

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

**АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯМ В ІНДУСТРІЇ ГОСТИННОСТІ**
(тема)

Виконала:

студентка II курсу, групи АПСМ-22-1
Гуша А.А.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 126 Інформаційні системи
та технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Архітектурне проектування
інформаційних систем
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Дудка О.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

В.о. зав. кафедри

(підпис)

Зарудний О.А.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
(код і повна назва)

Освітня програма Архітектурне проектування інформаційних систем
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Гуці Анастасії Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Архітектурне проектування інтегрованих систем управління кондиціонуванням в індустрії гостинності

затверджена наказом по університету від **3 жовтня 2023 р. № 1295 Ст**

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії **10 січня 2024 р.**

3. Вихідні дані до роботи розробити архітектуру системи управління кліматом для підприємств гостинності, яка дозволить вдосконалити виконання функцій контролю кондиціонуванням, забезпечить підвищений рівень фільтрації та дезинфекції повітряних мас.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі аналіз предметної області, аналіз референсних архітектур, АТАМ-аналіз системи, документування інтегрованої ІС управління кондиціонуванням з використанням методу 4+1, проектування структури додатку, проектування бази даних, розробка підходів до масштабування додатку, розробка процесу збірки та розгортання WEB-додатку.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Дудка О.О.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Ознайомлення із завданням. Уточнення технічного завдання</i>	03.10-11.10.23	вик.
2	<i>Аналіз літератури за темою роботи</i>	12.10-26.10.23	вик.
3	<i>Підготовка теоретичного розділу</i>	27.10-23.11.23	вик.
4	<i>Розробка проєктного розділу</i>	24.11.23-26.12.24	вик.
5	<i>Оформлення презентаційного матеріалу, подання роботи на кафедрі. Підготовка до захисту у ЕК.</i>	27.12.23-10.01.24	вик.

Дата видачі завдання **4 жовтня 2023 р.**

Студент _____
(підпис)

_____ Гуца А.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

_____ доц. Дудка О.О.
(посада, прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 60 рис., 2 табл., 9 джерел, 3 додатки.

AWS, WEB-ДОДАТОК, АНАЛІЗ, АРХІТЕКТУРА, ІНТЕГРАЦІЯ, СЕРВЕР, СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ, ПІДПРИЄМСТВО ГОСТИННОСТІ, ПОВІТРЯ, ХОЛОДАГЕНТ, ХМАРНІ СЕРВІСИ.

Об'єкт розробки – міжпроцесна взаємодія інженерно-технічного устаткування інтегрованої системи управління кондиціонуванням для підприємства гостинності з використанням технологій електронного конструктору та мережевих технологій.

Предмет розробки – схематична архітектура інтегрованої системи управління кондиціонуванням підприємства індустрії гостинності.

Мета роботи – розробка архітектури ІС, яка забезпечить підвищення енергоефективності системи управління кондиціонуванням, забезпечення покращеної фільтрації та очищення повітря, створення умов для раціональних грошових витрат на обслуговування інженерно-технічної системи вентилявання, термообробки в готельних номерах, що засноване на оптимальному алгоритмі планування з використанням електронного конструктору та мережевих технологій.

У першому розділі пояснювальної записки досліджено предметну область та наведено класифікацію поширених варіацій систем кондиціонування, розглянуті референсні архітектури інтегрованих систем управління кондиціонуванням від постачальників програмно-апаратного забезпечення, обґрунтована доцільність побудови архітектури, яка заснована на принципі структури клієнт-серверних рішень.

У другому розділі пояснювальної записки наведені результати проектування системи.

У третьому розділі пояснювальної записки описана реалізація системи.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 94 p., 60 fig., 2 tabl., 9 sources, 3 app.

AWS, WEB APPLICATION, ANALYSIS, ARCHITECTURE, INTEGRATION, SERVER, AIR CONDITIONING, ENTERPRISE HOSPITALITY, AIR, REFRIGERANT, CLOUD SERVICES.

The object of development is interprocess interaction of engineering and technical equipment of an integrated air conditioning control system for a hospitality enterprise using electronic designer technologies and network technologies.

The subject of development is a schematic architecture of an integrated air conditioning management system for a hospitality industry enterprise.

The purpose of the work is to develop an IP architecture that will improve the energy efficiency of the air conditioning control system, provide improved filtration and air purification, create conditions for rational monetary costs for servicing the engineering and technical ventilation system, heat treatment in hotel rooms, which is based on an optimal planning algorithm using an electronic designer and network technologies.

In the first section of the explanatory note, the subject area is studied and the classification of common variations of air conditioning systems is given, reference architectures of integrated air conditioning control systems from software and hardware suppliers are considered, and the expediency of building an architecture based on the principle of the structure of Client-Server Solutions is justified.

The second section of the explanatory note presents the results of system design.

The third section of the explanatory note describes the implementation of the system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Аналіз предметної області.....	9
1.2 Постановка задачі архітектурного проектування інтегрованої ІС	14
1.3 Аналіз факторів впливу на проектування архітектури ІС управління кондиціонуванням	18
1.4 Дослідження класифікації архітектурних рішень інтегрованих ІС управління кондиціонуванням	22
1.5 Аналіз референсної архітектури інтегрованої ІС управління кондиціонуванням Daikin	31
1.6 Аналіз референсної архітектури інтегрованої ІС управління кондиціонуванням Panasonic	36
2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ.....	40
2.1 АТАМ-аналіз ІС управління кондиціонуванням	40
2.1.1 Визначення бізнес-драйверів	40
2.1.2 Аналіз стейкхолдерів та користувачів ІС	40
2.1.3 Аналіз атрибутів якості ІС та побудова Utility Tree	41
2.2 Документування інтегрованої ІС управління кондиціонуванням з використанням методу 4+1	42
2.2.1 Розробка логічного представлення MVP-системи.....	42
2.2.2 Опис представлення реалізації інтегрованої ІС.....	43
2.2.3 Огляд представлення процесів інтегрованої ІС.....	45
2.2.4 Опис розгортання інтегрованої ІС	46
2.2.5 Опис реалізованих функціональних процесів в архітектурі ІС.....	47
3 РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ ІС УПРАВЛІННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯМ..	50
3.1 Апаратна частина системи.....	50
3.2 Програмна частина пристрою	54

	6
3.2 Веб-серверна частина веб-додатку	59
3.3 Розробка підходів до масштабування додатку	70
ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73
ДОДАТОК А ТАБЛИЦІ ВИХІДНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ MVP-СИСТЕМИ	Error!
Bookmark not defined.	
ДОДАТОК Б КОД ПРОГРАМИ.....	Error! Bookmark not defined.
ДОДАТОК В СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	Error! Bookmark not defined.
ДОДАТОК Г ВІДОМІСТЬ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	93

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

API (Application Programming Interface) – прикладний програмний інтерфейс.

ATAM (Architecture Tradeoff Analysis Method) – метод аналізу архітектурних компромісів.

AWS (Amazon Web Services) – набір віддалених обчислювальних веб-служб, які складають платформу хмарних обчислень, пропоновану Amazon.

CAV (Constant Air Volume) – система з підтриманням постійної витрати повітря.

DCV (Demand-Controlled Ventilation) – стратегія управління в однозональних системах вентиляції шляхом автоматичної зміни витрати повітря на основі кількості присутніх людей або за результатами вимірювання концентрації CO₂.

IR (Infrared Radiation) – інфрачервоне випромінювання.

HERO (Hyperconnected, Efficient monitoring, Responsible & sustainable, Optimize comfort) – хмарна платформа віддаленого моніторингу декількох об'єктів кондиціонування для системи Daikin VRV.

RDS (Relational Database Service) – набір керованих служб, що полегшує налаштування, використання та масштабування бази даних у хмарі Amazon.

RFID (Radio Frequency Identification) — радіочастотна ідентифікація.

VAV (Variable Air Volume) – вентиляційна система з автоматичною зміною витратного об'єму повітря.

VRV (Variable Refrigerant Volume) – термін компанії Daikin, який описує змінний обсяг холодоагенту.

VRF (Variable Refrigerant Flow) – змінний потік холодоагенту.

IoT (Internet of Things) – система взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, які можуть обробляти дані по бездротовій мережі без участі людини.

IS – інформаційна система.

ВСТУП

Сучасні умови ринкової економіки провають неспинний ріст рівня якості обслуговування за рахунок розробки та впровадження інформаційних технологій в бізнес-процеси підприємств індустрії гостинності. Високий рівень конкуренції, розмаїття видів основних і додаткових послуг підвищують складність управління та необхідність комплексного контролю усіх видів діяльності в готелях, пансіонатах та хостелах.

Активне впровадження інтегрованих технологій дозволяє оптимізувати не тільки фінансово-облікову, але і господарську діяльність закладів. Висока швидкість обробки та передачі інформації, її надійність, оперативність, точність здатні підвищити продуктивність праці за рахунок зниження собівартості та збільшення загальної маржинальності пакетів послуг, а також підвищення кваліфікації та професійного рівня працівників.

Оптимальна температура в приміщенні протягом календарного року становить від 18°C до 22°C. Як правило, такі умови неможливо забезпечити виключно за рахунок природної вентиляції. Розподіл за тепловим навантаженням і, відповідно, за потребою в припливній і витяжній вентиляції провають наявність якісних систем кондиціонування повітря. Такого роду системи є інтегрованими рішеннями для готелів, тому у більшості випадків потребують коштовної реалізації та високих енерговитрат.

Завданням цього проєкту є створення архітектурного рішення інтегрованої системи кондиціонування для підприємства гостинності, яке здатне забезпечити безперебійний моніторинг комплексної системи, підвищену фільтрацію та очищення повітряних мас відповідно до санітарно-епідеміологічних норм захисту від Covid-19.

