частина якої перетворюється на тепло. Чим більша кількість обладнання та щільність його розміщення, тим вищим є теплове навантаження на приміщення (табл. 1.2).

Головним джерелом тепла в сервері є центральний процесор. Він виконує основні обчислювальні операції, тому під час високого навантаження споживає більше електроенергії та виділяє більше тепла. Також значну роль відіграє оперативна пам’ять, особливо у серверах із великою кількістю модулів, які використовуються для віртуалізації, баз даних або обробки великих обсягів інформації. Додатковими джерелами тепловиділення є накопичувачі даних. Жорсткі диски нагріваються через роботу механічних частин, а SSD та NVMe-накопичувачі - під час інтенсивного читання і запису інформації. У великих дискових масивах сумарне тепловиділення накопичувачів може суттєво впливати на температурний режим серверної. Окрему частину теплового навантаження створюють блоки живлення. Вони перетворюють електричну енергію на напруги, необхідні для роботи компонентів сервера, і частина цієї енергії втрачається у вигляді тепла. Навіть при використанні ефективних блоків живлення повністю уникнути тепловиділення неможливо. Мережеве обладнання також впливає на мікроклімат серверного приміщення. Комутатори, маршрутизатори, міжмережеві екрани та інші пристрої працюють безперервно, тому постійно виділяють тепло.

Особливо це стосується високошвидкісного обладнання з портами 10GbE, 25GbE, 40GbE або 100GbE. Джерела безперебійного живлення забезпечують стабільну роботу серверного обладнання при перебоях електроживлення, але під час роботи також виділяють тепло. Крім того, до менш потужних джерел тепловиділення належать системи моніторингу, освітлення, обладнання контролю доступу та інші допоміжні пристрої.

Таблиця 1.2 — Основні джерела тепловиділення в серверному обладнанні

Джерело тепловиділення	Причина утворення тепла	Вплив на мікроклімат
Центральний процесор	Виконання обчислювальних операцій	Значне локальне тепловиділення
Оперативна пам’ять	Робота великої кількості модулів	Додаткове нагрівання сервера
Накопичувачі даних	Робота HDD, SSD, NVMe	Підвищення температури в зоні зберігання даних
Блоки живлення	Перетворення електричної енергії	Постійне тепловиділення
Мережеве обладнання	Робота комутаторів і маршрутизаторів	Додаткове навантаження на охолодження
ДБЖ	Стабілізація напруги та заряджання батарей	Нагрівання приміщення
Допоміжне обладнання	Робота моніторингу, освітлення, контролю доступу	Невелике постійне тепловиділення

Під час розрахунку системи охолодження важливо враховувати, що майже вся електроенергія, яку споживає серверне обладнання, у результаті перетворюється на тепло. Тому основою для визначення теплового навантаження є сумарна

електрична потужність обладнання. Також необхідно враховувати режим роботи серверів, пікові навантаження, щільність розміщення обладнання в стійках і можливість подальшого розширення серверної інфраструктури.

Отже, основними джерелами тепловиділення є сервери, накопичувачі, блоки живлення, мережеве обладнання та джерела безперебійного живлення. Їхнє сумарне тепловиділення визначає необхідну потужність системи охолодження серверного приміщення.

1.3 Основні методи та системи охолодження серверних

Для забезпечення стабільної роботи серверного обладнання необхідно ефективно відводити тепло, яке утворюється під час його роботи. Система охолодження серверного приміщення повинна підтримувати допустимий температурний режим, забезпечувати правильну циркуляцію повітря та запобігати утворенню зон перегріву. Вибір методу охолодження залежить від розміру серверної, кількості обладнання, теплового навантаження, вимог до надійності та бюджету (таб. 1.3).

Найпоширенішим методом є повітряне охолодження. Його принцип полягає у подачі охолодженого повітря до серверного обладнання та відведенні нагрітого повітря за межі робочої зони. У більшості серверів повітря проходить через корпус у напрямку спереду назад: холодне повітря надходить через передню частину сервера, проходить через внутрішні компоненти та виходить із задньої частини вже нагрітим.

Для підвищення ефективності повітряного охолодження використовують правильне розміщення серверних стійок. Найбільш поширеним підходом є організація холодних і гарячих коридорів (рис.1.2). Передні частини серверних стійок розміщують одна навпроти одної, утворюючи холодний коридор, куди подається охолоджене повітря. Задні частини стійок утворюють гарячий коридор, звідки відводиться нагріте повітря. Така схема дозволяє зменшити змішування

холодного й гарячого повітря та підвищити ефективність роботи системи охолодження.

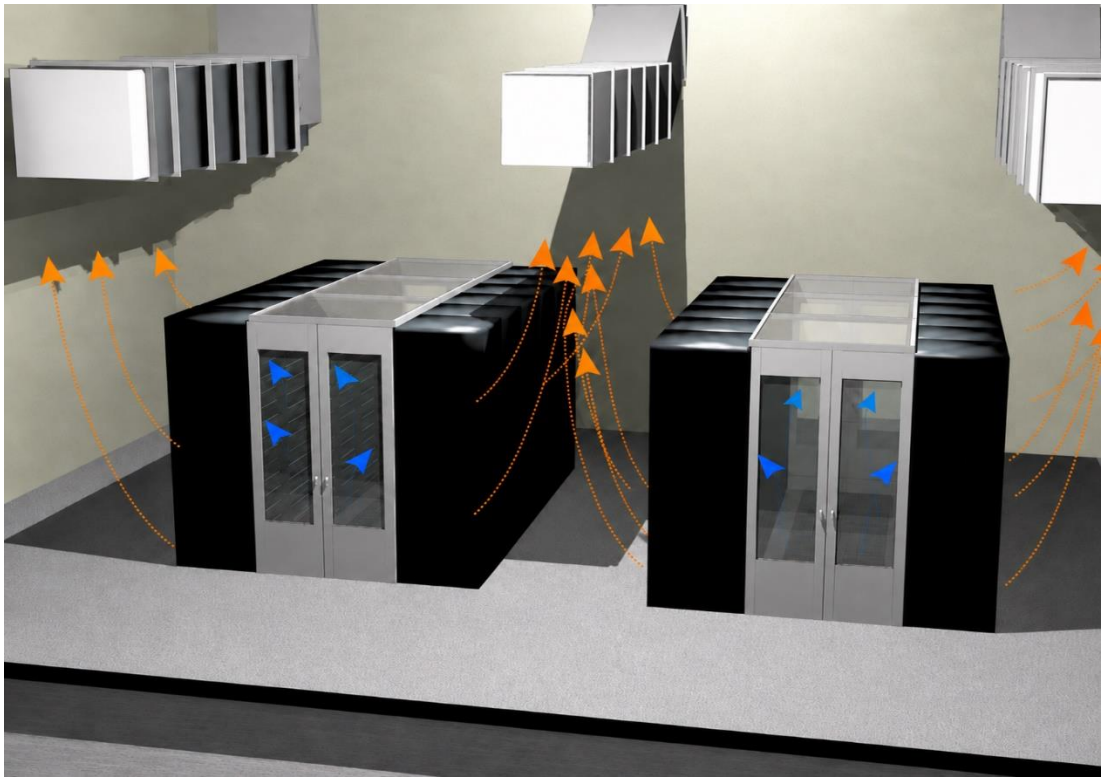


Рисунок 1.2 — Схема організації холодного та гарячого коридорів у серверному приміщенні

У невеликих серверних приміщеннях часто застосовують настінні або напівпромислові кондиціонери. Вони є відносно доступними, простими в монтажі та обслуговуванні. Однак такі системи не завжди забезпечують точний контроль температури й вологості, а також можуть не мати достатнього ресурсу для безперервної цілодобової роботи. Тому їх доцільно використовувати лише для серверних із невеликим тепловим навантаженням.

Для більш відповідальних серверних приміщень застосовують прецизійні кондиціонери. Вони призначені для точного підтримання параметрів мікроклімату та можуть працювати безперервно протягом тривалого часу. Прецизійні системи дозволяють контролювати температуру, вологість і напрямок повітряного потоку. Їх

використовують у серверних кімнатах, дата-центрах та інших об’єктах, де важлива висока надійність охолодження.

Ще одним методом є використання фальшпідлоги. У такій системі охолоджене повітря подається під підлогу, після чого через спеціальні перфоровані плитки надходить у холодні коридори перед серверними стійками. Нагріте повітря відводиться у верхню частину приміщення або повертається до кондиціонера. Такий підхід дозволяє краще розподіляти повітряні потоки, однак потребує правильного проєктування та достатньої висоти приміщення.

Окрім повітряного охолодження, у сучасних серверних системах може застосовуватися рідинне охолодження (рис.1.3). Його суть полягає у відведенні тепла за допомогою рідини, яка має вищу теплоємність, ніж повітря. Рідинне охолодження може використовуватися безпосередньо для процесорів, графічних прискорювачів або інших високотепловидільних компонентів. Такий метод є ефективним для потужних серверів і високощільних обчислювальних систем, однак він складніший у впровадженні та потребує якісного контролю герметичності.

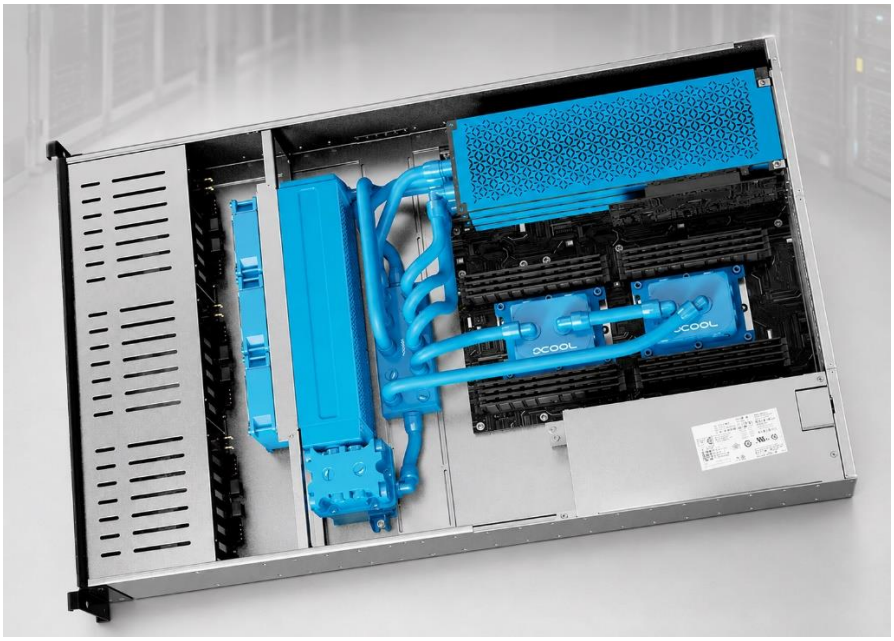


Рисунок 1.3 — Внутрішня будова серверного шасі з елементами рідинного охолодження

До сучасних методів також належить охолодження на рівні серверної стійки. У цьому випадку охолоджувальні модулі встановлюються безпосередньо біля стійок або між ними. Таке рішення дозволяє точніше подавати холодне повітря до обладнання та швидше відводити тепло. Його доцільно використовувати у приміщеннях із високою щільністю обладнання або там, де звичайне кондиціювання не забезпечує достатньої ефективності.

Таблиця 1.3 — Основні методи та системи охолодження серверних приміщень

Метод охолодження	Особливості	Сфера застосування
Настінні кондиціонери	Просте та доступне рішення	Невеликі серверні приміщення
Прецизійні кондиціонери	Точний контроль температури й вологості	Серверні з підвищеними вимогами
Холодні та гарячі коридори	Розділення потоків холодного й гарячого повітря	Серверні стійки та дата-центри
Фальшпідлога	Подача холодного повітря знизу	Середні та великі серверні
Охолодження на рівні стійки	Локальне охолодження обладнання	Високощільні серверні системи
Рідинне охолодження	Відведення тепла за допомогою рідини	Потужні сервери та обчислювальні системи

Під час вибору системи охолодження важливо враховувати не лише її потужність, а й надійність, енергоефективність, можливість обслуговування та резервування. Для серверних приміщень небажано використовувати рішення, які не розраховані на тривалу безперервну роботу. Також необхідно передбачати можливість розширення системи у разі збільшення кількості серверного обладнання.

Отже, основними методами охолодження серверних приміщень є повітряне, прецизійне, локальне та рідинне охолодження. Найчастіше використовуються

повітряні системи з правильною організацією циркуляції повітря, оскільки вони є відносно простими, доступними та ефективними для більшості серверних приміщень. Для об’єктів із високим тепловим навантаженням доцільно застосовувати прецизійні або комбіновані системи охолодження.

1.4 Нормативні вимоги та стандарти для серверних приміщень

Під час проєктування серверного приміщення необхідно враховувати не лише технічні характеристики обладнання, а й нормативні вимоги до мікроклімату, електроживлення, пожежної безпеки, розміщення обладнання та організації інженерної інфраструктури. Дотримання таких вимог дозволяє забезпечити стабільну роботу серверів, зменшити ризик аварійних ситуацій і підвищити надійність усієї інформаційної системи.

Одним із важливих документів у сфері експлуатації серверного обладнання є рекомендації ASHRAE TC 9.9, які стосуються теплових умов для дата-центрів та IT-обладнання (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 — Рекомендовані параметри мікроклімату серверного приміщення згідно з ASHRAE TC 9.9

Параметр	Рекомендоване значення
Температура повітря на вході до обладнання	18–27°C
Контроль вологості	Недопущення надмірної сухості та конденсації
Контроль повітряних потоків	Розділення холодного та гарячого повітря
Моніторинг	Постійний контроль температури та вологості

У цих рекомендаціях особлива увага приділяється температурі повітря на вході до обладнання, оскільки саме цей параметр безпосередньо впливає на роботу внутрішніх систем охолодження серверів. Для більшості серверного обладнання рекомендований діапазон температури на вході становить приблизно 18–27°C, що дозволяє забезпечити баланс між надійністю роботи та енергоефективністю охолодження.