Актуальність проєктування покликана оптимізувати рівень якості повітряних мас для відвідувачів готелів, хостелів, пансіонатів шляхом апаратної реалізації аналізу метрики ультрафіолетового випромінювання в приміщенні.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз предметної області

Об'єктом дослідження є типовий заклад індустрії гостинності – готель, хостел, санаторій або пансіонат. Засоби розміщення такого роду характеризуються різною місткістю для тимчасового проживання туристів, наявністю управлінської ланки в організаційній структурі, передбачають реалізацію пакету послуг обслуговування.

Розглядається мале готельне підприємство, місткістю від 30 номерів. Підприємство має відповідати нормам системи оцінювання, яка базується на французькій національній класифікації – вище рівня «три зірки». Норми і стандарти підприємства, що надає послуги гостинності включають вимоги за категоріями.

Категорія оцінки розміщення та зручності номерів:

- наявність комфортабельних номерів з сучасними меблями та ванною кімнатою;
- наявність телевізору, телефону та інтернет-з'єднання у кожному номері;
- щоденне прибирання номерів та заміна постільної білизни та рушників;

Категорія оцінки харчування і ресторани:

- наявність ресторану з різноманітним меню та вишуканими стравами;
- пропозиція сніданків, обідів та вечерь;
- можливість замовлення обідів у номер.

Категорія оцінки зручностей та сервісу:

- наявність приймальні, яка працює цілодобово і забезпечує швидкий чек-ін та чек-аут;
- наявність спа-центру, фітнес-залу і басейну;
- наявність конференц-зали для бізнес-зустрічей та заходів;
- наявність консьерж-послуг та можливості організації екскурсій та інших розважальних заходів.

Категорія оцінки рівня безпеки:

- наявність системи контролю доступу і сейфи у номерах для зберігання цінних речей;
- дотримання норм пожежної безпеки та стандартів ергономіки, включаючи детектори диму, пожежні інструкції, системи кондиціонування;
- наявність послуг для бізнес-подорожуючих;

Категорія оцінки додаткових послуг:

- наявність послуг прання та хімчистки;
- наявність локацій паркування для гостей;
- організація дозвілля та розваг на території готелю.

Типове підприємство сфери гостинності передбачає лінійно-функціональну організаційну структуру, яка базується на функціональному поділі праці і ієрархічній системі управління (рисунок 1.1).

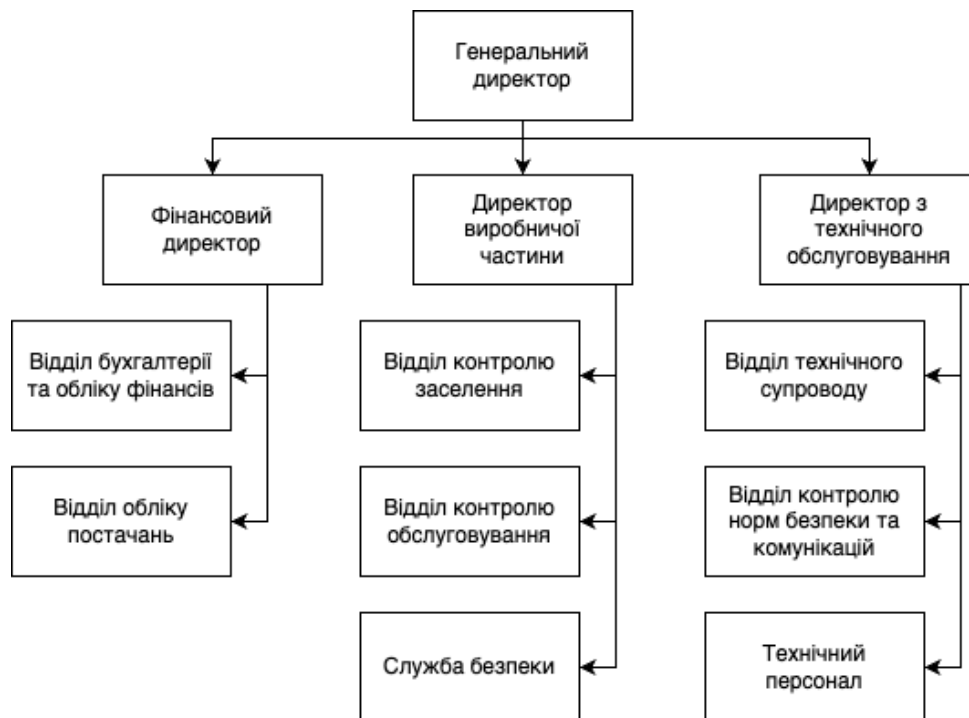


Рисунок 1.1 – Типова лінійно-функціональна організаційна структура

Експлуатація готелю включає обслуговування мережі інженерно-технічного устаткування готелю: водогону, каналізації, гарячого водопостачання, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, централізованого

видалення пилу, сміттєпроводу, білизнопроводу, ліфтів, енергетичного господарства, слабкострумкових пристроїв автоматики, торгово-технологічного устаткування. Національним стандартом України ДСТУ 4269:2003 «Послуги туристичні. Класифікація готелів» для готелів передбачаються норми пікового навантаження в розрахунку на один готельний номер (рисунок 1.2).

Категорія	Струм на один номер, кВА	Максимальне навантаження в розрахунку на номер, кВт
Дві зірки	2,5	1,8
Три зірки	3,0	2,15
Чотири зірки	3,5	2,5
П'ять зірок	4,0	2,85

Рисунок 1.2 – Пікове навантаження в розрахунку на один готельний номер

Екологічний комфорт відвідувача готелю має бути забезпечено сучасним інженерно-технічним обладнанням з підтримкою інтегрованих ІС. Кондиціонування повітря охоплює повний контроль кліматичних умов – регулювання температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, ароматизацію. Незалежно від зовнішніх кліматичних умов і внутрішніх чинників (тепло- і вологовиділення відвідувачів та обладнанням, газо- і паровиділення) системи кондиціонування повинні передбачати нагрів, охолодження, осушення, зволоження повітря, процедуру збагачення повітря киснем, очищення від пилу та забруднень, а також одоризацію за потребою.

Інженерно-технічне обладнання центральної системи кондиціонування має бути встановлено в технічних приміщеннях висотою до 10 м, з площею, не менш від 140 м² (рисунок 1.3).

В залежності від загальної площі підприємства гостинності, допустимий варіант налагодження компактних кондиціонерів безпосередньо в кімнаті розміщення відвідувачів.



Рисунок 1.3 – Інженерно-технічне структура системи кондиціонування типового підприємства гостинності

Технологічна схема центрального кондиціонера передбачає забір повітря через шахту вентиляції, яка є частиною загальної системи кондиціонування повітря. Повітря має бути транспортовано по горизонтальному розподіленому каналу. Повітрозабірний канал має бути споруджений за межами інженерно-технічного приміщення і надходити до кондиціонерів та припливних установок, розташованих у приміщеннях підвального поверху. Підвальні приміщення підприємств гостинності мають бути забезпечені відкритим доступом до встановленого обладнання з метою своєчасного технічного обслуговування.

Повітря, яке надходить з повітрозабірного каналу, проходить через ізольований витяжний клапан та надходить до калориферів першого рівня нагріву – фанкойлів. Головною функцією фанкойла є передача тепла або охолодження повітря, яке циркулює в приміщенні. Він містить спіральну теплообмінну батарею або охолоджувач, і вентилятор примусової циркуляції

повітря. Повітря, що проходить через фанкойл, нагрівається або охолоджується відповідно до потреби, а потім подається у приміщення, забезпечуючи комфортну температуру та вентиляцію.

Центральний кондиціонер має бути оснащений чилером повітряного охолодження конденсатору з відцентровим вентилятором. Обладнання такого роду використовується в системах кондиціонування для охолодження рідини – води або гліколю, які циркулюють через кондиціонери або фанкойли для охолодження повітря в будівлі. До складових чилеру включають:

- компресор – створює низький тиск та температуру циркулюючої рідини для охолодження повітря;
- конденсатор – компонент чилера, в якому рідина, що надходить з внутрішнього приміщення, віддає тепло навколишньому повітрю для підготовки до повторної циркуляції;
- випарник.

Відцентровий вентилятор використовується для примусової циркуляції повітря через конденсатор, допомагаючи відведенню тепла від рідини.

Рециркуляційне повітря дифузується за допомогою сепаратору. З метою фільтрації повітря направляється в систему зволоження та проходить процес автоматичного очищення і терморегуляції через нагрівачі другого рівня. Наступна подача повітря у вентиляційну мережу відбувається через вентилятори.

Центральні кондиціонери призначені для забезпечення потоку повітря в торгові зали ресторанів, банкетні зали, конференц-зали, а також виробничі та житлові приміщення підприємств гостинності. Вони можуть бути використані для видалення запахів, вологості та забруднень з повітря в готелі, з метою забезпечення комфорту та забезпечення належної якості повітря для гостей та працівників підприємства сфери гостинності.

Загальна архітектура системи кондиціонування має підтримувати одноканальний рух повітря зі швидкістю 10-12 м/сек. Раціональна довжина повітроводів не більше 60-70 метрів.

Інтегровані інформаційні системи управління кондиціонуванням мають включати прилади автоматичного та дистанційного керування для забезпечення функціонування кондиціонерів у різних терморежимах в залежності від періоду року. Літній період потребує транспортування збільшеного об'єму, охолодженого від природних або штучних джерел, повітря.

ІС управління кондиціонуванням також передбачає контроль програмного забезпечення холодильних установок, які обладнуються компресорами з випарно-конденсаторними агрегатами. У перехідний і зимовий періоди холодильні установки перебувають у неактивному режимі роботи.

1.2 Постановка задачі архітектурного проєктування інтегрованої ІС

Сучасні виклики світової санітарно-епідеміологічної ситуації висувають оновлені стандарти до якості повітря в житлових приміщеннях, зокрема підприємствах гостинності. Спалахи SARS-CoV-2 наклали додаткові обмеження для аналізу вмісту небезпечних для здоров'я людини часток. Чартерний інститут інженерів з обслуговування будівель CIBSE (Англія) затвердили калькулятор індексу відносного впливу COVID-19, який дозволяє розрахувати REI – ризик повітряно-крапельної передачі SARS-CoV-2.

Надається простий метод, що дозволяє описати площу, частоту дихання, дихальну активність, тривалість роботи та умови вентиляції в приміщенні та порівнювати сценарії, в яких використовуються очищувачі повітря, з сценаріями, в яких вони не використовуються.

У розрахунку показника ризику для типового гостьового номеру для двох персон, було визначено перевищення норми в 10 разів – 10 522, були враховані умови:

- проведення аналізу приміщення без використання очисників повітря, базуючись виключно на типових технологіях вентиляції (різниця тисків, дверні отвори, кватирки, VAV-системи);

- час перебування в готелі – 7 годин;

- розрахунок витрат припливного повітря на людину виконується за формулою:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{V}{N}, \quad (1.1)$$

де V – загальний об'єм повітря в приміщенні (в даному випадку, 20 м^3);

N – кількість людей в приміщенні.

У разі використання додаткових етапів очищення повітря, зокрема пристроїв для дезінфекції повітря, ризик захворювання спадає до значення $7 \cdot 10^6$ (рисунок 1.4).

	without air cleaner	with air cleaner
Room width (m)	4	4
Room length (m)	5	5
Room height (m)	2,7	2,7
Number of occupants	2	2
Breathing rate	Female adults sitting	Female adults sitting
Respiratory activity: Breathing	75	75
Respiratory activity: Talking	25	25
Respiratory activity: Vocalising		
Occupation time (hours)	7	7
Air change rate (ach)		
Ventilation rate (l/s/person)	5	10
Ventilation rate (l/s)		
Air cleaner equivalent ventilation rate (ach)		
Air cleaner equivalent ventilation rate (l/s)		
REI	10,522	7,106
Median REI Improvement		32%

Рисунок 1.4 – Розрахунок REI для 2-місного номера

Модель передбачає, що в приміщенні знаходиться одна інфікована людина. Оптимізація етапів фільтрації дозволяє покращити показник REI на 32% на основі отриманих показників для площі 20 м^2 .

Невизначеності показані на наведеному графіку фігур:

- центральна лінія фігур представляє середнє очікуване значення REI;
- фігура представляє 50% довірчі інтервали;
- антени представляють 95% довірчі межі (рисунок 1.5).

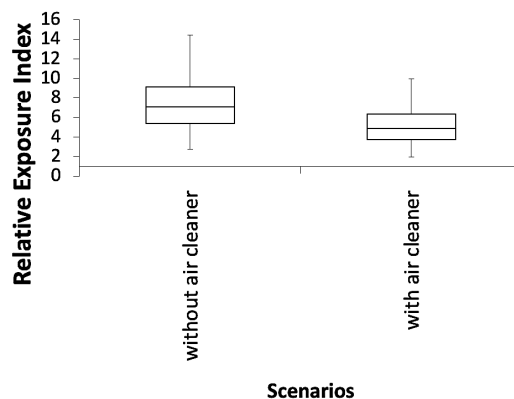


Рисунок 1.5 – Модель розрахунку REI для 2-місного номера

Невизначеності обчислюються шляхом моделювання 10 000 випадків за допомогою методу Монте-Карло, отже, при кожному використанні моделі абсолютні значення REI будуть незначно змінюватися (рисунок 1.6).

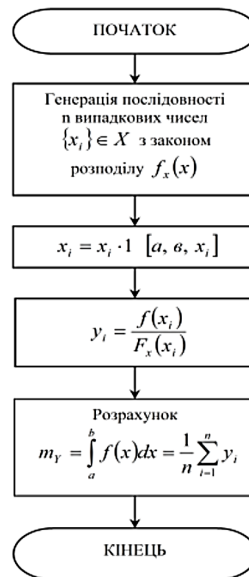


Рисунок 1.6 – Алгоритм методу Монте-Карло

Використання методів дезинфекції повітряних мас в інтегрованих системах кондиюнування провокує розгляд додаткової задачі. Етапи механічної фільтрації мають бути впроваджені з урахуванням збільшення швидкості припливного повітря для подолання фізичних перешкод. Підвищення допустимого рівня розрахункових витрат припливного повітря має бути виконано до 30 м³/особу згідно до норм укладеного Європейського стандарту EN13779 “Ventilation for residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems”, дійсним і на території України (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Граничні норми вмісту CO₂ за EN13779

Клас приміщення	Якість повітря	Концентрація CO ₂ , ppm Граничні значення	Концентрація CO ₂ , ppm Типові значення
IDA1	висока	< 400	350
IDA2	середня	400-600	500
IDA3	прийнятна	600-1000	800
IDA4	низька	>1000	1200

Концентрація діоксиду вуглецю за для житлових приміщень підприємства гостинності не має перевищувати < 800 ppm.

Допустимий вміст CO_2 може бути розрахований згідно до рівняння А. Н. Селівестрова за формулою:

$$q = q_{np} + \frac{\bar{G}}{K_p} + \left(q_{\tau} - q_{np} - \frac{\bar{G}}{K_p} \right) \cdot e^{-\tau \cdot K_p}, \quad (1.2)$$

де q – концентрація в цей момент часу, $\text{мг}/\text{м}^3$;

q_{np} – концентрація шкідливої речовини у припливному повітрі, $\text{мг}/\text{м}^3$;

q_{τ} – концентрація в початковий момент режиму, що розглядається, $\text{мг}/\text{м}^3$;

K_p – дійсна кратність повітрообміну у приміщенні, 1/год;

\bar{G} – питомі годинні газовиділення на 1 м^3 приміщення, $\text{мг}/(\text{м}^3 \times \text{год})$,

t – час від початку заданого режиму, год.

Питомі годинні газовиділення на 1 м^3 приміщення визначаються як:

$$\bar{G} = \frac{G}{V}, \quad (1.3)$$

де G – кількість шкідливої речовини (CO_2 , летючі органічні сполуки), що виділяється у приміщення, $\text{мг}/\text{год}$;

V – об'єм приміщення, м^3 .

Кількість виділення CO_2 однією людиною сягає 18 л/год за загальноприйнятими сталими. Концентрація CO_2 в зовнішньому повітрі сягає 450 ppm для великого міста за даними EN13779.

З урахуванням поточних стандартів та проєктних вимог підприємства гостинності виникає ряд потреб, які мають бути вирішені шляхом розгортання інтегрованої системи управління загальної системи кондиціонування. Інтегрована система має забезпечувати:

- циркуляцію, відведеної згідно до санітарної оцінки ЄС, норми свіжого повітря, не менше $20\text{-}30 \text{ м}^3/\text{год}$ на одну людину [4];

- безперебійний контроль роботи холодильних установок центрального кондиціонеру протягом якнайменш 6 календарних місяців протягом року;

- дезинфекцію повітря;
- контроль зовнішнього впливу на ІС під час аварійних ситуацій – пожежі, затоплення;
- можливість користувацького контролю терморежиму в приміщенні готельного підприємства з урахуванням лімітних значень в залежності від поточних погодних умов;
- можливість апаратної та програмної реалізації в рамках існуючої ІС управління готельним підприємством.

Технології дезинфекції повітря можуть передбачати використання:

- механічної фільтрації високоефективних частинок повітря, HEPA;
- ультрафіолетового бактерицидного опромінення, УФ;
- термічного або фотокаталітичного окислення;
- генерації іонів, або плазмових пристроїв;
- електростатичне устаткування.

Додаткові етапи очистки повітря мають видаляти хвороботворні мікроорганізми шляхом фільтрації або біологічно деактивувати патогени.

1.3 Аналіз факторів впливу на проектування архітектури ІС управління кондиціонуванням

За даними Державного агентства розвитку туризму (ДАРТ) попри обмеження Covid-19, громадяни різних країн активно відвідували Україну протягом 2021 року. Кількість іноземців, які перетнули кордон держави у 2021 році, як порівнювати з 2020 роком, зросла на 26,3% та становила майже 4,271 млн осіб [5]. Ріст попиту туристичної сфери провокує потребу у забезпеченні належних умов проживання та відпочинку у підприємствах сфери гостинності.

При проектуванні систем кондиціонування повітря в підприємствах сфери гостинності має бути врахований комплексний розподіл теплового навантаження, викликаний характером автоматизації та сезонністю.

Автоматизація бізнес-процесів характеризується збільшенням числа задіяних електричних пристроїв і споруд. Натомість, посилення частки енергетичного навантаження призводить до збільшення споживання електроенергії.

В якості об'єкту дослідження були використані дані шести підприємств гостинності, розташованих в Кореї. Аналіз енергоспоживання готельних будівель в розбивці за цілями споживання показує, що на технічне обслуговування об'єктів доводиться близько 38,83%, на освітлення - близько 26,03%, а на кондиціонування - близько 17,04%. Крім того, електроенергія споживається для забезпечення роботи інженерно-технічного обладнання. В цілому 25% всієї електроенергії в готелях споживається на кондиціонування та опалення (рисунок 1.7).

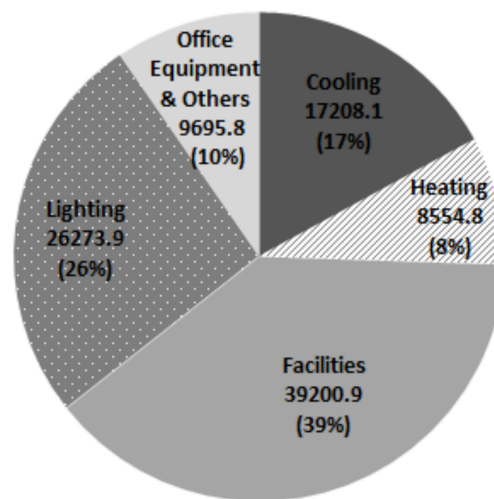


Рисунок 1.7 – Розподіл вживаної електроенергії в індустрії гостинності

Сезонні зміни клімату викликають високе споживання електроенергії у літній і зимовий періоди, в той час як порівняно низьке споживання припадає на інші сезони. Диверсифікація навантаження електропостачання в одноденному циклі є наслідком тимчасової завантаженості гостьових кімнат, більш активного використання кімнат в обідній час, робочих змін персоналу, роботою допоміжного обладнання.