Важливим міжнародним стандартом є ISO/IEC 22237-4, який описує вимоги та рекомендації щодо контролю середовища в дата-центрах. У ньому розглядаються питання температурного контролю, руху повітря, відносної вологості, чистоти повітря, вібрацій, розміщення обладнання та енергоощадних практик. Це означає, що серверне приміщення потрібно розглядати як комплексну інженерну систему, де охолодження пов’язане з вентиляцією, плануванням простору, моніторингом і безпекою.

Також у сфері проєктування серверних і дата-центрів використовується стандарт ANSI/TIA-942. Він визначає мінімальні вимоги до інфраструктури дата-центрів і охоплює архітектурні, електричні, механічні, телекомунікаційні, пожежні, безпекові та інші аспекти. Для серверного приміщення це важливо, оскільки система охолодження не повинна розглядатися окремо від електроживлення, резервування, кабельної інфраструктури та безпеки приміщення.

До основних вимог щодо мікроклімату серверного приміщення належать підтримання стабільної температури, контроль вологості, організація правильного руху повітря та недопущення локальних зон перегріву. Охолоджене повітря повинно подаватися до передньої частини серверних стійок, а нагріте повітря має відводитися із задньої частини обладнання. Такий підхід дозволяє розділити холодні та гарячі повітряні потоки й підвищити ефективність системи охолодження.

Окремо слід враховувати вимоги до вологості повітря. Надмірно сухе повітря може сприяти накопиченню статичної електрики, що є небезпечним для електронних компонентів. Занадто висока вологість може призвести до утворення конденсату, корозії контактів і пошкодження обладнання. Тому в серверних

приміщеннях необхідно забезпечувати контроль вологості та уникати різких коливань параметрів повітряного середовища.

Важливою вимогою є наявність системи моніторингу (рис.1.4). У серверному приміщенні повинні контролюватися температура, вологість, стан системи охолодження, електроживлення та аварійні події. У разі перевищення допустимих параметрів система моніторингу має повідомляти відповідальний персонал, щоб можна було швидко усунути проблему та запобігти аварійному перегріву обладнання.

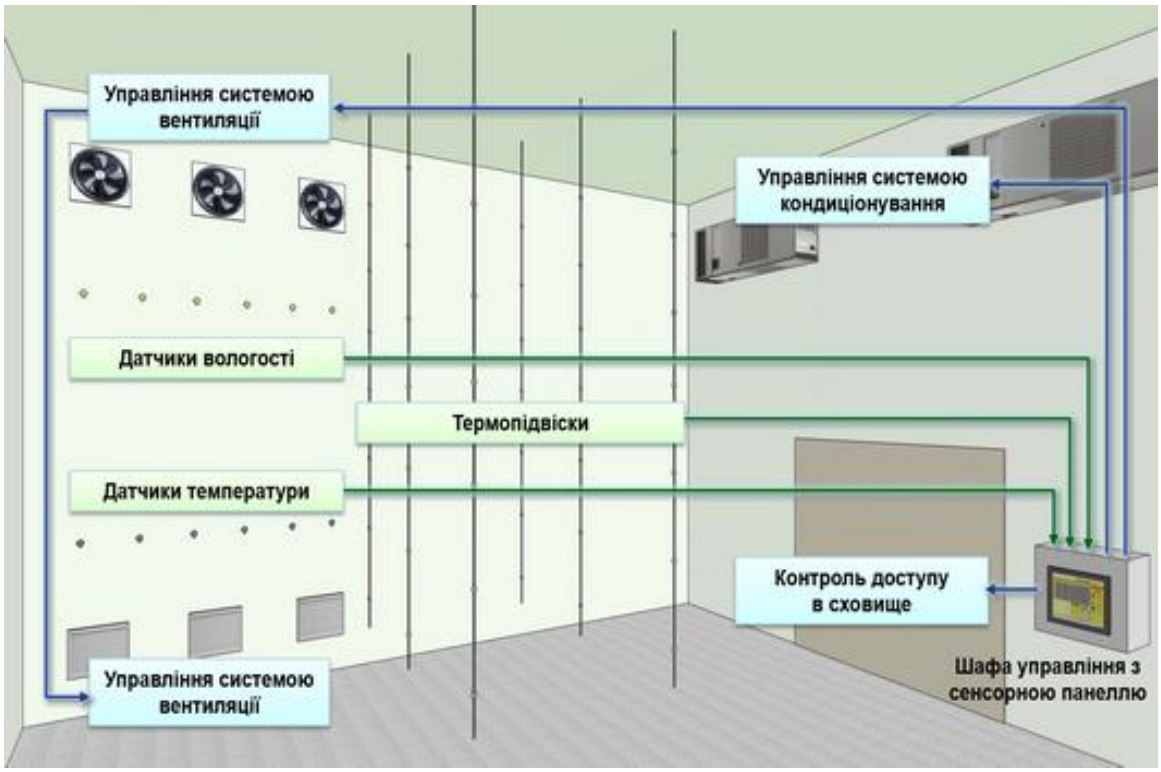


Рисунок 1.4 — Система моніторингу та керування мікрокліматом серверного приміщення

Під час проєктування також необхідно враховувати пожежну безпеку (рис.1.5). Серверне приміщення містить значну кількість електронного обладнання, кабелів і джерел живлення, тому важливо передбачити засоби виявлення пожежі, безпечне прокладання кабельних трас, використання відповідних матеріалів і дотримання правил електробезпеки. Для таких приміщень небажано застосовувати

рішення, які можуть пошкодити обладнання під час гасіння або створити додаткову небезпеку для персоналу.

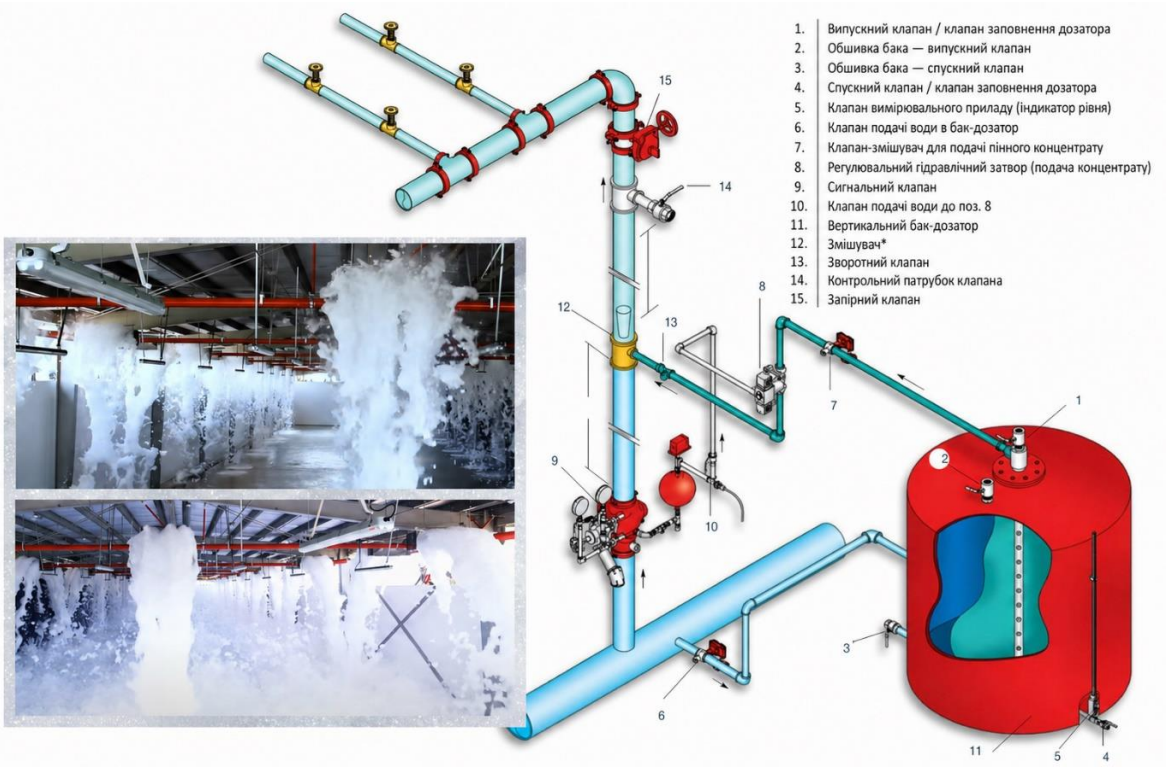


Рисунок 1.5 — Приклад пінної системи пожежогасіння для захисту технічних приміщень

Основні нормативні напрями, які необхідно враховувати при проєктуванні серверного приміщення, наведено в табл.1.5.

Таблиця 1.5 — Основні нормативні вимоги до серверного приміщення

Напрям вимог	Зміст вимог
Температурний режим	Підтримання допустимої температури повітря на вході до серверного обладнання
Вологість повітря	Контроль вологості для запобігання статичній електриці та конденсації
Рух повітря	Організація подачі холодного та відведення гарячого повітря

Продовження таблиці 1.5

Напрям вимог	Зміст вимог
Розміщення обладнання	Забезпечення доступу до серверних стійок і правильного напрямку повітряних потоків
Електроживлення	Стабільне живлення, заземлення та використання ДБЖ
Пожежна безпека	Виявлення пожежі, безпечне прокладання кабелів і захист обладнання
Моніторинг	Контроль температури, вологості, охолодження та аварійних станів
Резервування	Забезпечення роботи серверної у разі відмови окремих систем

Отже, нормативні вимоги та стандарти для серверних приміщень спрямовані на забезпечення стабільної, безпечної та енергоефективної роботи обладнання. Вони охоплюють не лише температуру й вологість, а й організацію повітряних потоків, електроживлення, пожежну безпеку, моніторинг і резервування. Дотримання цих вимог є необхідною умовою для правильної розробки системи охолодження серверного приміщення.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНИХ

2.1 Повітряні системи охолодження та принцип їх роботи

Повітряне охолодження є одним із найпоширеніших методів відведення тепла в серверних приміщеннях. Його популярність пояснюється відносною простотою реалізації, доступністю обладнання, зручністю обслуговування та можливістю застосування як у невеликих серверних кімнатах, так і в більших дата-центрах. Основний принцип роботи повітряної системи охолодження полягає у подачі охолодженого повітря до серверного обладнання та відведенні нагрітого повітря за межі зони розміщення серверів.

У більшості серверів повітря рухається за схемою “спереду назад”. Холодне повітря надходить через передню частину сервера, проходить через внутрішні компоненти — процесори, модулі пам’яті, накопичувачі, плати розширення та блоки живлення — після чого вже нагрітим виходить із задньої частини корпусу. Саме тому під час проєктування серверного приміщення важливо правильно розташовувати серверні стійки та не допускати змішування холодного і гарячого повітря.

Основними елементами повітряної системи охолодження є кондиціонери, вентилятори, вентиляційні канали, повітрозабірні та витяжні отвори, а також система керування мікрокліматом. У невеликих серверних приміщеннях часто використовують настінні або напівпромислові кондиціонери, які підтримують необхідну температуру повітря. У більших або більш відповідальних серверних застосовують прецизійні кондиціонери, які забезпечують точніше регулювання температури, вологості та напрямку повітряного потоку.

Важливим принципом організації повітряного охолодження є поділ приміщення на холодні та гарячі коридори. Холодний коридор формується перед передніми частинами серверних стійок, куди подається охолоджене повітря.

Гарячий коридор розташовується за задніми частинами стійок, звідки відводиться нагріте повітря. Така схема дозволяє зменшити змішування повітряних потоків і підвищити ефективність охолодження.

У разі неправильного розміщення обладнання можуть виникати локальні зони перегріву. Наприклад, якщо гаряче повітря із задньої частини стійки потрапляє назад до передньої частини обладнання, сервери починають засмоктувати вже нагріте повітря. Це призводить до підвищення температури компонентів, збільшення швидкості обертання вентиляторів, зростання енергоспоживання та підвищення ризику аварійного вимкнення обладнання.

Для підвищення ефективності повітряного охолодження використовують заглушки в порожніх місцях серверних стійок (рис. 2.1) . Вони запобігають неконтрольованому проходженню повітря через вільні отвори та допомагають спрямовувати охолоджене повітря саме через обладнання. Також важливо правильно організувати кабельну інфраструктуру, оскільки велика кількість кабелів у задній частині стійки може перешкоджати відведенню гарячого повітря.



Рисунок 2.1 — Порівняння серверної стійки без заглушок та з установленими заглушками для запобігання неконтрольованому проходженню повітря

У серверних приміщеннях середнього та великого розміру може застосовуватися фальшпідлога. У такій системі охолоджене повітря подається в простір під підлогою, а потім через перфоровані плитки надходить у холодні коридори. Нагріте повітря від серверів піднімається вгору або спрямовується до витяжних каналів і повертається до кондиціонера для повторного охолодження. Такий спосіб дозволяє рівномірніше розподіляти повітряні потоки, але потребує правильного проєктування.

Повітряні системи охолодження мають низку переваг та недоліків (табл 2.1). Серед переваг є відносно простими у впровадженні, не потребують складної інфраструктури з рідинами, мають доступну вартість і добре підходять для більшості серверних приміщень. Крім того, таке обладнання простіше обслуговувати, а у разі несправності окремі елементи системи можна швидко замінити.