Навантаження на систему електропостачання зменшується на світанку і збільшується з 06:00 до 23:00, коли відвідувачі перебувають в номерах. Збільшення навантаження в нічний час пов'язане з залами очікування на рецепції і громадськими зонами, які надають послуги своїм гостям, такими як ресторани, басейни та інші. Відповідно, системи кондиціонування повітря мають забезпечувати покращену потужність у зазначені години [2].

Проведений аналіз навантаження систем електропостачання доводить, що структура електричного навантаження змінюється в будні та вихідні дні в залежності від використання часу і рівня активності об'єкта щогодини. Години пікового добового навантаження з понеділка по п'ятницю охоплюють період з 17:00 до 22:00 (рисунок 1.8).

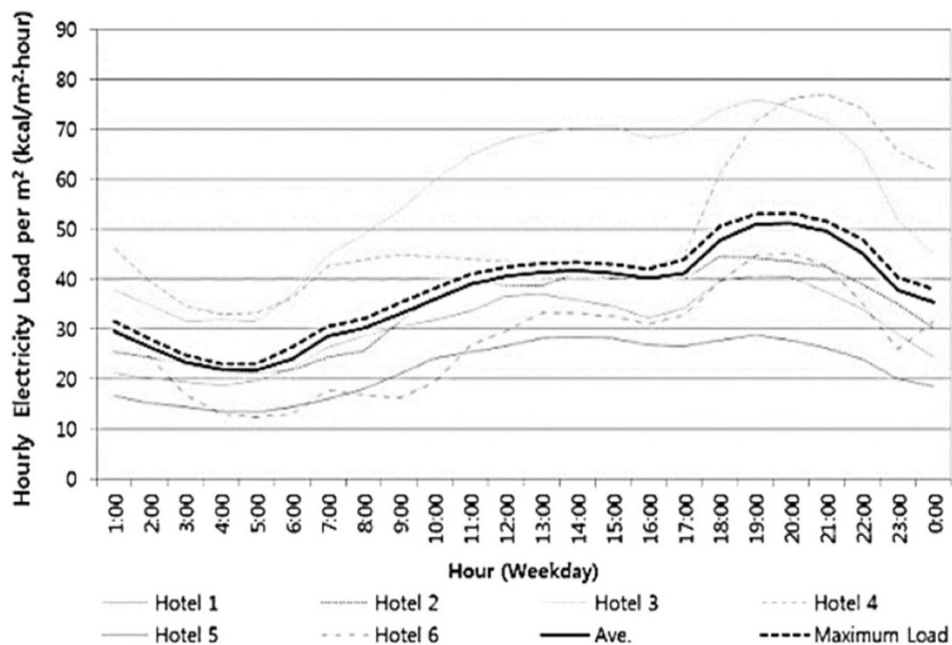


Рисунок 1.8 – Використання електроенергії у будній день

Натомість, у суботу та неділю пікове навантаження спостерігається з 11:00 до 15:00 (рисунок 1.9).

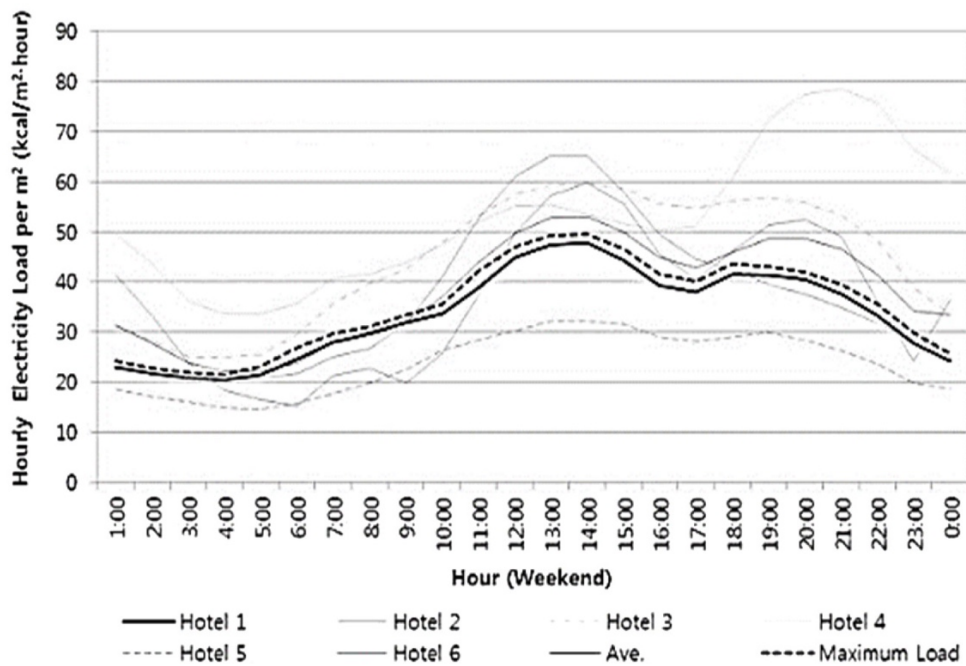


Рисунок 1.9 – Використання електроенергії у вихідний день

При визначенні вимог до теплового навантаження і виборі системи опалення, вентиляції та кондиціонування необхідно враховувати відмінність унікальних вимог до комфорту для різних функціональних зон. Вимоги можуть бути регульовані стандартними або конкретними місцевими будівельними нормами. Короткий опис вимог Дипломованого інституту інженерів будівельних служб Лондона надано в таблиці 1.2 [1].

Таблиця 1.2 – Критерії проектування підприємства гостинності

Категорія приміщення	Вимоги до температурного режиму, °C		Рекомендована швидкість подачі повітря, л/с ⁻¹	Рівень шуму, NR
	Літній сезон	Зимовий сезон		
Спальня	21-23	20-22	12	20-30
Ванна кімната	23-25	19-21	10	40
Коридор	21-23	19-21	10	40
Кухня	18-21	15-18	17	40-45
Ресторан/їдальня	24-25	21-23	10	35-40
Рецепція/магазин	21-23	19-21	10	35-40
Басейн	23-26	23-26	0-15 (волога зона)	40-50

Шум може спричинити проблеми зі слухом, стрес, змінити режим сну та вплинути на діапазон слуху. Для різних приміщень необхідно вибирати обладнання середньої і високої якості, яке має відповідати критеріям ДСТУ [3]. Наведені рекомендовані рівні шуму для людей в різних зонах кондиціонування (таблиця 1.2). Рекомендації передбачають, що рівень шуму та акустична конфіденційність повинні додатково контролюватися акустичними засобами.

Зниження шуму досягається двома способами: поглинанням або відбиттям звуку. Загасання поглинанням передбачує використання:

- звукоізованих повітроводів;
- глушників;
- шумопоглинаючих будівельних матеріалів при оздобленні номеру.

Загасання відображенням передбачує впровадження:

- методу кінцевого відображення (звук відбивається від кінцевого дифузора назад в повітропровід);
- системи розгалуження або поворотів (відводи, відступи).

Ступінь глушіння шуму має бути представлена в технічній документації відповідних постачальників та використана під час аналізу ринку конкурентів адміністрацією підприємства гостинності.

1.4 Дослідження класифікації архітектурних рішень інтегрованих ІС управління кондиціонуванням

Інтегровані системи управління кондиціонуванням різняться за методами регулювання енерговитрат:

- установки з фіксованою витратою САV, популярних через більш низькі капіталовкладень і більш простої конструкції, витрата кисню завжди однакова, змінюється лише температура. Система САV енерговитратна – обладнання працює на повну потужність незалежно від реальної потреби. Використання такої системи не є ефективним для закладів сфери гостинності;

VAV-системи пропонують двоступеневу схему регулювання на підставі тимчасового таймера, тижневого планувальника і клапанів з електроприводами. VAV-схема зі змінною витратою повітря передбачає подачу повітря, обробленого в центральному кондиціонері, в кількості, необхідній для поглинання надлишків тепла в приміщенні. Система зазвичай має панелі управління, на яких відображається інформація про налаштування.

До недоліків такої схеми відносять:

- відсутність можливості індивідуального регулювання температури в кожному обслуговуваному приміщенні;
- великі витрати повітря;
- великі діаметри повітроводів і необхідність їх додаткової теплоізоляції;
- підвищене енергоспоживання через складність обліку коефіцієнта завантаженості номерного фонду.

До переваг відносять:

- відносно низькі капітальні витрати;
- простота обслуговування і реалізації проєкту.

В силу наведених вище недоліків використання такої схеми для готелів високої категорії практично не прийнятно. VAV-система оптимальна для офісних і адміністративних приміщень. Інтенсивність вентиляції задається відповідно до робочого і тижневим графіком. Обладнання активно працює в період з 9:00 до 12:00 і з 13:00 до 18:00 з понеділка по п'ятницю. В обідню перерву з 12:00 до 13:00 і у вихідні витрата повітря і обсягу електроенергії мінімальний. VAV-система ідеально підходить для приміщень, де кількість людей не змінюється (офіси, навчальні аудиторії);

DCV-системи орієнтовані на можливу зміну навантаження на приміщення і збільшення числа людей. Оснащуються датчиками температури, диференціальним і вуглекислого газу (CO₂). Інтенсивність вентиляції залежить від показників, які автоматика передає на панель управління. Затребувані в будівлях зі складно прогнозованою навантаженням (фітнес-клубах, торгових центрах, підприємствах гостинності).

Системи кондиціонування класифікуються за конструктивним використанням:

- віконні;
- мобільні;
- спліт-системи – складаються з зовнішнього і внутрішнього блоків, включають компресор і кондиціонер. Такі системи є найбільш поширеними в світовій практиці, оскільки передбачають схеми з роздільною обробкою свіжого припливного повітря і автономними температурними регуляторами, які забезпечують підтримку комфортної температури індивідуально в кожному приміщенні. Згідно з їх схемою, свіже повітря проходить обробку в центральному кондиціонері. Обробка включає очищення не нижче класу EU4, підігрів або охолодження, зволоження або осушення. Оброблене повітря подається в приміщення. Підтримка комфортної температури забезпечується індивідуально в кожному номері за рахунок встановленого температурного доводчика – фанкойла або внутрішнього блоку системи з безпосереднім охолодженням.

Перелік обладнання для реалізації системи кондиціонування в підприємстві гостинності включає основний кондиціонер, який складається з калориферів, фільтра для очищення, зрошувальної камери з форсунками, холодильних установок на фріоні, вентиляційних секцій, клапанів, повітреприймальних отворів.

Реалізація DCV-систем управління кондиціонуванням у підприємствах гостинності охоплює три основних підходи – використання мультиспліт-систем, VRF та систем типу чилер-фанкойл.

За конструктивними рішеннями кондиціонери DCV-систем діляться на центральні і місцеві. У центральних кондиціонерах повітря готують поза обслуговуваного приміщення і розподіляють його по системі повітроводів; в місцевих - зовнішнє повітря пропускають через холодильну машину або калорифер в тому ж приміщенні, де його споживають. Центральні кондиціонери монтують з типових секцій, однакових по продуктивності і розмірам, що

дозволяє вести збірку з будь-яким числом секцій і в будь-якій послідовності. Джерелами холоду для центральних установок кондиціонування повітря в готелях є холодна артезіанська вода, аміак, галоїдні похідні від метану і етану - фреони 12 і 22 або дифторхлорметан.

DCV-схема реалізована у вигляді мультиспліт-системи – конструкція, яка включає кілька внутрішніх блоків, які з'єднуються з одним загальним зовнішнім блоком. Всі внутрішні модулі працюють самостійно, незалежно один від одного. Кожен з них оснащується індивідуальним пультом управління, за допомогою якого відвідувачі номерів мають можливість встановлювати потрібну температуру і режим роботи установки, оскільки система має низький рівень автоматизації.

Місцеві кондиціонери монтують безпосередньо в приміщеннях готелів, де вони створюють заданий мікроклімат (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Архітектура мультиспліт-системи кондиціонування

Один зовнішній блок може одночасно забезпечувати роботу 5-ти внутрішніх блоків. Особливо вигідно в такому випадку купувати інверторні моделі (рисунок 1.11).

У звичайних кондиціонерах, компресор працює циклами виключення-включення. Коли задана температура досягнута, він відключається. Відновлення роботи відбувається лише після того, як датчики зафіксують зміни температури повітря. Інверторний кондиціонер – це пристрій з плавним регулюванням потужності компресора.

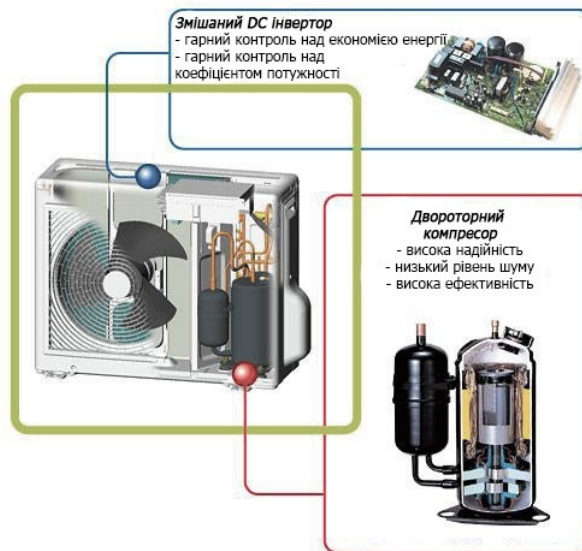


Рисунок 1.11 – Компонентні складові інверторного кондиціонера

Регулювання відбувається за рахунок перетворення змінного струму в постійний і постійного на змінний. Завдяки цьому, досягши потрібної температури, компресор не вимикається, а переходить в режим зменшеної потужності. Двигуни вентиляторів не вимикаються, а працюють на малих обертах, завдяки чому немає великих перепадів в температурі повітря.

Мультиспліт-система обійдеться дорожче на 40-45% в порівнянні з покупкою окремої установки для кожного номера. Однак цей недолік компенсується завдяки більш економному витраті електроенергії.

VRF–високоєфективна мультizonальна система кондиціонування з низьким рівнем енергоспоживання, що підключається до єдиної системи трубопроводів, що значно спрощує монтажні роботи і дозволяє в майбутньому при необхідності збільшити кількість блоків для створення комфортного мікроклімату в інших приміщеннях будівлі. VRF і VRV – мультizonальні системи кондиціонування інверторного типу, що виготовляються різними виробниками (рисунок 1.12). Переваги VRF-систем:

- висока енергоефективність;
- точна підтримка заданої користувачем температури, автоматичне плавне регулювання обертів вентилятора внутрішнього блоку в залежності від навантаження;

- висока надійність, ротація компресорів і можливість використання кількох систем на великій площі;
- менший рівень звукового тиску як зовнішніх, так і внутрішніх блоків.
- зручні рішення по диспетчеризації і центральному контролю;
- мінімальна кількість проектних розрахунків і відносно проста установка;
- відносна простота обслуговування та експлуатації;
- можливість роботи на обігрів приміщень без подорожчання і ускладнення системи.

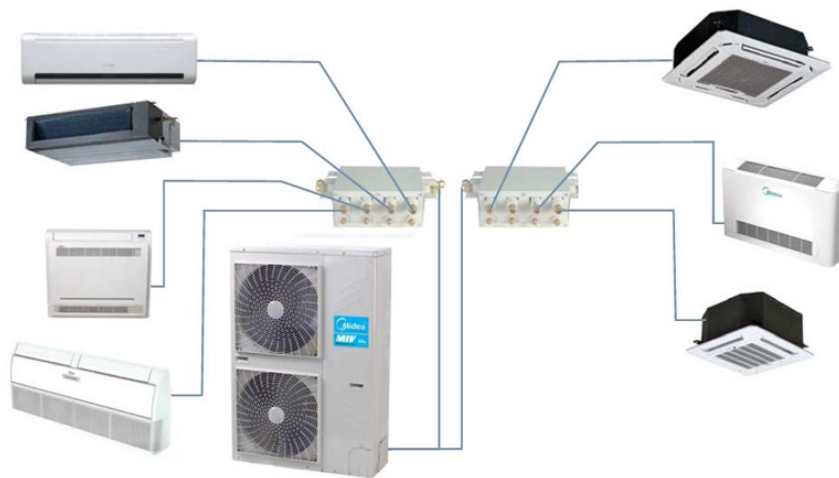


Рисунок 1.12 – Архітектура VRF-системи кондиціонування

Недоліки VRF-систем:

- висока вартість;
- необхідність зупинки системи в разі зміни конфігурації внутрішніх блоків і висока вартість даної операції;
- обмеження довжин трас і перепадів висот між внутрішніми і зовнішніми блоками;
- велика загальна холодопродуктивність систем, ніж у чилер-фанкойл, яка в наслідок знижується до необхідного рівня (висока вартість).

Система кондиціонування типу чилер-фанкойл – розгалужена мережа трубопроводів, по яких тече холодна вода (на зразок системи опалення, тільки замість котла виступає чилер – холодильна машина, а замість опалювальних

приладів – фанкойли). Внутрішні блоки кондиціонування готельних номерів – фанкойли, зовнішні блоки – чилери, аналог холодильної машини – джерело холоду.

Кондиціонування готелів за допомогою системи чилер-фанкойл застосовується для обслуговування великих будівель зі значним номерним фондом. Переваги в порівнянні з установками іншого типу:

- менша початкова вартість; бюджетна, ніж VRV-система на 15-20% за капітальними витратами;
- розріднена, дозволяє відключати кондиціонування в кожному номері окремо. Наприклад, для технічного огляду або ремонту.
- практично необмежені можливості по зміні конфігурації внутрішніх блоків (фанкойлів) і невисока вартість даної роботи;
- відсутність обмежень перепадів висот, необмежені довжини магістралей між внутрішнім і зовнішнім блоком;
- не має обмежень потужності – паралельний тип установки чилерів забезпечує потужність будь-якого рівня холодопостачання в одній системі. Доступна можливість зниження загальної номінальної потужності чилера за рахунок нелінійності теплопритоків у всій будівлі;
- відносно простий монтаж, що вимагає меншої кваліфікації персоналу;
- дозаправка холодоагентом проводиться набагато рідше;
- в якості робочої речовини найчастіше використовується вода, система не представляє небезпеки для здоров'я людини і для навколишнього середовища;
- сумісність – блоки установки і окремі її частини можуть проводитися різними фірмами-виробниками, підтримуючи спільну функціональність. Складові частини можуть бути замінені без прив'язки до фірми-виробника;
- може здійснювати обслуговування великих площ, що включають комплекс будівель (рисунок 1.13).

Недоліки чилер-фанкойл систем керування кондиціонуванням:

- збільшена електровитратність;
- велика кількість проєктних розрахунків, що вимагають дуже високої

кваліфікації проєктувальників;

- велика кількість додаткових елементів в системі: насоси, запірні арматура, проміжні теплообмінники;

- висока дискретність регулювання продуктивності, як у чилера, так і у фанкойлів;

- більша кількість трудовитрат і складність експлуатації та обслуговування, так як додатково з'являється необхідність промивання гідравлічної системи і теплообмінників, очищення грязьових фільтрів, перевірки робочих параметрів насосів.