Водночас повітряне охолодження має і певні обмеження. Його ефективність знижується при високій щільності розміщення обладнання, великому тепловому навантаженні або неправильній організації повітряних потоків. Крім того, для підтримання низької температури може знадобитися значне енергоспоживання кондиціонерів і вентиляторів. Тому при використанні повітряного охолодження важливо не лише правильно підібрати потужність кліматичного обладнання, а й грамотно організувати циркуляцію повітря.

Таблиця 2.1 — Переваги та недоліки повітряних систем охолодження

Переваги	Недоліки
Простота реалізації	Обмежена ефективність при високій щільності обладнання
Доступна вартість обладнання	Можливість утворення зон локального перегріву
Зручність обслуговування	Залежність ефективності від правильної циркуляції повітря

Продовження таблиці 2.1

Переваги	Недоліки
Можливість використання у невеликих серверних	Підвищене енергоспоживання при неправильному проєктуванні
Сумісність із більшістю серверного обладнання	Необхідність контролю змішування холодного і гарячого повітря

Отже, повітряні системи охолодження є найбільш поширеним рішенням для серверних приміщень завдяки простоті, доступності та універсальності. Їх ефективність значною мірою залежить від правильного розрахунку теплового навантаження, розміщення серверних стійок, організації холодних і гарячих коридорів, а також контролю температури в приміщенні. Для невеликих і середніх серверних повітряне охолодження зазвичай є оптимальним варіантом, якщо система спроєктована з урахуванням реального тепловиділення обладнання.

2.2 Рідинне охолодження серверного обладнання

Рідинне охолодження серверного обладнання є одним із сучасних методів відведення тепла, який застосовується у випадках високого теплового навантаження. На відміну від повітряного охолодження, де тепло від компонентів передається повітрю, у рідинних системах використовується спеціальний теплоносій. Рідина має вищу теплоємність, ніж повітря, тому може ефективніше відводити тепло від процесорів, графічних прискорювачів, модулів пам’яті та інших високонавантажених компонентів.

Основний принцип роботи рідинного охолодження полягає у передачі тепла від гарячого компонента до водоблока або теплообмінника. Далі теплоносій циркулює по трубках до радіатора або зовнішнього теплообмінного модуля, де тепло відводиться в навколишнє середовище. Після охолодження рідина знову

повертається до компонентів, і цикл повторюється. Таким чином забезпечується постійне відведення тепла від найбільш навантажених елементів сервера.

У серверному обладнанні рідинне охолодження найчастіше застосовується для центральних процесорів, графічних прискорювачів, обчислювальних модулів і високощільних серверних платформ. Особливо актуальним воно є для систем штучного інтелекту, високопродуктивних обчислень, віртуалізації, обробки великих обсягів даних і задач, де сервери працюють під тривалим високим навантаженням.

Рідинне охолодження може бути реалізоване різними способами. Найпростішим варіантом є замкнена система, у якій теплоносій циркулює між водоблоком, насосом і радіатором. У складніших серверних рішеннях використовуються спеціальні розподільчі колектори, зовнішні теплообмінники та підключення до централізованої системи охолодження. Такі системи дозволяють обслуговувати велику кількість серверів і забезпечувати ефективне відведення тепла на рівні стійки або всього приміщення.

Окремим різновидом рідинного охолодження є імерсійне охолодження, при якому серверне обладнання або цілі обчислювальні кластери занурюються у спеціальну діелектричну охолоджувальну рідину (рис. 2.2). Така рідина не проводить електричний струм, тому може безпечно контактувати з електронними компонентами. Під час роботи тепло від процесорів, пам’яті, накопичувачів та інших елементів передається безпосередньо рідині, після чого воно відводиться через теплообмінник. Імерсійне охолодження дозволяє значно підвищити ефективність тепловідведення, зменшити потребу у великих повітряних потоках і вентиляторах, а також збільшити щільність розміщення серверного обладнання. Водночас така система є складною та дорогою у впровадженні, потребує спеціального обладнання, контролю стану рідини та відповідної організації технічного обслуговування, тому найчастіше використовується у великих дата-центрах, високопродуктивних обчислювальних комплексах і системах зі значним тепловим навантаженням.

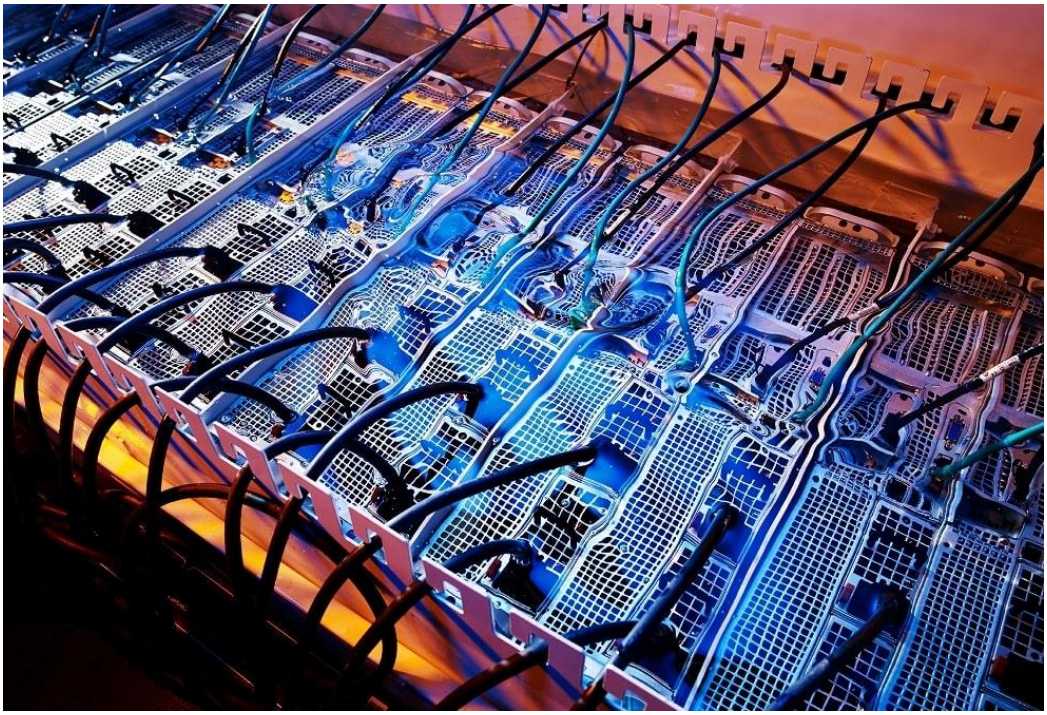


Рисунок 2.2 — Імерсійна система охолодження серверного кластера з використанням діелектричної рідини

Рідині системи охолодження мають низку переваг та недоліків (табл. 2.2) Однією з головних переваг рідинного охолодження є висока ефективність тепловідведення. Завдяки цьому можна зменшити температуру основних компонентів, знизити навантаження на внутрішні вентилятори серверів і підвищити стабільність роботи обладнання. Крім того, використання рідинного охолодження дозволяє розміщувати більше обладнання в одній стійці, оскільки зменшується залежність від великих потоків повітря.

Ще однією перевагою є потенційне зниження енергоспоживання системи охолодження. Якщо тепло ефективніше відводиться безпосередньо від джерела, то потреба у великих об’ємах охолодженого повітря зменшується. Це може позитивно вплинути на енергоефективність серверного приміщення, особливо у великих дата-центрах або високонавантажених обчислювальних системах.

Проте рідинне охолодження має і певні недоліки. Насамперед це складніша конструкція порівняно з повітряними системами. Необхідно забезпечити герметичність з’єднань, надійність насосів, якість теплоносія та регулярний

контроль стану системи. У разі витоку рідини існує ризик пошкодження електронних компонентів, тому такі системи потребують професійного монтажу та обслуговування.

Також варто враховувати вищу вартість впровадження. Рідинні системи охолодження потребують спеціалізованих компонентів: водоблоків, трубок, насосів, теплообмінників, колекторів та систем контролю. Тому для невеликих серверних приміщень із помірним тепловим навантаженням таке рішення не завжди є економічно доцільним. У таких випадках повітряне охолодження може бути простішим і вигіднішим варіантом.

Таблиця 2.2 — Переваги та недоліки рідинного охолодження серверного обладнання

Переваги	Недоліки
Висока ефективність відведення тепла	Складніша конструкція системи
Можливість охолодження потужних компонентів	Вища вартість впровадження
Зменшення навантаження на вентилятори	Потреба у професійному монтажі
Підходить для високощільних серверних систем	Необхідність контролю герметичності
Потенційне зниження енергоспоживання	Ризик пошкодження обладнання у разі витоку

Отже, рідинне охолодження є ефективним рішенням для серверного обладнання з високим тепловиділенням. Воно дозволяє краще відводити тепло від потужних компонентів, підвищувати щільність розміщення обладнання та зменшувати навантаження на повітряну систему охолодження. Водночас через складність, вартість і вимоги до обслуговування таке рішення доцільно

застосовувати переважно у високонавантажених серверних системах, дата-центрах або спеціалізованих обчислювальних комплексах.

2.3 Порівняння ефективності сучасних систем охолодження

Сучасні системи охолодження серверних приміщень відрізняються за принципом роботи, ефективністю тепловідведення, складністю впровадження, вартістю та вимогами до обслуговування. Вибір конкретного рішення залежить від масштабу серверної, щільності розміщення обладнання, сумарного теплового навантаження та вимог до надійності. Для невеликих серверних приміщень часто достатньо повітряного охолодження, тоді як для високонавантажених дата-центрів можуть застосовуватися прецизійні, рідинні або імерсійні системи.

Повітряне охолодження є найбільш поширеним рішенням завдяки простоті реалізації та відносно невисокій вартості. Воно добре підходить для невеликих і середніх серверних приміщень, де теплове навантаження не є надто високим. Його ефективність значною мірою залежить від правильної організації повітряних потоків, розміщення серверних стійок, використання холодних і гарячих коридорів, а також від потужності кондиціонерів. Основним недоліком такого підходу є зниження ефективності при високій щільності обладнання.

Прецизійне кондиціювання є більш ефективним і надійним варіантом повітряного охолодження. Такі системи забезпечують точніше підтримання температури та вологості, можуть працювати у безперервному режимі та краще підходять для серверних із підвищеними вимогами до стабільності мікроклімату. Порівняно зі звичайними кондиціонерами, прецизійні системи мають вищу вартість, але забезпечують кращий контроль умов експлуатації обладнання.

Рідинне охолодження має вищу ефективність тепловідведення, оскільки рідина краще переносить тепло, ніж повітря. Такий підхід дозволяє відводити тепло безпосередньо від найбільш навантажених компонентів, зокрема процесорів і графічних прискорювачів. Рідинне охолодження доцільно використовувати у

високопродуктивних обчислювальних системах, серверах зі значним тепловиділенням та середовищах із високою щільністю обладнання. Водночас воно є складнішим у монтажі, дорожчим і потребує ретельного контролю герметичності.

Імерсійне охолодження є одним із найефективніших сучасних методів відведення тепла. У таких системах серверне обладнання занурюється у спеціальну діелектричну рідину, яка безпосередньо контактує з компонентами та відводить тепло. Такий метод дозволяє значно зменшити потребу у вентиляторах і традиційній повітряній інфраструктурі, а також підвищити щільність розміщення обладнання. Однак імерсійне охолодження потребує спеціалізованого обладнання, високих початкових витрат і особливого підходу до обслуговування.

Для більш наочного порівняння сучасних систем охолодження доцільно узагальнити їх за основними критеріями: ефективністю тепловідведення, складністю впровадження, вартістю та сферою застосування (табл. 2.3). Такий підхід дозволяє швидко оцінити переваги й обмеження кожного рішення.

Таблиця 2.3 — Порівняння ефективності сучасних систем охолодження серверних приміщень

Тип системи охолодження	Ефективність тепловідведення	Складність впровадження	Вартість	Доцільність використання
Звичайне повітряне охолодження	Середня	Низька	Низька або середня	Невеликі серверні приміщення
Прецизійне кондиціювання	Висока	Середня	Середня або висока	Серверні з підвищеними вимогами до мікроклімату

Продовження таблиці 2.3

Тип системи охолодження	Ефективність тепловідведення	Складність впровадження	Вартість	Доцільність використання
Повітряне охолодження з холодними та гарячими коридорами	Вища за звичайне повітряне	Середня	Середня	Середні та великі серверні
Рідинне охолодження компонентів	Висока	Висока	Висока	Потужні сервери та обчислювальні системи
Імерсійне охолодження	Дуже висока	Висока	Висока	Високощільні дата-центри та HPC-системи

З таблиці видно, що універсального рішення для всіх серверних приміщень не існує. Найпростішим і найбільш доступним варіантом є повітряне охолодження, однак його ефективність обмежується тепловим навантаженням і якістю організації повітряних потоків. Прецизійні системи забезпечують кращий контроль мікроклімату, але потребують більших витрат на встановлення та обслуговування.

Рідинне та імерсійне охолодження мають найвищу ефективність, однак їх доцільно використовувати там, де звичайні повітряні системи вже не забезпечують необхідного рівня тепловідведення. Для невеликих і середніх серверних приміщень такі рішення можуть бути надмірними за складністю та вартістю. У таких випадках ефективніше використовувати правильно спроєктовану повітряну систему з розділенням холодних і гарячих потоків, резервуванням і моніторингом температури.

Отже, ефективність системи охолодження визначається не лише типом обладнання, а й правильністю його застосування. Для невеликого серверного

приміщення оптимальним рішенням зазвичай є повітряне охолодження з якісною організацією циркуляції повітря. Для великих дата-центрів і високопродуктивних обчислювальних систем більш доцільними є прецизійні, рідинні або імерсійні системи, які забезпечують вищу ефективність тепловідведення та дозволяють працювати з більшими тепловими навантаженнями.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕРВЕРНОГО ПРИМІЩЕННЯ

3.1 Характеристика серверного приміщення та обладнання

У межах дипломної роботи розглядається серверне приміщення середнього масштабу, призначене для розміщення серверного, мережевого та допоміжного обладнання підприємства. Основним завданням такого приміщення є забезпечення безперервної роботи інформаційної інфраструктури, зберігання та обробки даних, функціонування внутрішніх сервісів, мережевих ресурсів і систем керування.

Для проєктування системи охолодження прийнято серверне приміщення, у якому розміщується 20 серверних стійок. Стійки встановлюються у 4 ряди по 5 стійок у кожному. Така схема дозволяє організувати повітряні потоки за принципом розділення на холодні та гарячі коридори. Передні частини стійок, через які серверне обладнання забирає охолоджене повітря, орієнтуються одна до одної та формують холодні коридори. Задні частини стійок, через які виводиться нагріте повітря, спрямовані у гарячі коридори.

У результаті такого розміщення в приміщенні формується 2 холодних коридори та 3 гарячих коридори. Холодні коридори використовуються для подачі охолодженого повітря до серверного обладнання, а гарячі - для відведення нагрітого повітря до системи кондиціювання (рис. 3.1). Такий підхід дозволяє зменшити змішування холодного та гарячого повітря, підвищити ефективність охолодження та знизити ризик локального перегріву обладнання.

Основним обладнанням, що розміщується в серверних стійках, є сервери, системи зберігання даних, мережеві комутатори, маршрутизатори, патч-панелі та допоміжні пристрої. Сервери працюють у безперервному режимі та створюють основне теплове навантаження. Додаткове тепловиділення формують накопичувачі, блоки живлення, мережеве обладнання та джерела безперебійного живлення.

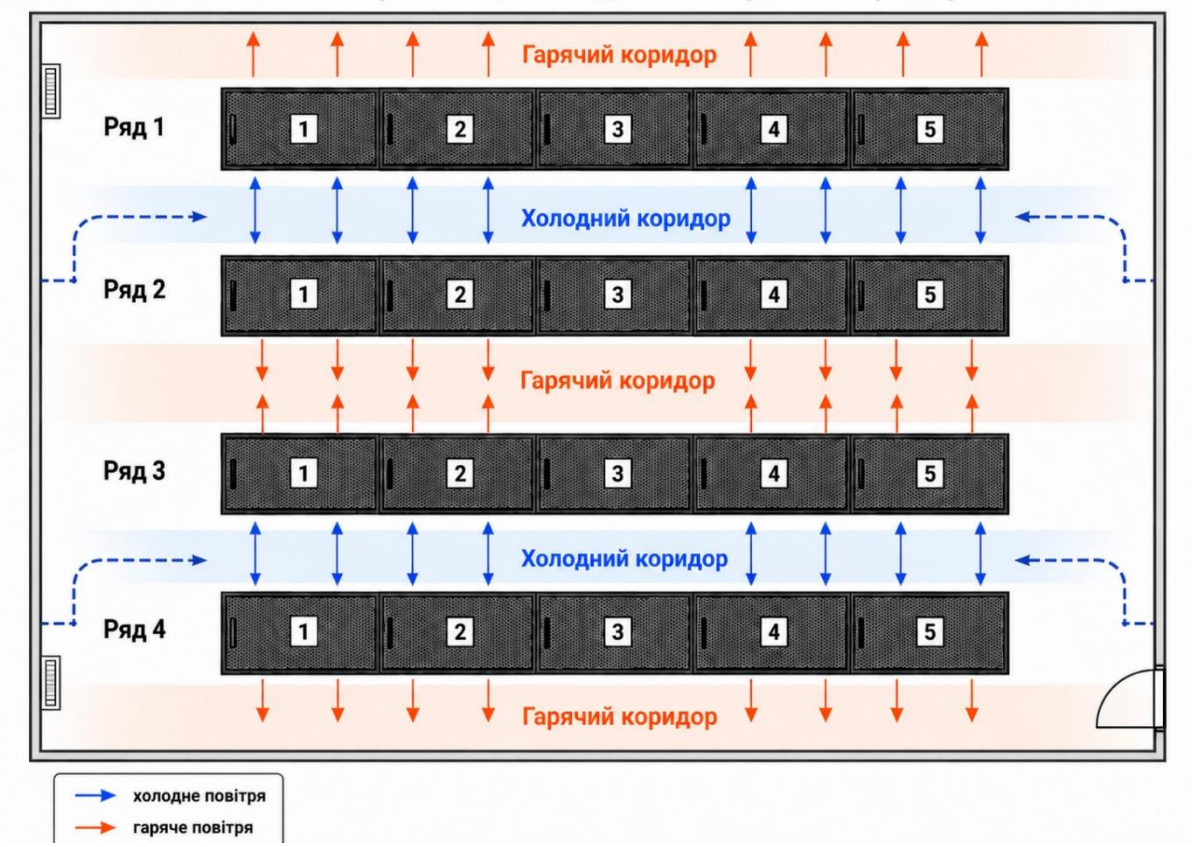


Рисунок 3.1 — Схема організації холодних та гарячих коридорів у серверному приміщенні

Для подальших розрахунків прийнято, що середнє теплове навантаження однієї серверної стійки становить 4 кВт. Таке значення є реалістичним для серверного приміщення середнього рівня, у якому використовуються сервери загального призначення, системи зберігання даних і мережеве обладнання без надмірно високої щільності розміщення.

Для забезпечення стабільної роботи системи охолодження необхідно передбачити запас холодопродуктивності. У роботі приймається запас потужності 20%, що дозволяє врахувати можливе збільшення навантаження, нерівномірність розміщення обладнання, втрати ефективності системи та перспективу подальшого розширення серверної інфраструктури.

Основні вихідні дані для проєктування серверного приміщення наведено нижче (табл 3.1).

Таблиця 3.1 — Вихідні дані для проєктування системи охолодження серверного приміщення

Показник	Значення
Кількість серверних стійок	20 шт.
Схема розміщення	4 ряди по 5 стійок
Кількість холодних коридорів	2 шт.
Кількість гарячих коридорів	3 шт.
Середнє теплове навантаження однієї стійки	4 кВт
Загальне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Прийнятий запас потужності	20%
Тип системи охолодження	Повітряна система з розділенням потоків
Схема резервування охолодження	N+1 / 3+1

Для охолодження приміщення передбачається використання повітряної системи охолодження з прецизійними кондиціонерами. Такий варіант є доцільним для обраної конфігурації, оскільки дозволяє забезпечити стабільний температурний режим, організувати контроль повітряних потоків і передбачити резервування обладнання. Повітряне охолодження у поєднанні з холодними та гарячими коридорами є ефективним рішенням для серверного приміщення середнього масштабу.

Для підвищення ефективності охолодження в проєкті передбачається ізоляція холодних коридорів від основного об’єму приміщення. Холодне повітря подаватиметься безпосередньо в ці коридори через перфоровані панелі фальшпідлоги, а самі холодні коридори будуть відокремлені прозорою пластиковою стелею та розсувними дверима з боків. Завдяки цьому охолоджене повітря концентруватиметься перед передніми частинами серверних стійок, а решта приміщення виконуватиме роль теплої зони для відведення нагрітого повітря.

У проєкті передбачається встановлення чотирьох прецизійних кондиціонерів потужністю 35 кВт кожний. У штатному режимі працюють три кондиціонери, а четвертий використовується як резервний. Така схема відповідає принципу резервування N+1, коли один пристрій може бути виведений з роботи для обслуговування або у разі несправності без порушення загального температурного режиму приміщення.

Таким чином, обране серверне приміщення має достатньо високе теплове навантаження, тому потребує продуманої системи охолодження. Використання 20 серверних стійок, організація 2 холодних і 3 гарячих коридорів, а також застосування прецизійних кондиціонерів із резервуванням дозволяють створити надійну та ефективну систему підтримання мікроклімату. Надалі на основі цих вихідних даних виконується розрахунок теплового навантаження приміщення та вибір обладнання для системи

3.2 Розрахунок теплового навантаження приміщення

Для правильного вибору системи охолодження серверного приміщення необхідно визначити сумарне теплове навантаження, яке створюється серверним, мережевим та допоміжним обладнанням. У серверних приміщеннях більша частина електричної енергії, яку споживає обладнання, у процесі роботи перетворюється на тепло. Тому під час розрахунку системи охолодження за основу приймається сумарна електрична потужність встановленого обладнання.

У межах даного проєкту розглядається серверне приміщення, у якому передбачено розміщення 20 серверних стійок. Стійки встановлюються у 4 ряди по 5 стійок у кожному. Така схема дозволяє організувати два холодні коридори та три гарячі коридори. Передні частини серверних стійок орієнтовані до холодних коридорів, а задні частини - до гарячих зон, через які відводиться нагріте повітря.

Для розрахунку приймається, що середнє теплове навантаження однієї серверної стійки становить 4 кВт. Таке значення є доцільним для серверного

приміщення середнього масштабу, у якому використовуються сервери загального призначення, системи зберігання даних, мережеве обладнання та допоміжні пристрої.

Сумарне теплове навантаження від серверних стійок визначається за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = N \times Q_{\text{ст}} \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{заг}}$ — загальне теплове навантаження серверного обладнання, кВт, N — кількість серверних стійок, $Q_{\text{ст}}$ — теплове навантаження однієї серверної стійки, кВт**.**

Підставимо прийняті значення:

$$Q\text{заг} = 20 \times 4 = 80 \text{ кВт}$$

Отже, основне серверне обладнання створює теплове навантаження приблизно 80 кВт. Це значення є базовим для подальшого вибору холодопродуктивності системи охолодження.

Оскільки стійки розміщені у 4 ряди по 5 стійок, доцільно також визначити теплове навантаження одного ряду. Воно розраховується за формулою:

$$Q_{\text{ряд}} = N_{\text{ряд}} \times Q_{\text{ст}} \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{ряд}}$ — теплове навантаження одного ряду серверних стійок, кВт, $N_{\text{ряд}}$ — кількість стійок в одному ряду, $Q_{\text{ст}}$ — теплове навантаження однієї серверної стійки, кВт**.**

Підставимо значення:

$$Q\text{ряд} = 5 \times 4 = 20 \text{ кВт}$$

Таким чином, один ряд серверних стійок створює приблизно **20 кВт** тепла. Оскільки один холодний коридор обслуговує дві суміжні сторони серверних рядів, теплове навантаження, що припадає на один холодний коридор, становить:

$$Q_{хк} = 2 \times Q_{ряд} \quad (3.3)$$

де $Q_{хк}$ — теплове навантаження, що припадає на один холодний коридор, кВт, $Q_{ряд}$ — теплове навантаження одного ряду серверних стійок, кВт.

Підставимо значення:

$$Qроб = 3 \times 35 = 105 \text{ кВт}$$

Отже, кожен із двох холодних коридорів повинен забезпечувати подачу достатньої кількості охолодженого повітря для відведення приблизно 40 кВт тепла. Це важливо враховувати під час вибору кількості перфорованих панелей фальшпідлоги та організації подачі холодного повітря.

Під час проєктування системи охолодження не можна обмежуватися лише розрахованим значенням тепловиділення. Необхідно враховувати можливі пікові навантаження, нерівномірне розміщення обладнання в стійках, втрати ефективності системи, забруднення фільтрів, а також перспективу подальшого розширення серверної інфраструктури. Тому до розрахункового теплового навантаження додається запас потужності.

У роботі приймається запас холодопродуктивності 20%. Необхідна холодопродуктивність системи з урахуванням запасу визначається за формулою:

$$Q_{охол} = Q_{заг} \times K_з \quad (3.4)$$

де $Q_{охол}$ — необхідна холодопродуктивність системи охолодження, кВт, $Q_{заг}$ — загальне теплове навантаження серверного обладнання, кВт, $K_з$— коефіцієнт запасу.

Для запасу 20% коефіцієнт становить: 1,2.

Тоді:

$$Qохол = 80 \times 1{,}2 = 96 \text{ кВт}$$

Таким чином, для забезпечення стабільного температурного режиму серверного приміщення система охолодження повинна мати робочу холодопродуктивність не менше 96 кВт.

Основні вихідні дані та результати розрахунку наведено нижче (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 — Розрахунок теплового навантаження серверного приміщення

Показник	Значення
Кількість серверних стійок	20 шт.
Розміщення серверних стійок	4 ряди по 5 стійок
Кількість холодних коридорів	2 шт.
Кількість гарячих коридорів	3 шт.
Середнє теплове навантаження однієї стійки	4 кВт
Теплове навантаження одного ряду	20 кВт
Теплове навантаження на один холодний коридор	40 кВт
Загальне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Запас холодопродуктивності	20%
Коефіцієнт запасу	1,2
Необхідна холодопродуктивність системи	96 кВт

У запропонованій схемі охолоджене повітря подається не в увесь об’єм приміщення, а безпосередньо в ізольовані холодні коридори. Для цього передбачається використання фальшпідлоги з перфорованими панелями, через які холодне повітря надходить у зону передніх частин серверних стійок. Саме через передню частину сервери забирають повітря для охолодження внутрішніх компонентів.

Холодні коридори ізолюються від основного об’єму приміщення за допомогою прозорої пластикової стелі та розсувних дверей з боків. Завдяки цьому охолоджене повітря утримується в межах холодного коридору та не змішується з нагрітим повітрям у приміщенні. Такий підхід дозволяє ефективніше використовувати холодопродуктивність кондиціонерів і зменшити втрати холоду.