Рисунок 1.13 – Архітектура чилер-фанкойл системи кондиціонування

Основною різницею в побудові VRF-систем і систем чилер-фанкойл є спосіб передачі теплової енергії. У мультизональній VRF-системі безпосередній процес випаровування холодоагенту відбувається в теплообмінниках внутрішніх блоків, тоді як в системі з чилером спочатку охолоджується теплоносіє (рідина), який в наслідок циркулює через внутрішні блоки. Таким чином, в першому варіанті відсутні проміжні теплообмінні процеси, що позитивно впливає на показники енергоефективності. Негативним моментом є те, що в мультизональних системах строго обмежені довжини магістралей і перепади висот між зовнішнім і внутрішніми блоками, в той час як в системі чилер-

фанкойл ці параметри залежать від підбраного насосного обладнання, тобто практично не обмежені.

Система чилер-фанкойл має перевагу високого коефіцієнта нелінійності навантажень у випадках, коли значну частину теплопритоків становить надходження сонячної радіації через світлові прорізи, так як чилер зазвичай ставиться на всю будівлю. В цьому випадку загальна потужність чилера буде менше сумарної потужності зовнішніх блоків VRF-системи.

Друга основна відмінність полягає в конструктивних рішеннях. У зовнішніх блоках VRF використовуються компресори зі змінною продуктивністю, що дозволяє регулювати продуктивність системи з дуже високою точністю. Також, в мультизональній системі відбувається безперервний обмін даними між внутрішніми і зовнішніми блоками, що також допомагає підтримувати саме ту холодопродуктивність, яка необхідна в даний момент часу.

В системі чилер-фанкойл ситуація протилежна: холодильний агрегат не пов'язаний з фанкойлами і вибирає свою продуктивність по температурі теплоносія (води), що надходить в теплообмінник. Регулювання продуктивності компресорів, в переважній більшості чилерів, ступінчаста, що призводить до коливань температури теплоносія і як наслідок перевитрати електроенергії, так як продуктивність вибирається менш точно і з більшою інерційністю.

Третя відмінність це рівень комфорту кінцевого споживача при використанні систем кондиціонування на базі чилера або VRF. Фанкойл вдає із себе досить простий пристрій, без будь-якої прогресивної системи управління. Як правило, продуктивність фанкойла регулюється клапаном на магістралі теплоносія (води), який має 2 положення: повністю відкритий і повністю закритий. Такий спосіб регулювання неминуче призводить до коливання температури всередині приміщення, особливо при частковому навантаженні.

У внутрішніх блоках мультизональних систем кондиціонування встановлені датчики температури і електронний розширювальний вентиль, який регулює витрату холодоагенту через випарник в широкому діапазоні і з високою точністю. Більш того, в залежності від температури в приміщенні, автоматика

внутрішнього блоку плавно регулює швидкість обертання вентилятора, що дозволяє дуже точно підтримувати температуру в приміщенні. Також, в VRF досить просто організувати диспетчеризацію і центральне управління системами, тому що ці модулі підключаються до існуючої лінії зв'язку. Як правило, внутрішні блоки мають також менший рівень звукового тиску, ніж фанкойли. Таким чином, пріоритетність застосування в тому чи іншому випадку більшою мірою залежить від потреб замовника, тому що в кінцевому підсумку обидві системи виконують завдання з підтримки температурних параметрів в приміщенні, просто роблять це з різною точністю і рівнем комфорту.

Недоліки системи кондиціонування готелів чилер-фанкойл у порівнянні з VRV-системою кондиціонування підприємств гостинності:

- необхідність більш високого рівня знань фахівців для забезпечення належного рівня експлуатації;
- вища коштовність експлуатації;
- масштабність – система чилер-фанкойл потребує багато місця в шахтах і конструкціях підшивної стелі коридору.

Тому постає задача у розробці DCV-системи VRV-типу мультизонального кондиціонування для підприємств гостинності з урахуванням потреб максимальної енергоефективності, підвищеним рівнем автоматизації на основі вхідних метеоданих та можливістю інтеграції в існуючу ІС підприємства.

1.5 Аналіз референсної архітектури інтегрованої ІС управління кондиціонуванням Daikin

Інтегровані системи управління кондиціонуванням від компанії Daikin є провідним рішенням для власників підприємств гостинності. Daikin – японська компанія-постачальник енергозаощаджуючих систем, які включають модулі кондиціонування повітря, опалення та охолодження для житлових, комерційних і промислових приміщень.

Daikin Intelligent Touch Manager – системний контролер VRV з набором простих і корисних функцій управління системою, який надає повний контроль над мережею змінного струму за допомогою простого у використанні і програмованого інтерфейсу з сенсорним екраном (рисунок 1.14).

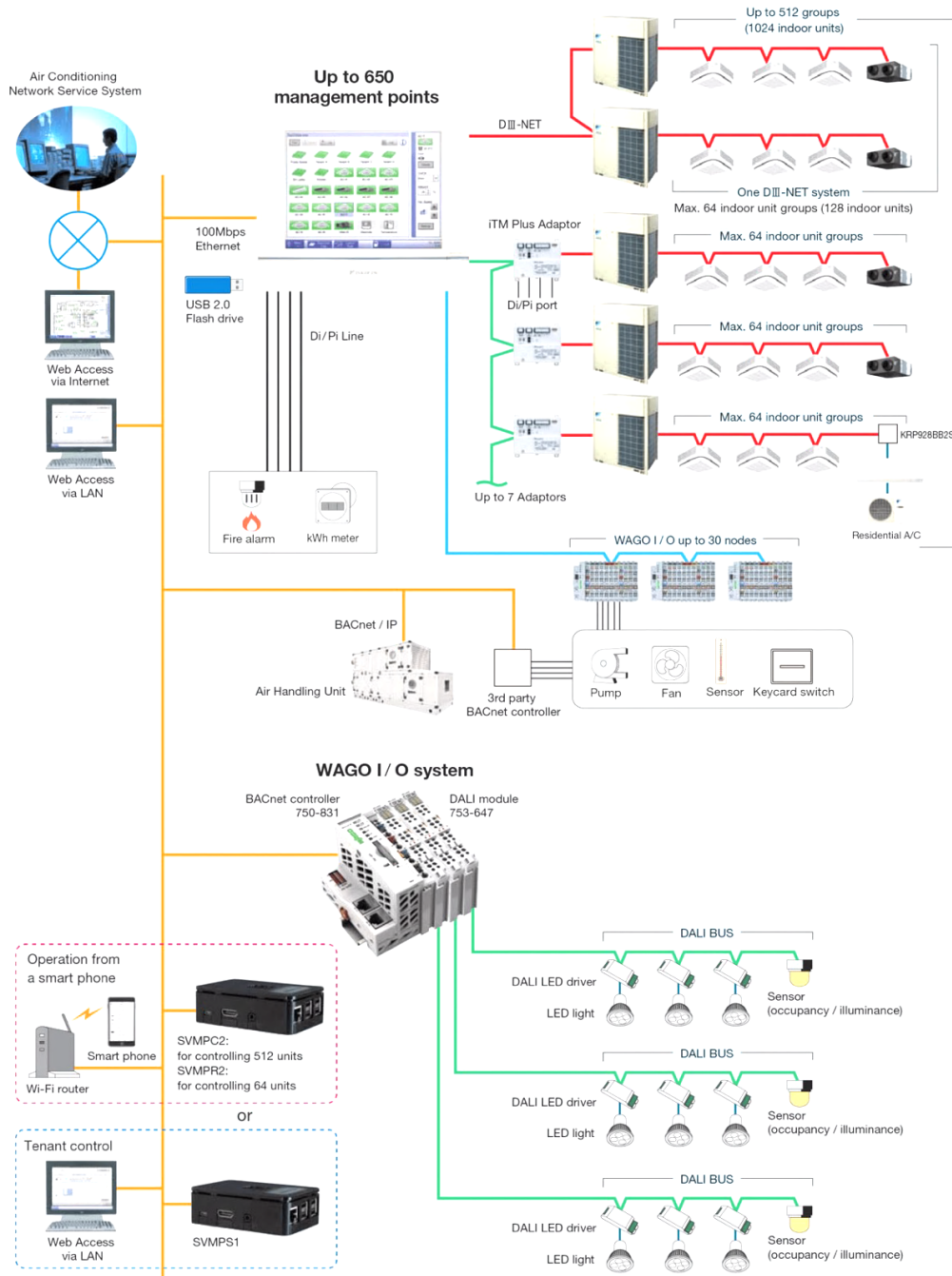


Рисунок 1.14 – Архітектура Daikin Intelligent Touch Manager

Комплексна система дозволяє здійснювати комплексне управління функціями обладнання за вибором – VRV, HRV, чилерами, вентиляційними

установками, фанкойлами, кондиціонерами Sky Air, Split серії. Система Intelligent Touch Manager може здійснювати моніторинг і управління іншим різним обладнанням за допомогою інтерфейсу WAGO (кондиціонери інших виробників, світло, водяні насоси та інше). Графічний контролер системи Intelligent Touch Manager DCM601A51 не вимагає підключення до комп'ютера і є самодостатнім рішенням: інтелектуальний процесорний блок об'єднаний з сенсорним екраном, з якого відстежується інформація і задаються настройки. Вартість однієї складової частини загальної системи – графічного контролеру сягає 141 312 грн.

Програмне забезпечення має простий і зрозумілий графічний інтерфейс, який допомагає швидко освоїти управління системою кондиціонування. Один з варіантів інтерфейсу – поверхові плани будівлі із зазначенням розташування внутрішніх блоків і можливістю прямого доступу до їх основних функцій.