Після проходження через серверне обладнання повітря нагрівається та виходить у гарячі коридори. Забір гарячого повітря передбачається у верхній частині гарячих зон, оскільки нагріте повітря має меншу густину й природно піднімається вгору. Далі це повітря повертається до системи кондиціювання, де охолоджується та знову подається під фальшпідлогу.

У такій схемі весь простір приміщення поза межами холодних коридорів фактично виконує роль теплої зони. Це дозволяє не витрачати енергію на рівномірне охолодження всього об’єму серверної, а спрямовувати холодне повітря саме в ті ділянки, де воно необхідне для роботи обладнання. Завдяки цьому підвищується ефективність охолодження та зменшується ймовірність повторного потрапляння гарячого повітря до входів серверів.

Отже, у результаті розрахунку встановлено, що сумарне теплове навантаження серверного обладнання становить 80 кВт. З урахуванням 20% запасу необхідна холодопродуктивність системи охолодження дорівнює 96 кВт. При цьому на кожен холодний коридор припадає приблизно 40 кВт теплового навантаження без урахування запасу. Отримані значення є основою для подальшого вибору кліматичного обладнання та проєктування схеми циркуляції повітря в серверному приміщенні.

3.3 Вибір обладнання для системи охолодження

Після визначення теплового навантаження серверного приміщення необхідно обрати обладнання, яке забезпечить достатню холодопродуктивність, стабільну роботу системи та можливість резервування. За результатами розрахунку, сумарне теплове навантаження серверного обладнання становить 80 кВт, а необхідна холодопродуктивність з урахуванням 20% запасу - 96 кВт. Саме це значення приймається як основа для вибору кліматичного обладнання.

Для розглянутого серверного приміщення доцільно використовувати прецизійні кондиціонери, оскільки вони призначені для тривалої безперервної роботи та точного підтримання параметрів мікроклімату. На відміну від побутових або звичайних напівпромислових систем, прецизійні кондиціонери краще підходять для серверних приміщень, де важливі стабільна температура, контроль вологості, висока надійність і можливість роботи в цілодобовому режимі.

Вибір саме прецизійної системи охолодження пояснюється тим, що серверне обладнання створює постійне теплове навантаження. У таких умовах звичайні кондиціонери можуть працювати менш ефективно, оскільки вони переважно розраховані на комфортне охолодження приміщень для людей, а не на безперервне відведення великої кількості тепла від електронного обладнання. Прецизійні кондиціонери, навпаки, орієнтовані на стабільну роботу технічних приміщень і можуть інтегруватися із системами моніторингу та керування.

У проєкті передбачається встановлення чотирьох прецизійних кондиціонерів холодопродуктивністю 35 кВт кожний. Система організовується за схемою 3+1, тобто три кондиціонери працюють у штатному режимі, а один використовується як резервний. Така схема відповідає принципу резервування N+1, коли у разі відмови або технічного обслуговування одного кондиціонера система зберігає можливість підтримувати необхідний температурний режим.

У межах дипломної роботи вибір здійснюється не за конкретною комерційною моделлю кондиціонера, а за необхідними технічними параметрами.

Для системи охолодження приймається прецизійний кондиціонер холодопродуктивністю 35 кВт з можливістю подачі охолодженого повітря під фальшпідлогу, цілодобовим режимом роботи, підключенням до системи моніторингу та використанням у схемі резервування N+1.

Робоча холодопродуктивність системи визначається за формулою:

$$Q_{\text{роб}} = N_{\text{роб}} \times Q_{\text{к}} \tag{3.5}$$

де $Q_{\text{роб}}$ — робоча холодопродуктивність системи, кВт, $N_{\text{роб}}$ — кількість робочих кондиціонерів, $Q_{\text{к}}$ — холодопродуктивність одного кондиціонера, кВт.

Підставимо прийняті значення:

$$Q_{\text{роб}} = 3 \times 35 = 105 \text{ кВт}$$

Отже, у штатному режимі три прецизійні кондиціонери забезпечують сумарну холодопродуктивність 105 кВт. Це перевищує розрахункову потребу 96 кВт, тому система має достатній запас для стабільної роботи при пікових навантаженнях, нерівномірному розподілі тепла між стійками або частковому зниженні ефективності обладнання в процесі експлуатації.

Загальна встановлена холодопродуктивність системи з урахуванням резервного кондиціонера визначається за формулою:

$$Q_{\text{вст}} = N_{\text{заг}} \times Q_{\text{к}} \tag{3.6}$$

де $Q_{\text{вст}}$ — загальна встановлена холодопродуктивність системи, кВт, $N_{\text{заг}}$ — загальна кількість кондиціонерів, $Q_{\text{к}}$ — холодопродуктивність одного кондиціонера, кВт.

Підставимо прийняті значення:

$$Q_{\text{вст}} = 4 \times 35 = 140 \text{ кВт}$$

Таким чином, загальна встановлена холодопродуктивність системи становить 140 кВт, однак у штатному режимі одночасно працюють три кондиціонери. Четвертий кондиціонер перебуває в резерві та може бути задіяний у разі аварійної ситуації, технічного обслуговування або підвищення температури в приміщенні.

Основні параметри обраної системи охолодження наведено нижче (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 — Основні параметри обраної системи охолодження

Показник	Значення
Тип системи охолодження	Прецизійне повітряне охолодження
Необхідна холодопродуктивність	96 кВт
Кількість кондиціонерів	4 шт.
Холодопродуктивність одного кондиціонера	35 кВт
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Кількість резервних кондиціонерів	1 шт.
Робоча холодопродуктивність системи	105 кВт
Загальна встановлена холодопродуктивність	140 кВт
Схема резервування	N+1 / 3+1

Використання схеми 3+1 дозволяє забезпечити баланс між надійністю та економічною доцільністю. З одного боку, три робочі кондиціонери забезпечують необхідну холодопродуктивність із запасом. З іншого боку, наявність одного резервного кондиціонера підвищує відмовостійкість системи та дозволяє проводити обслуговування окремого пристрою без повної зупинки охолодження серверного приміщення.

Для підвищення ефективності роботи кондиціонерів передбачається подача охолодженого повітря під фальшпідлогу з подальшим виходом через перфоровані панелі безпосередньо в холодні коридори. Такий підхід дозволяє подавати холодне повітря саме до передніх частин серверних стійок, де розташовані повітрозабірні отвори обладнання. Водночас нагріте повітря після проходження через сервери виходить у гарячі коридори та відводиться у верхній частині приміщення.

Важливим елементом системи є також автоматичне керування роботою кондиціонерів. Система повинна мати можливість контролювати температуру та вологість у холодних і гарячих зонах, змінювати режим роботи кондиціонерів залежно від навантаження та вмикати резервний пристрій у разі аварійної ситуації. Це дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат і зменшити ризик перегріву серверного обладнання.

Для контролю параметрів середовища доцільно передбачити встановлення датчиків температури й вологості в холодних коридорах, гарячих коридорах та біля виходу нагрітого повітря. Особливо важливо контролювати температуру повітря на вході до серверних стійок, оскільки саме цей показник безпосередньо впливає на ефективність охолодження серверного обладнання.

Отже, для розробленої системи охолодження обрано чотири прецизійні кондиціонери потужністю 35 кВт кожний. У штатному режимі працюють три кондиціонери, які забезпечують 105 кВт холодопродуктивності, що перевищує розрахункову потребу 96 кВт. Четвертий кондиціонер використовується як резервний за схемою N+1, що забезпечує надійність системи, можливість технічного обслуговування та стабільну роботу серверного приміщення.

3.4. Проєктування схеми розміщення та циркуляції повітря

Для забезпечення ефективної роботи системи охолодження важливо не лише правильно підібрати холодопродуктивність кондиціонерів, а й грамотно організувати циркуляцію повітря в серверному приміщенні. Навіть за наявності

достатньої потужності охолодження неправильний рух повітря може призвести до змішування холодних і гарячих потоків, утворення локальних зон перегріву та зниження ефективності всієї системи.

У проєктованому серверному приміщенні передбачається розміщення 20 серверних стійок, встановлених у 4 ряди по 5 стійок. Стійки орієнтуються таким чином, щоб передні частини двох суміжних рядів були спрямовані одна до одної. Це дозволяє сформувати 2 холодних коридори, у які подається охолоджене повітря. Задні частини серверних стійок спрямовані в протилежні боки та формують 3 гарячих коридори, через які відводиться нагріте повітря.

У такій схемі холодні коридори є зонами подачі охолодженого повітря до серверного обладнання. Саме в ці зони спрямовані передні частини стійок, через які сервери забирають повітря для охолодження внутрішніх компонентів. Гарячі коридори, навпаки, призначені для відведення нагрітого повітря, яке виходить із задньої частини серверів після проходження через обладнання.

У проєкті передбачається подача холодного повітря через перфоровані панелі фальшпідлоги. Охолоджене повітря від прецизійних кондиціонерів подається в простір під фальшпідлогою, після чого через перфоровані панелі надходить безпосередньо в холодні коридори. Такий спосіб подачі дозволяє рівномірно розподіляти повітря по довжині коридору та подавати його саме в зону повітрозабору серверного обладнання.

Холодні коридори ізолюються від основного об’єму приміщення за допомогою прозорої пластикової стелі та розсувних дверей з боків. Така конструкція дозволяє утримувати охолоджене повітря в межах холодного коридору та запобігати його змішуванню з нагрітим повітрям. У результаті холодне повітря використовується більш ефективно, оскільки не розсіюється по всьому приміщенню, а спрямовується безпосередньо до серверних стійок.

Після проходження через серверне обладнання повітря нагрівається та виходить у гарячі коридори. Оскільки тепле повітря має меншу густину, воно природно піднімається вгору. Тому в проєкті передбачається забір гарячого повітря

у верхній частині гарячих коридорів. Далі нагріте повітря повертається до прецизійних кондиціонерів, де охолоджується та знову подається під фальшпідлогу.

Таким чином, у приміщенні формується замкнений цикл циркуляції повітря: кондиціонери охолоджують повітря, подають його під фальшпідлогу, через перфоровані панелі воно потрапляє в ізольовані холодні коридори, проходить через серверне обладнання, нагрівається, виходить у гарячі коридори та відводиться зверху назад до системи кондиціювання.

Основні елементи схеми циркуляції повітря наведено нижче (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 — Основні елементи схеми циркуляції повітря в серверному приміщенні

Елемент системи	Призначення
Прецизійні кондиціонери	Охолодження повітря та подача його під фальшпідлогу
Фальшпідлога	Розподіл охолодженого повітря під серверним приміщенням
Перфоровані панелі	Подача холодного повітря безпосередньо в холодні коридори
Холодні коридори	Зона подачі охолодженого повітря до передніх частин серверних стійок
Прозора стеля холодного коридору	Ізоляція холодного коридору зверху
Розсувні двері	Ізоляція холодного коридору з торців
Гарячі коридори	Зона відведення нагрітого повітря від задніх частин серверних стійок
Верхній забір повітря	Відведення нагрітого повітря до системи кондиціювання
Датчики температури	Контроль параметрів повітря в холодних і гарячих зонах

Особливістю запропонованої схеми є те, що охолоджується не весь об’єм серверного приміщення, а насамперед зона, у якій сервери забирають повітря. Це дозволяє підвищити ефективність використання холодопродуктивності кондиціонерів. Простір поза межами холодних коридорів розглядається як тепла зона, у якій рухається повітря після проходження через серверне обладнання.

Такий підхід має кілька переваг. По-перше, зменшується змішування холодного й гарячого повітря. По-друге, знижується ризик повторного потрапляння нагрітого повітря до передніх частин серверних стійок. По-третє, система кондиціювання працює ефективніше, оскільки холодне повітря подається безпосередньо в потрібну зону, а не розподіляється по всьому приміщенню.

Для правильної роботи такої схеми важливо контролювати кількість і розміщення перфорованих панелей. Вони повинні бути встановлені саме в межах холодних коридорів, навпроти зон забору повітря серверними стійками. Якщо перфоровані панелі будуть розміщені неправильно, частина охолодженого повітря може потрапляти в теплу зону або не доходити до найбільш навантажених стійок.

Також важливо забезпечити герметичність ізоляції холодного коридору. Прозора стеля та розсувні двері повинні зменшувати витік холодного повітря в загальний об’єм приміщення. При цьому конструкція має залишати можливість доступу персоналу до серверних стійок для обслуговування, заміни обладнання, підключення кабелів та контролю стану системи.

Для підвищення надійності проєктом передбачається встановлення температурних датчиків у холодних і гарячих коридорах. Особливо важливим є контроль температури в холодному коридорі на рівні входу повітря до серверного обладнання. Саме цей параметр показує, чи отримують сервери достатню кількість охолодженого повітря. Датчики в гарячих коридорах дозволяють оцінити ефективність відведення тепла та вчасно виявити проблеми з циркуляцією.

Запропонована схема циркуляції повітря є доцільною для серверного приміщення з 20 стійками, оскільки дозволяє поєднати ефективне повітряне охолодження, ізоляцію холодних потоків і централізоване відведення гарячого повітря. Вона також забезпечує можливість подальшого масштабування системи,

оскільки при збільшенні кількості обладнання можна регулювати кількість перфорованих панелей, продуктивність кондиціонерів і параметри роботи системи моніторингу.

Отже, у проєкті передбачено повітряну систему охолодження з подачею холодного повітря через перфоровані панелі фальшпідлоги в ізольовані холодні коридори та відведенням гарячого повітря зверху гарячих коридорів. Така схема дозволяє розділити холодні й гарячі потоки, зменшити теплові втрати, підвищити ефективність роботи кондиціонерів і забезпечити стабільний температурний режим для серверного обладнання.

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Аналіз ефективності охолодження серверного приміщення

Ефективність розробленої системи охолодження серверного приміщення визначається її здатністю підтримувати стабільний температурний режим, забезпечувати достатнє відведення тепла від серверного обладнання та запобігати утворенню локальних зон перегріву. У межах проєкту для серверного приміщення з 20 серверними стійками було обрано повітряну систему охолодження з розділенням повітряних потоків на холодні та гарячі коридори.

За результатами розрахунку сумарне теплове навантаження серверного обладнання становить 80 кВт, а необхідна холодопродуктивність системи з урахуванням 20% запасу - 96 кВт. Для забезпечення цього показника обрано чотири прецизійні кондиціонери холодопродуктивністю 35 кВт кожний. У штатному режимі працюють три кондиціонери, які забезпечують сумарну робочу холодопродуктивність:

$$Q_{\text{роб}} = 3 \times 35 = 105 \text{ кВт}$$

Отримане значення перевищує розрахункову потребу в охолодженні:

$$105 \text{ кВт} > 96 \text{ кВт}$$

Це свідчить про те, що обрана система має достатній запас холодопродуктивності для підтримання стабільного температурного режиму навіть при нерівномірному розподілі навантаження між серверними стійками або короткочасному збільшенні тепловиділення обладнання.

Ефективність системи також підвищується завдяки використанню температурних датчиків. Вони розміщуються в холодних коридорах на рівні входу повітря до серверних стійок, а також у гарячих коридорах у зоні виходу нагрітого повітря. Це дозволяє контролювати не лише загальну температуру в серверному приміщенні, а й фактичні умови роботи обладнання. У разі перевищення допустимих значень система може збільшити продуктивність охолодження або повідомити відповідальний персонал про аварійний стан.

Основні показники ефективності розробленої системи охолодження наведено нижче (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 — Основні показники ефективності системи охолодження серверного приміщення

Показник	Значення / характеристика
Сумарне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Необхідна холодопродуктивність з урахуванням запасу	96 кВт
Робоча холодопродуктивність системи	105 кВт
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Кількість резервних кондиціонерів	1 шт.
Схема резервування	N+1 / 3+1
Спосіб подачі холодного повітря	Через перфоровані панелі фальшпідлоги
Спосіб відведення гарячого повітря	Забір зверху гарячих коридорів
Ізоляція холодних коридорів	Прозора стеля та розсувні двері
Контроль параметрів	Датчики температури в холодних і гарячих зонах

Таким чином, розроблена система охолодження є ефективною для заданої конфігурації серверного приміщення. Вона забезпечує достатню

холодопродуктивність, має резерв потужності, розділяє холодні та гарячі повітряні потоки, а також передбачає контроль температури в ключових зонах. Завдяки цьому знижується ризик перегріву серверного обладнання, підвищується стабільність його роботи та забезпечуються умови для подальшого масштабування серверної інфраструктури.

4.2. Оцінка енергоспоживання системи

Оцінка енергоспоживання системи охолодження є важливим етапом аналізу ефективності серверного приміщення. Оскільки серверне та кліматичне обладнання працює переважно у цілодобовому режимі, навіть незначна різниця у споживанні електроенергії може суттєво впливати на експлуатаційні витрати. Тому під час проєктування важливо не лише забезпечити достатню холодопродуктивність, а й організувати роботу системи таким чином, щоб уникати зайвого енергоспоживання.

У проєкті передбачається використання чотирьох прецизійних кондиціонерів холодопродуктивністю 35 кВт кожний. У штатному режимі працюють три кондиціонери, а четвертий перебуває в резерві. Робоча холодопродуктивність системи становить 105 кВт, що перевищує необхідне значення 96 кВт. Завдяки цьому обладнання не працює на межі своїх можливостей, що позитивно впливає на стабільність температурного режиму та ресурс кондиціонерів.

Для орієнтовної оцінки електроспоживання системи охолодження можна прийняти, що один прецизійний кондиціонер холодопродуктивністю 35 кВт споживає приблизно 10–12 кВт електричної потужності залежно від конструкції, режиму роботи, температури зовнішнього середовища та енергоефективності обладнання. У межах розрахунку приймається середнє значення електроспоживання одного кондиціонера 11 кВт.

Тоді сумарна електрична потужність трьох робочих кондиціонерів становитиме:

$$P_{\text{охол}} = N_{\text{роб}} \times P_{\text{к}} \quad (4.1)$$

де — електрична потужність системи охолодження в робочому режимі, кВт, — кількість робочих кондиціонерів, — електрична потужність одного кондиціонера, кВт.

Підставимо значення:

$$P_{\text{охол}} = 3 \times 11 = 33 \text{ кВт}$$

Отже, орієнтовне електроспоживання системи охолодження у штатному режимі становить 33 кВт. Це значення є приблизним, оскільки фактичне споживання залежить від режиму роботи компресорів, температури повітря, стану фільтрів, налаштувань автоматики та реального теплового навантаження серверного обладнання.

Для оцінки добового споживання електроенергії використовується формула:

$$E_{\text{доб}} = P_{\text{охол}} \times t \quad (4.2)$$

де — добове споживання електроенергії системою охолодження, кВт·год, — електрична потужність системи охолодження, кВт, — час роботи протягом доби, год.

За умови цілодобової роботи:

$$E_{\text{доб}} = 33 \times 24 = 792 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Орієнтовне місячне споживання електроенергії можна визначити за формулою:

$$E_{\text{міс}} = E_{\text{доб}} \times N_{\text{дн}} \quad (4.3)$$

де — місячне споживання електроенергії системою охолодження, кВт·год, — добове споживання електроенергії системою охолодження, кВт·год, —кількість днів у місяці

Підставимо значення:

$$E_{\text{міс}} = 792 \times 30 = 23760 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, при безперервній роботі трьох кондиціонерів орієнтовне місячне споживання електроенергії системою охолодження становить 23760 кВт·год. На практиці це значення може бути меншим, якщо кондиціонери працюють з інверторним регулюванням продуктивності та не постійно використовують повну електричну потужність.

Основні розрахункові показники енергоспоживання наведено нижче (табл 4.2).

Таблиця 4.2 — Орієнтовне енергоспоживання системи охолодження

Показник	Значення
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Орієнтовне споживання одного кондиціонера	11 кВт
Сумарне споживання системи охолодження	33 кВт
Тривалість роботи протягом доби	24 год
Добове споживання електроенергії	792 кВт·год
Розрахунковий період	30 діб
Орієнтовне місячне споживання	23760 кВт·год

На енергоспоживання системи впливає не лише потужність кондиціонерів, а й правильність організації повітряних потоків. У запропонованому проєкті холодне

повітря подається через перфоровані панелі фальшпідлоги безпосередньо в ізольовані холодні коридори. Це дозволяє не охолоджувати весь об’єм приміщення рівномірно, а спрямовувати холод саме до передніх частин серверних стійок. У результаті кондиціонери працюють ефективніше, а втрати охолодженого повітря зменшуються.

Додатково на зниження енергоспоживання впливає ізоляція холодних коридорів прозорою стелею та розсувними дверима. Завдяки цьому холодне повітря не змішується з гарячим у загальному об’ємі серверної, а температура в зоні забору повітря серверами залишається стабільнішою. Це дозволяє уникати надмірного охолодження приміщення та зменшує навантаження на систему кондиціювання.

Отже, енергоспоживання системи охолодження є значною складовою експлуатаційних витрат серверного приміщення. За прийнятими розрахунковими умовами три робочі прецизійні кондиціонери споживають орієнтовно 33 кВт електричної потужності, що відповідає приблизно 792 кВт·год на добу або 23760 кВт·год на місяць. При цьому застосування ізольованих холодних коридорів, подачі повітря через фальшпідлогу та автоматичного керування дозволяє підвищити ефективність використання електроенергії та зменшити зайві втрати холоду.

4.3. Забезпечення надійності та резервування охолодження

Надійність системи охолодження є одним із ключових факторів стабільної роботи серверного приміщення. Серверне обладнання працює у безперервному режимі та постійно виділяє тепло, тому навіть короткочасна відмова системи охолодження може призвести до швидкого підвищення температури, перегріву обладнання, аварійного вимкнення серверів або порушення роботи інформаційних сервісів.

У розробленій системі охолодження передбачено використання чотирьох прецизійних кондиціонерів холодопродуктивністю 35 кВт кожний. Основна схема роботи побудована за принципом 3+1, тобто в штатному режимі працюють три

кондиціонери, а четвертий перебуває в резерві. Такий підхід відповідає схемі резервування N+1, де N - кількість пристроїв, необхідних для забезпечення нормальної роботи системи, а +1 — додатковий резервний пристрій.

У штатному режимі три робочі кондиціонери забезпечують сумарну холодопродуктивність 105 кВт, що перевищує розрахункову потребу системи охолодження 96 кВт. Це означає, що система має достатній запас для підтримання стабільного температурного режиму. У разі відмови одного з робочих кондиціонерів резервний пристрій може бути автоматично або вручну введений у роботу, що дозволяє уникнути різкого зростання температури в серверному приміщенні.

Резервування також важливе під час планового технічного обслуговування. Кондиціонери потребують періодичної перевірки, очищення фільтрів, контролю роботи вентиляторів, компресорів, автоматики та дренажної системи. Завдяки наявності резервного кондиціонера один із пристроїв можна вивести з роботи для обслуговування без повної зупинки системи охолодження серверної.

Крім резервування кліматичного обладнання, важливу роль відіграє система моніторингу. У серверному приміщенні передбачається встановлення датчиків температури в холодних і гарячих коридорах. Датчики в холодних коридорах контролюють температуру повітря, яке надходить до серверних стійок, а датчики в гарячих коридорах дозволяють оцінити ефективність відведення нагрітого повітря. Такий контроль дає можливість швидко виявити порушення циркуляції повітря або недостатню роботу системи кондиціювання.

У разі перевищення допустимої температури система моніторингу може повідомити відповідальний персонал або передати сигнал на систему керування кондиціонерами. Це дозволяє вчасно збільшити продуктивність охолодження, увімкнути резервний кондиціонер або виконати перевірку обладнання. Завдяки цьому знижується ризик аварійного перегріву та підвищується загальна надійність серверної інфраструктури.

Додатковим чинником надійності є правильна організація повітряних потоків. Ізольовані холодні коридори з прозорою стелею та розсувними дверима

зменшують змішування холодного й гарячого повітря. Подача холодного повітря через перфоровані панелі фальшпідлоги забезпечує його надходження безпосередньо до передніх частин серверних стійок. Відведення гарячого повітря зверху гарячих коридорів дозволяє ефективно видаляти нагріте повітря з приміщення.

Основні заходи забезпечення надійності системи охолодження наведено нижче (табл 4.3)

Таблиця 4.3 — Заходи забезпечення надійності системи охолодження

Захід	Призначення
Резервування за схемою N+1	Забезпечення роботи системи при відмові одного кондиціонера
Використання прецизійних кондиціонерів	Підтримання стабільного мікроклімату в цілодобовому режимі
Температурні датчики в холодних коридорах	Контроль температури повітря на вході до серверного обладнання
Температурні датчики в гарячих коридорах	Контроль ефективності відведення нагрітого повітря
Ізоляція холодних коридорів	Зменшення змішування холодного й гарячого повітря
Подача повітря через фальшпідлогу	Рівномірне надходження холодного повітря до серверних стійок
Верхній забір гарячого повітря	Ефективне відведення нагрітого повітря із гарячих зон
Регулярне технічне обслуговування	Запобігання несправностям і зниженню ефективності обладнання

Для підтримання надійної роботи системи охолодження необхідно також дотримуватися графіка технічного обслуговування. До основних робіт належать очищення або заміна фільтрів, перевірка стану вентиляторів, контроль дренажу, перевірка температурних датчиків, огляд перфорованих панелей фальшпідлоги та перевірка роботи автоматики. Такі заходи дозволяють зменшити ризик аварійної відмови та підтримувати систему в стабільному робочому стані.

Отже, надійність розробленої системи охолодження забезпечується поєднанням кількох рішень: резервуванням кондиціонерів за схемою **N+1**, використанням прецизійного обладнання, моніторингом температури, ізоляцією холодних коридорів і правильною організацією циркуляції повітря. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільний температурний режим навіть у разі відмови одного з елементів системи або під час планового обслуговування.

4.4. Охорона праці та безпека експлуатації серверного приміщення

Охорона праці та безпека експлуатації серверного приміщення є важливою складовою розробки системи охолодження, оскільки в такому приміщенні розміщується значна кількість електронного, електротехнічного та кліматичного обладнання. Сервери, комутатори, джерела безперебійного живлення, кондиціонери, кабельні лінії та системи моніторингу працюють у безперервному режимі, тому потребують дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки та правил технічного обслуговування.

Одним із головних напрямів безпеки є електробезпека. Серверне обладнання споживає значну кількість електроенергії, тому всі електричні лінії, розетки, автоматичні вимикачі, заземлення та джерела безперебійного живлення повинні відповідати розрахунковому навантаженню. Не допускається перевантаження електричних мереж, використання пошкоджених кабелів або підключення обладнання без належного захисту. Усі серверні стійки та металеві елементи інженерної інфраструктури мають бути заземлені.

Важливе значення має правильна організація кабельної інфраструктури. Кабелі живлення та мережеві кабелі повинні бути акуратно прокладені в кабельних каналах або організаторах, не перекривати проходи та не заважати циркуляції повітря. Особливо важливо уникати скупчення кабелів у задній частині серверних стійок, оскільки це може погіршити відведення гарячого повітря та створити додатковий ризик перегріву обладнання.