Управління може здійснюватися як безпосередньо з сенсорного екрану, так і віддалено, за допомогою web-інтерфейсу. Функція інтелектуального управління енергоспоживанням дозволяє стежити за витратою електроенергії відповідно до встановленого планувальнику, і виявляти неефективно використовується обладнання. Це дозволяє оперативно відкоригувати графік роботи обладнання і тим самим підвищити загальну ефективність експлуатованого будівлі. Система управління Intelligent Touch Manager значно спрощує експлуатацію та сервісне обслуговування внутрішніх блоків та іншого використовуваного обладнання. Зокрема, система дозволяє проводити автоматичну реєстрацію внутрішніх блоків, відстежувати кількість холодоагенту в системі, повідомляти про виниклі помилки. Крім того, в разі виникнення несправностей система готує звіт і відправляє на вказану адресу електронної пошти, наприклад, представників авторизованих сервісних центрів. Це дозволяє в найкоротші терміни виявити причини збою системи і вирішити проблему.

Доступний також варіант реалізації системи з урахуванням інтеграції з системами електрозабезпечення, контролю безпеки, пожежною сигналізацією за допомогою BMS-модуля управління (рисунок 1.15)



Рисунок 1.15 – Архітектура Daikin з урахуванням інтеграції в поточну ІС

При необхідності оптимізації фізичної реалізації загальної системи під час використання комплексної ІС постає необхідність розгортання додаткового інтегрованого модуля Daikin HERO Cloud Services [8]. Платформа віддаленого моніторингу систем кондиювання повітря включає зовнішній блок HERO Simple Edge та має вбудовану SIM-карту для забезпечення бездротового зв'язку, передачі даних в режимі реального часу. Пристрій HERO Simple Edge взаємодіє з хмарним сервісом Amazon Web Services (AWS), AWS IoT Core, і відправляє в AWS телеметричні дані в режимі реального часу (рисунок 1.16).

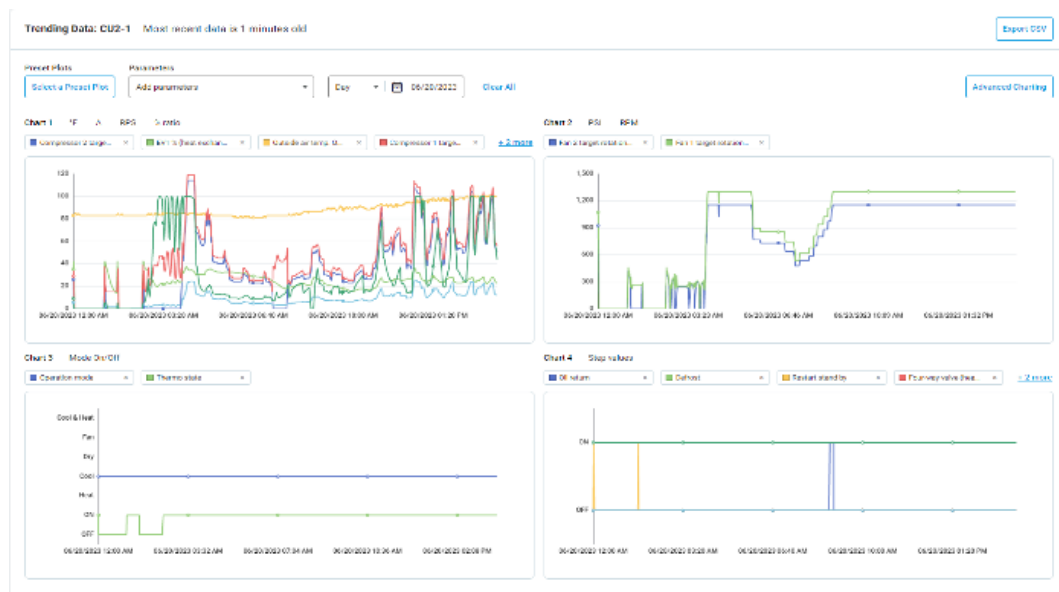


Рисунок 1.16 – Аналіз сервісного навантаження AWS

Хмарні сервіси Daikin HERO забезпечують підтримку основних функцій:

- прогнозування відмов компресорів і датчиків;
- виявлення витoku холодоагенту в системі.

Отримані дані AWS допомагають фахівцям оптимізувати роботу обладнання в залежності від температури зовнішнього повітря (рисунок 1.17).

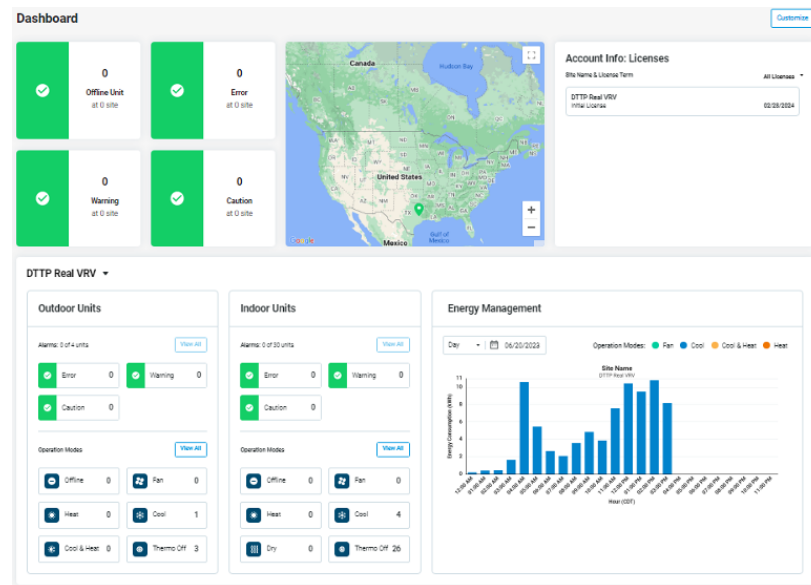


Рисунок 1.17 – Аналіз звітності AWS

Пристрій Daikin HERO Simple Edge підключається до зовнішнього блоку системи HERO, яка збирає телеметричні дані з блоків HERO і відправляє їх в хмару AWS. Телеметричні дані надходять до AWS IoT Core, надсилаються адресатам для зберігання та використання програмами оптимізації рішень [7].

Додатковий інтегрований модуль аналізу HERO від IC Daikin передбачає використання мікросервісної клієнт-серверної архітектури:

- Amazon Simple Storage Service (S3) – зберігання даних телеметрії;
- AWS Lambda – здійснення перетворень;
- Amazon Dynamo DB та Amazon Relational Database Service (RDS) – зберігання даних;

Amazon API Gateway – візуалізація даних користувачами за допомогою веб-інтерфейсу API (рисунок 1.18).

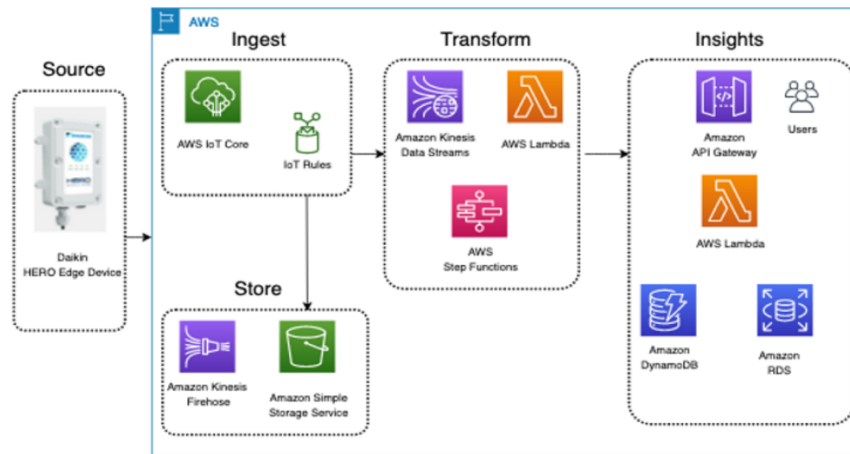


Рисунок 1.18 – Архітектура Daikin HERO

Підтримка ІС Daikin VRV та модуля налізу даних HERO Cloud можлива наразі виключно за умови ліцензійних угод строком на 1, 3 або 5 років.

Інтеграція системи Daikin у рамках існуючої ІС управління закладу сфери гостинності провокує:

- необхідність додаткової оптимізації енерговитрат існуючої системи клімат-контролю готелю;
- зміну компонентної організації та апаратного оформлення існуючої ІС;
- реалізацію додаткових ліцензійних витрат;
- необхідність додаткової механічної фільтрації повітря;
- необхідність окремого налаштування модуля аналізу даних Hero Cloud ІС Daikin у зв'язку з відсутністю комплексного хмарного рішення;
- пошук фахівців, які забезпечать повний контроль та реалізацію налаштування системи високої складності.

1.6 Аналіз референсної архітектури інтегрованої ІС управління кондиціонуванням Panasonic

VRF Smart Connectivity+ – система управління кондиціонуванням від компанії Panasonic у співпраці з Schneider Electric. Комплексне рішення передбачає управління для систем Panasonic VRF і PACI [6]. Щоб зменшити

зусилля та складність, був розроблений принцип «підключи і працюй» для швидкої інтеграції, за допомогою якого датчики та пристрої можна швидко та легко інтегрувати в систему управління VRF або в систему BMS, таку як BACnet (рисунок 1.19).