Пожежна безпека серверного приміщення також є обов'язковою умовою його експлуатації. У приміщенні необхідно передбачити засоби раннього виявлення пожежі, зокрема датчики диму або температури. Матеріали, які використовуються для кабельних трас, ізоляції холодних коридорів, фальшпідлоги та конструктивних елементів, повинні відповідати вимогам пожежної безпеки. Для серверних приміщень бажано використовувати такі засоби пожежогасіння, які не пошкоджують електронне обладнання.

Окрему увагу потрібно приділити безпечній експлуатації системи охолодження. Прецизійні кондиціонери, фальшпідлога, перфоровані панелі, вентиляційні канали та датчики температури повинні регулярно перевірятися. Під час технічного обслуговування необхідно дотримуватися інструкцій виробника обладнання, відключати відповідні вузли від живлення за потреби та не виконувати роботи без належної підготовки. Обслуговування кліматичного обладнання має виконувати кваліфікований персонал.

У проєкті передбачається використання фальшпідлоги з перфорованими панелями для подачі холодного повітря. Під час експлуатації необхідно контролювати стан панелей, їх правильне встановлення та відсутність механічних пошкоджень. Панелі повинні витримувати навантаження від персоналу та обладнання, а їх демонтаж або переміщення має виконуватися обережно, щоб не створювати небезпеки падіння або порушення повітряного балансу.

Ізольовані холодні коридори з прозорою пластиковою стелею та розсувними дверима також потребують дотримання правил безпечної експлуатації. Двері повинні легко відкриватися, не блокувати евакуаційні проходи та забезпечувати доступ персоналу до серверних стійок. Конструкція ізоляції має бути достатньо

міцною, щоб не заважати обслуговуванню обладнання та не створювати додаткових перешкод під час аварійної ситуації.

Для безпеки персоналу важливо обмежити доступ до серверного приміщення. Вхід повинні мати лише відповідальні працівники або спеціалісти, які виконують обслуговування обладнання. Це зменшує ризик випадкового пошкодження серверів, кабелів, систем охолодження або електроживлення. Також доцільно вести журнал відвідувань і технічних робіт, у якому фіксуються всі дії, пов’язані з обслуговуванням серверної інфраструктури.

Основні заходи з охорони праці та безпеки експлуатації серверного приміщення наведено нижче (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 — Основні заходи з охорони праці та безпеки експлуатації серверного приміщення

Напрям безпеки	Заходи
Електробезпека	Заземлення обладнання, використання автоматичних вимикачів, недопущення перевантаження мережі
Кабельна інфраструктура	Акуратне прокладання кабелів, використання організаторів, недопущення перекриття повітряних потоків
Пожежна безпека	Встановлення датчиків диму або температури, використання безпечних матеріалів і відповідних засобів пожежогасіння
Безпека системи охолодження	Регулярне обслуговування кондиціонерів, перевірка фільтрів, вентиляторів і датчиків
Фальшпідлога	Контроль стану панелей, правильне встановлення, недопущення механічних пошкоджень
Ізоляція холодних коридорів	Справність розсувних дверей, доступність проходів, відсутність перешкод для обслуговування

Продовження таблиці 4.4

Напрям безпеки	Заходи
Контроль доступу	Обмеження доступу сторонніх осіб, ведення журналу відвідувань і технічних робіт
Моніторинг	Контроль температури, вологості та аварійних станів у режимі реального часу

Таким чином, безпечна експлуатація серверного приміщення залежить не лише від правильно підібраного обладнання, а й від дотримання організаційних і технічних заходів безпеки. До них належать електробезпека, пожежний захист, контроль доступу, правильне прокладання кабелів, регулярне технічне обслуговування системи охолодження та моніторинг параметрів мікроклімату. Виконання цих вимог дозволяє знизити ризик аварійних ситуацій, забезпечити безпечні умови роботи персоналу та підтримувати стабільну роботу серверної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто питання розробки системи охолодження серверного приміщення. Проаналізовано особливості серверних приміщень, вимоги до мікроклімату, джерела тепловиділення серверного обладнання та сучасні методи організації охолодження. Встановлено, що ефективна система охолодження є однією з головних умов стабільної та безперервної роботи серверної інфраструктури.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи охолодження серверних приміщень. Визначено, що серверне обладнання працює переважно цілодобово та постійно виділяє тепло. Основними джерелами тепловиділення є процесори, оперативна пам’ять, накопичувачі, блоки живлення, мережеве обладнання та джерела безперебійного живлення. Також розглянуто вимоги до температурного режиму, вологості, циркуляції повітря, моніторингу та безпеки експлуатації.

У другому розділі виконано аналіз існуючих систем охолодження серверних. Розглянуто повітряні, прецизійні, рідинні та імерсійні системи охолодження. Встановлено, що для серверних приміщень середнього масштабу найбільш доцільним є використання повітряної системи з організацією холодних і гарячих коридорів, оскільки вона є ефективною, економічно обґрунтованою та простішою в експлуатації.

У третьому розділі розроблено систему охолодження серверного приміщення. Для проєкту прийнято серверне приміщення з 20 серверними стійками, розміщеними у 4 ряди по 5 стійок. Така схема дозволяє організувати 2 холодних і 3 гарячих коридори. Для підвищення ефективності передбачено подачу холодного повітря через перфоровані панелі фальшпідлоги безпосередньо в ізольовані холодні коридори. Холодні коридори відокремлюються прозорою пластиковою стелею та розсувними дверима, а гаряче повітря відводиться зверху гарячих коридорів.

У результаті розрахунку встановлено, що сумарне теплове навантаження серверного обладнання становить 80 кВт. З урахуванням 20% запасу необхідна холодопродуктивність системи охолодження становить 96 кВт. Для забезпечення цього показника обрано чотири прецизійні кондиціонери холодопродуктивністю 35 кВт кожний. У штатному режимі працюють три кондиціонери із сумарною холодопродуктивністю 105 кВт, а четвертий використовується як резервний за схемою N+1.

У четвертому розділі виконано оцінку ефективності, енергоспоживання, надійності та безпеки розробленої системи. Встановлено, що робоча холодопродуктивність перевищує розрахункову потребу, що забезпечує необхідний запас потужності. Орієнтовне електроспоживання трьох робочих кондиціонерів становить 33 кВт, або приблизно 792 кВт·год на добу та 23760 кВт·год на місяць.

Надійність системи забезпечується резервуванням за схемою N+1, температурними датчиками в холодних і гарячих коридорах, моніторингом параметрів мікроклімату та правильною організацією повітряних потоків. У разі відмови одного кондиціонера резервний пристрій може бути введений у роботу, що дозволяє підтримувати стабільний температурний режим і зменшити ризик перегріву серверного обладнання.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації серверного приміщення. Визначено основні заходи електробезпеки, пожежної безпеки, контролю доступу, безпечного обслуговування системи охолодження, фальшпідлоги, кабельної інфраструктури та ізольованих холодних коридорів.

Отже, у дипломній роботі досягнуто поставленої мети — розроблено систему охолодження серверного приміщення, яка забезпечує ефективне відведення тепла, стабільний температурний режим, резервування, контроль параметрів мікроклімату та безпечну експлуатацію серверної інфраструктури. Запропоноване рішення може бути використане для серверних приміщень середнього масштабу та має можливість подальшого масштабування.

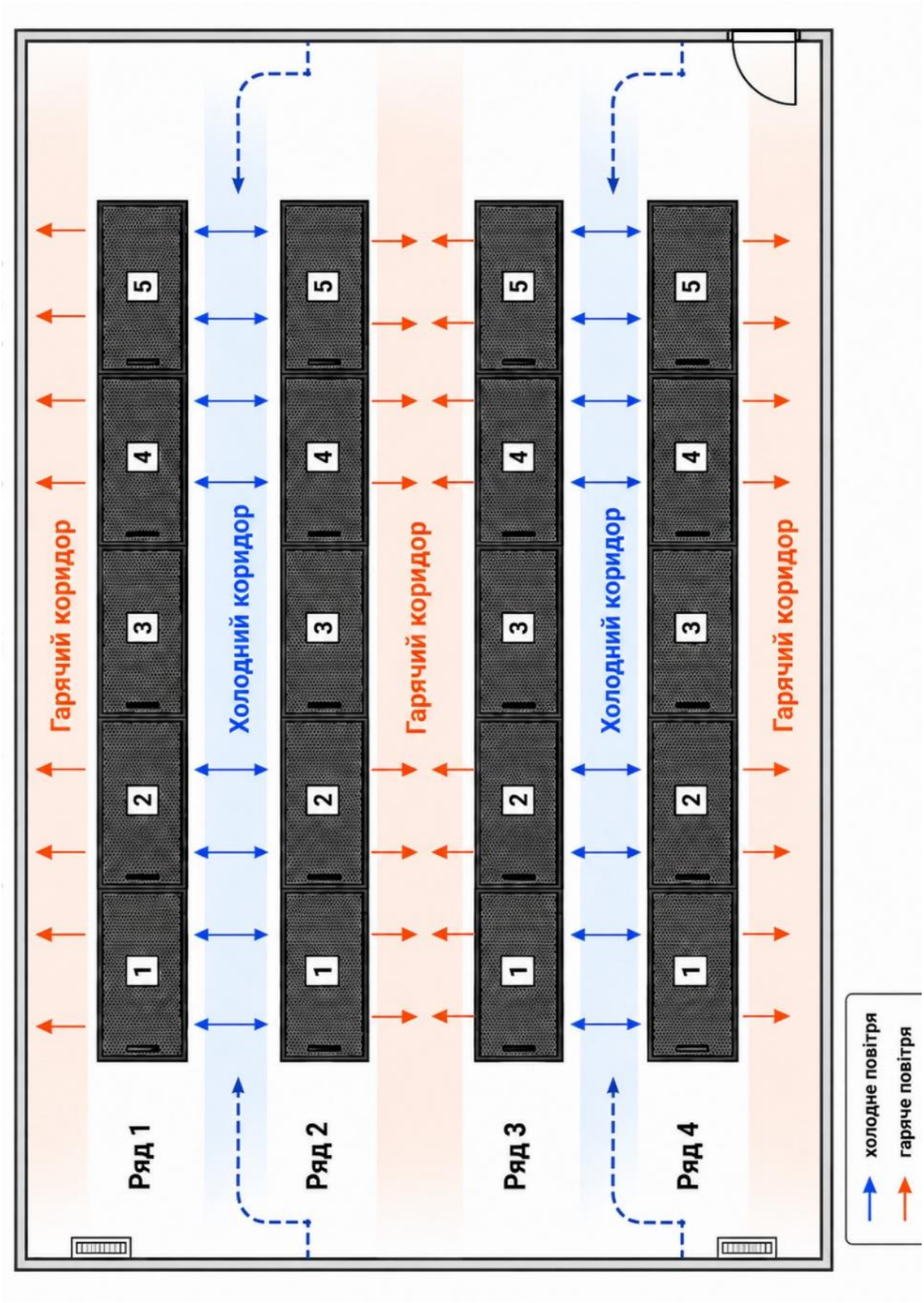
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ASHRAE TC 9.9. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. Reference Card. ASHRAE, 2021/2024. URL: hxxps://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/supplemental%20files/therm-gdlns-5th-r-e-refcard.pdf. Дата звернення: 25.02.2026.
2. ISO/IEC 22237-4:2021. Information technology — Data centre facilities and infrastructures — Part 4: Environmental control. International Organization for Standardization. URL: hxxps://www.iso.org/standard/78552.html. Дата звернення: 25.02.2026.
3. ISO/IEC TS 22237-4:2018. Information technology — Data centre facilities and infrastructures — Part 4: Environmental control. International Organization for Standardization. URL: hxxps://www.iso.org/standard/73011.html. Дата звернення: 27.02.2026.
4. ANSI/TIA-942. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Telecommunications Industry Association. URL: hxxps://tiaonline.org/products-and-services/tia942certification/ansi-tia-942-standard/. Дата звернення: 01.03.2026.
5. Uptime Institute. Tier Standard: Topology. Uptime Institute. URL: hxxps://uptimeinstitute.com/resources/asset/tier-standard-topology. Дата звернення: 02.03.2026.
6. Uptime Institute. Publications and Tier Standard resources. URL: hxxps://uptimeinstitute.com/publications. Дата звернення: 03.03.2026.
7. Schneider Electric. Data Center Cooling Solutions. URL: hxxps://www.se.com/us/en/work/solutions/local/data-centers-and-networks/data-center-cooling/. Дата звернення: 03.03.2026.
8. Schneider Electric. Uniflair Data Center Cooling Solution. URL: hxxps://www.se.com/ww/en/work/products/product-launch/uniflair/. Дата звернення: 04.03.2026.

9. Schneider Electric Україна. Uniflair — обладнання для охолодження серверних приміщень і центрів обробки даних. URL: hxxps://www.se.com/ua/uk/work/products/master-ranges/uniflair/. Дата звернення: 05.03.2026.
10. Vertiv. Data Center Air Conditioning Systems — Room Cooling. URL: hxxps://www.vertiv.com/en-us/products-catalog/thermal-management/room-cooling/. Дата звернення: 05.03.2026.
11. Vertiv. Thermal Management and Room Cooling Solutions. URL: hxxps://www.vertiv.com/en-emea/products-catalog/thermal-management/room-cooling/. Дата звернення: 11.03.2026.
12. STULZ. Energy-efficient cooling solutions for mission-critical applications and data centers. URL: hxxps://www.stulz.com/. Дата звернення: 11.03.2026.
13. STULZ. Products: Cooling technology for data centers and critical applications. URL: hxxps://www.stulz.com/products/. Дата звернення: 12.03.2026.
14. Rittal. Aisle Containment for IT Infrastructure. URL: hxxps://www.rittal.com/us-en_US/Solutions/IT-Infrastructure-Product-Solutions/Aisle-Containment-for-IT-Infrastructure. Дата звернення: 13.03.2026.
15. Rittal. Aisle containment — separation of hot and cold air in data centres. URL: hxxps://www.rittal.com/com-en/products/PG20231215ITI101/PG20240426ITI301/PRO12156. Дата звернення: 14.03.2026.
16. Rittal. Technical System Catalogue: Aisle Containment. URL: hxxps://www.rittal.com/imf/none/5_4313/Rittal_Technical_System_Catalogue_Aisle_containment_5_4313/. Дата звернення: 14.03.2026.
17. STULZ. A guide to Precision Air Conditioning & Cooling Solutions. URL: hxxps://farex.ua/files/materials/stulz_6.pdf. Дата звернення: 15.03.2026.

Додаток А

Схема організації холодних та гарячих коридорів у серверному приміщенні



Додаток Б

Розрахунок теплового навантаження серверного приміщення

Показник	Значення
Кількість серверних стійок	20 шт.
Розміщення серверних стійок	4 ряди по 5 стійок
Кількість холодних коридорів	2 шт.
Кількість гарячих коридорів	3 шт.
Середнє теплове навантаження однієї стійки	4 кВт
Теплове навантаження одного ряду	20 кВт
Теплове навантаження на один холодний коридор	40 кВт
Загальне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Запас холодопродуктивності	20%
Коефіцієнт запасу	1,2
Необхідна холодопродуктивність системи	96 кВт

Додаток В

Основні параметри обраної системи охолодження

Показник	Значення
Тип системи охолодження	Прецизійне повітряне охолодження
Необхідна холодопродуктивність	96 кВт
Кількість кондиціонерів	4 шт.
Холодопродуктивність одного кондиціонера	35 кВт
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Кількість резервних кондиціонерів	1 шт.
Робоча холодопродуктивність системи	105 кВт
Загальна встановлена холодопродуктивність	140 кВт
Схема резервування	N+1 / 3+1

Додаток Г

Основні показники ефективності системи охолодження серверного приміщення

Показник	Значення / характеристика
Сумарне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Необхідна холодопродуктивність з урахуванням запасу	96 кВт
Робоча холодопродуктивність системи	105 кВт
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Кількість резервних кондиціонерів	1 шт.
Схема резервування	N+1 / 3+1
Спосіб подачі холодного повітря	Через перфоровані панелі фальшпідлоги
Спосіб відведення гарячого повітря	Забір зверху гарячих коридорів
Ізоляція холодних коридорів	Прозора стеля та розсувні двері
Контроль параметрів	Датчики температури в холодних і гарячих зонах

Додаток Д

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ
(Презентація)

ДУІКТ

Державний університет
інфіормаційно-комунікаційних технологій

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютернох інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА на тему: "Розробка системи охолодження серверного приміщення"

Виконав студент групи КІД-42
Радчук Олександр Акдрійович
Керівник кваліфікаційної роботи
Волохін Віталій Васильович,
доцент кафедри, к.т.н., доцент

Київ - 2026

1

1

Актуальність розробки системи охолодження



Серверне обладнання працює у безперервному режимі та постійно виділяє тепло. У разі недостатнього охолодження температура в серверному приміщенні підвищується, що може призвести до перегріву, зниження продуктивності, аварійного вимкнення обладнання та втрати даних.
Ефективна система охолодження є необхідною умовою стабільної роботи серверної інфраструктури.

Ключові аспекти охолодження серверів

- сервери працюють 24/7;
- електроенергія переважно перетворюється на тепло;
- перегрів знижує надійність обладнання;
- правильне охолодження запобігає аварійним ситуаціям.

2

2

Мета та напрям дослідження

Мета роботи – розробити систему охолодження серверного приміщення, яка забезпечує ефективне відведення тепла, стабільний температурний режим, резервування та безпечну експлуатацію серверного обладнання.

Об'єкт дослідження – серверне приміщення.

Предмет дослідження – система охолодження серверного приміщення, організація повітряних потоків, вибір кліматичного обладнання та забезпечення надійності охолодження.





3

3

Основні джерела тепла в серверному приміщенні

Основне теплове навантаження в серверному приміщенні створює активне обладнання, яке споживає електричну енергію. До основних джерел тепла належать сервери, мережеве обладнання та джерела безперебійного живлення.

- Під час розрахунку системи охолодження теплове навантаження визначається на основі сумарної потужності встановленого обладнання.



4

4

Порівняння систем охолодження серверних приміщень

У роботі було розглянуто кілька підходів до охолодження серверного обладнання: повітряне, прецизійне, рідинне та імерсійне охолодження. Для серверного приміщення середнього масштабу найбільш доцільним є використання повітряної системи з прецизійними кондиціонерами та розділенням повітряних потоків на холодні й гарячі коридори.

- **Обране рішення:** прецизійне повітряне охолодження з холодними та гарячими коридорами.

Тип системи охолодження	Ефективність тепловідведення	Складність впровадження	Вартість	Доцільність використання
Звичайне повітряне охолодження	Середня	Низька	Низька або середня	Невеликі серверні приміщення
Прецизійне кондиціювання	Висока	Середня	Середня або висока	Серверні з підвищеними вимогами до мікроклімату
Повітряне охолодження з холодними та гарячими коридорами	Вища за звичайне повітряне	Середня	Середня	Середні та великі серверні
Рідинне охолодження компонентів	Висока	Висока	Висока	Потужні сервери та обчислювальні системи
Імерсійне охолодження	Дуже висока	Висока	Висока	Високощільні дата-центри та HPC-системи

Таблиця 2.3 — Порівняння ефективності сучасних систем охолодження серверних приміщень

5

5

Прийнята конфігурація серверної

Для проєктування прийнято серверне приміщення середнього масштабу. У ньому передбачено розміщення 20 серверних стійок, встановлених у 4 ряди по 5 стійок. Така схема дозволяє організувати 2 холодних і 3 гарячих коридори.

Передні частини серверних стійок спрямовані до холодних коридорів, а задні частини – до гарячих зон, через які відводиться нагріте повітря.

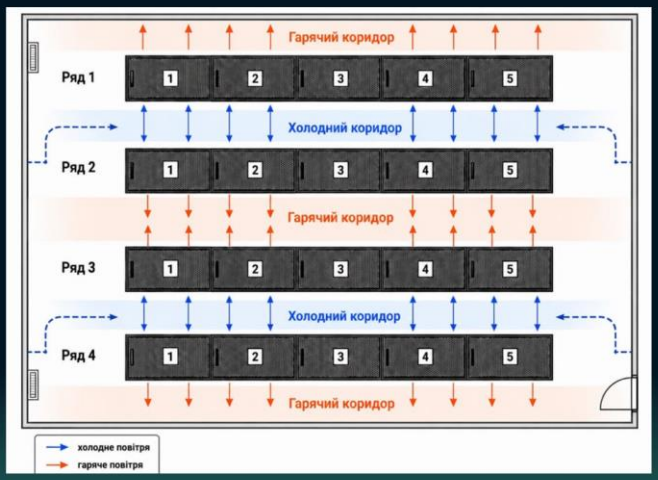


Рисунок 3.1 — Схема організації холодних та гарячих коридорів у серверному приміщенні

6

6

Розрахунок теплового навантаження

Середнє теплове навантаження однієї серверної стійки прийнято на рівні 4 кВт. Загальна кількість стійок становить 20, тому сумарне теплове навантаження серверного обладнання дорівнює 80 кВт.
З урахуванням запасу 20% необхідна холодопродуктивність системи охолодження становить 96 кВт.

Загальне тепловиділення = Кількість стійок × Тепловиділення стійки

Загальне тепловиділення = 20 × 4 = 80 кВт

Необхідна холодопродуктивність = Загальне тепловиділення × 1,2

Необхідна холодопродуктивність = 80 × 1,2 = 96 кВт

▶▶ Необхідна холодопродуктивність системи – не менше 96 кВт.

7

7

Вибір обладнання для охолодження

Для системи охолодження обрано прецизійні кондиціонери шафового типу холодопродуктивністю 35 кВт кожний. У проєкті використовується схема резервування 3+1: три кондиціонери працюють у штатному режимі, а четвертий використовується як резервний.
Така схема дозволяє забезпечити необхідну холодопродуктивність і підтримувати роботу системи навіть у разі відмови або обслуговування одного кондиціонера.

Показник	Значення
Кількість серверних стійок	20 шт.
Схема розміщення	4 ряди по 5 стійок
Кількість холодних коридорів	2 шт.
Кількість гарячих коридорів	3 шт.
Середнє теплове навантаження однієї стійки	4 кВт
Загальне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Прийнятий запас потужності	20%
Тип системи охолодження	Повітряна система з розділенням потоків
Схема резервування охолодження	N+1 / 3+1

Таблиця 3.1 — Вихідні дані для проєктування системи охолодження серверного приміщення

Холодопродуктивність системи = 3 × 35 = 105 кВт
105 кВт > 96 кВт

▶▶ Обрана система має достатній запас холодопродуктивності

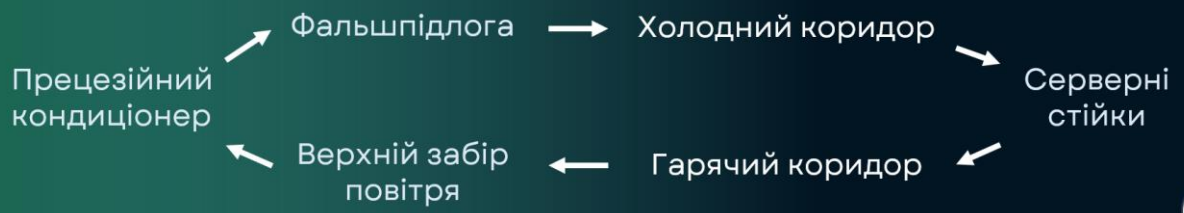
8

8

Організація циркуляції повітря

У проєкті передбачено подачу холодного повітря через перфоровані панелі фальшпідлоги безпосередньо в ізольовані холодні коридори. Холодні коридори відокремлюються прозорою пластиковою стелею та розсувними дверима, що зменшує змішування холодного й гарячого повітря.

Після проходження через сервери повітря нагрівається та виходить у гарячі коридори. Забір гарячого повітря здійснюється зверху гарячих зон, після чого воно повертається до системи кондиціювання.



9

9

Результати розробки системи охолодження

Розроблена система охолодження забезпечує достатню холодопродуктивність, розділення холодних і гарячих повітряних потоків, резервування обладнання та контроль температурного режиму в серверному приміщенні.
Застосування ізольованих холодних коридорів, фальшпідлоги та верхнього забору гарячого повітря дозволяє ефективно спрямовувати холодне повітря до серверів і зменшити втрати охолодження.

- Запропонована система забезпечує стабільний температурний режим, знижує ризик перегріву обладнання та може бути масштабована у разі збільшення серверної інфраструктури.

Показник	Значення / характеристика
Сумарне теплове навантаження обладнання	80 кВт
Необхідна холодопродуктивність з урахуванням запасу	96 кВт
Робоча холодопродуктивність системи	105 кВт
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Кількість резервних кондиціонерів	1 шт.
Схема резервування	N+1 / 3+1
Спосіб подачі холодного повітря	Через перфоровані панелі фальшпідлоги
Спосіб відведення гарячого повітря	Забір зверху гарячих коридорів
Ізоляція холодних коридорів	Прозора стеля та розсувні двері
Контроль параметрів	Датчики температури в холодних і гарячих зонах

Таблиця 4.1 — Основні показники ефективності системи охолодження серверного приміщення

10

10

Енергоефективність системи охолодження

Система охолодження працює у цілодобовому режимі, тому її енергоспоживання є важливою частиною експлуатаційних витрат серверного приміщення. Для зменшення втрат холоду в проєкті передбачено подачу охолодженого повітря безпосередньо в ізольовані холодні коридори

Показник	Значення
Кількість робочих кондиціонерів	3 шт.
Орієнтовне споживання одного кондиціонера	11 кВт
Сумарне споживання системи охолодження	33 кВт
Тривалість роботи протягом доби	24 год
Добове споживання електроенергії	792 кВт·год
Розрахунковий період	30 діб
Орієнтовне місячне споживання	23760 кВт·год

Таблиця 4.2 — Орієнтовне енергоспоживання системи охолодження

Загальне споживання системи = 3 × 11 = 33 кВт

Добове споживання = 33 × 24 = 792 кВт·год

Місячне споживання = 792 × 30 = 23760 кВт·год

11

11

Висновки

У дипломній роботі розроблено систему охолодження серверного приміщення з використанням повітряного охолодження, прецизійних кондиціонерів, фальшпідлоги та ізольованих холодних коридорів.
Запропонована схема дозволяє ефективно подавати холодне повітря до серверних стійок, відводити нагріте повітря з гарячих коридорів і підтримувати стабільний температурний режим.

Розроблена система забезпечує ефективне відведення тепла, підвищує надійність серверної інфраструктури та може бути масштабована у разі збільшення кількості обладнання.

Основні результати

- **розглянуто сучасні системи охолодження серверних приміщень;**
- **обрано повітряну систему з холодними та гарячими коридорами;**
- **прийнято конфігурацію на 20 серверних стійок;**
- **розраховано теплове навантаження – 80 кВт;**
- **визначено необхідну холодопродуктивність – 96 кВт;**
- **обрано 4 прецизійні кондиціонери по 35 кВт;**
- **реалізовано резервування за схемою N+1 / 3+1;**
- **передбачено моніторинг температури та безпечну експлуатацію**

12

12