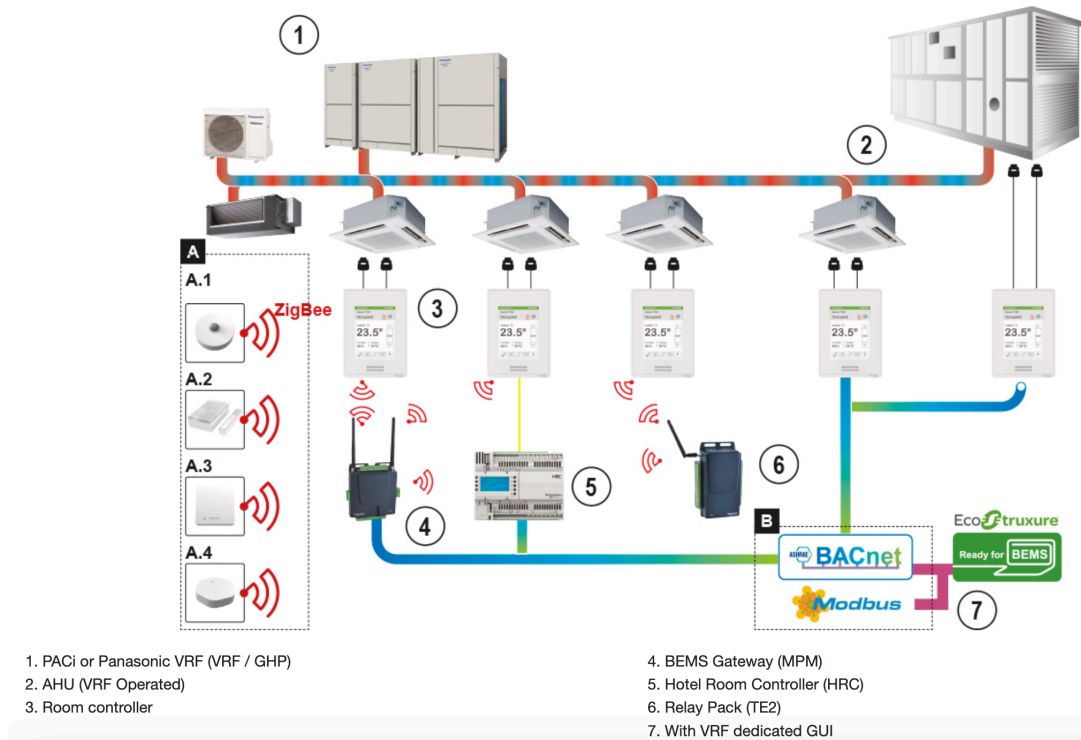


Рисунок 1.19 – Архітектура VRF Smart Connectivity+

Систему кондиціонування повітря можна оптимально і превентивно контролювати за допомогою різних датчиків. Це знижує експлуатаційні витрати будівлі і в той же час забезпечує високий рівень комфорту.

Радіозв'язок між датчиками та пультами дистанційного керування полегшує встановлення, особливо в існуючих будівлях, та зменшує витрати.

Завдяки розумному використанню бездротових з'єднань ZigBee та індивідуально налаштованому кімнатному контролеру, який обробляє всі дані від бездротових датчиків, установка є економічною.

Бездротові радіодатчики з батарейним живленням просто встановлюються в приміщенні, і монтажній бригаді не потрібно турбуватися про підключення кабелю. Щоб забезпечити ефективну роботу з максимально можливою якістю

повітря, Panasonic пропонує ряд датчиків в рамках системи інтелектуальних підключень VRF.

Детектори руху для настінного або стельового монтажу визначають, чи є в приміщенні люди, а контактні датчики повідомляють, чи закриті двері або вікна. Датчики температури і вологості вже інтегровані в кімнатний контролер. Він збирає комплексні дані і передає їх у систему управління будівлею.

Дані можуть бути передані як до серверної частини системи, яка передбачує необхідність наявності сервісної кімнати, так і реалізацію хмарного рішення Panasonic AC Smart Cloud (рисунок 1.20).

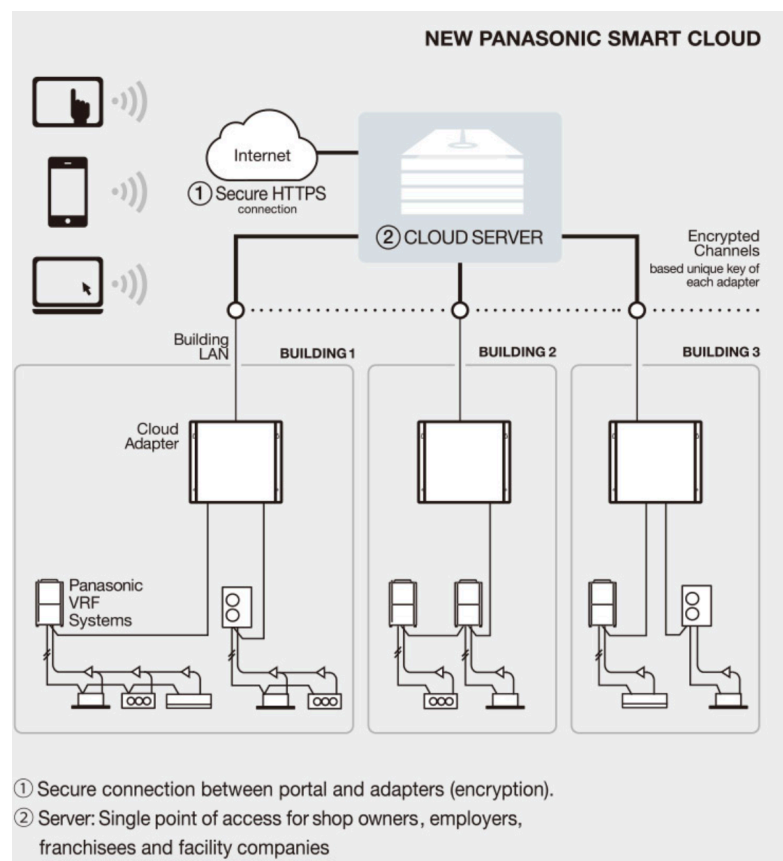


Рисунок 1.20 – Принципова схема роботи Panasonic AC Smart Cloud

Інтеграція системи Panasonic у рамках існуючої ІС управління закладу сфери гостинності провокує додаткові витрати для налаштування модуля хмарного аналізу даних Panasonic AC Smart Cloud у зв'язку з відсутністю комплексного рішення, а також підвищення норми енерговитрат, оскільки комплексне рішення системи є доволі ресурсозатратним (рисунок 1.21).

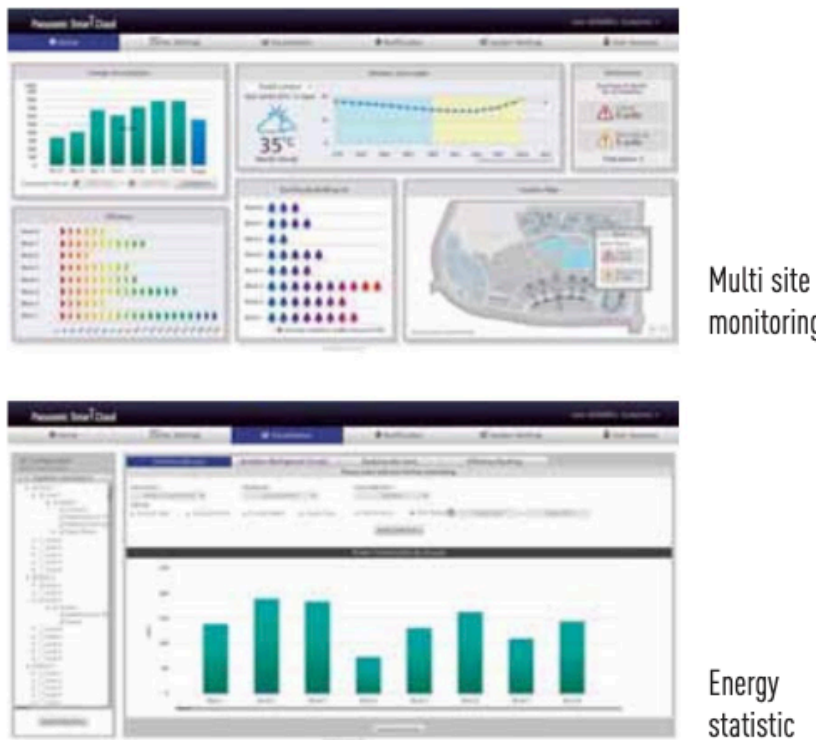


Рисунок 1.21 – Аналіз сервісного навантаження Panasonic AC Smart Cloud

Наразі система VRF Panasonic не є містить функції механічної дезінфекції повітряних мас, тому проковує придбання додаткового обладнання та пошук інтеграційних рішень згідно до санітарно-епідеміологічних норм SARS-CoV-2.

2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1 АТАМ-аналіз ІС управління кондиціонуванням

2.1.1 Визначення бізнес-драйверів

Бізнес-драйверами або бізнес-рушіями під час архітектурного проєктування інтегрованої ІС управління кондиціонуванням для підприємства гостинності виступають:

- підвищення ступеню фільтрації вхідних та вихідних повітряних мас з урахуванням вимог дезинфекції від біологічно активних часток SARS-CoV-2 та загальних превентивних санітарно-епідеміологічних норм;
- збільшення вхідного об'єму повітряних мас до 20-30 м³/год на одну людину відповідно до вимог європейського стандарту EN13779;
- мінімізація часових витрат для діагностики роботи програмно-апаратного комплексу;
- оптимізація витрат електроспоживання;
- підвищення якості житлових умов відвідувачів підприємств гостинності з урахуванням індивідуальних потреб;
- оптимізація віддаленого моніторингу та керування ІС з використанням хмарних технологій.

2.1.2 Аналіз стейкхолдерів та користувачів ІС

Стейкхолдерами при проєктуванні архітектури ІС управління кондиціонуванням виступають керівна ланка керування підприємством гостинності – власник та адміністратори, а також директор з технічного обслуговування та фінансовий директор. Кожен із стейкхолдерів має власну мотивацію до формування ІС, яка включає заходи матеріальної та технічної оптимізації поточного стану комплексу управління кондиціонуванням.

Користувачі системи – персонал та гості підприємства гостинності, команда спеціалістів з інформаційних технологій, відповідальні за розробку та технічну підтримку супроводу ІС. Персонал підприємства гостинності включає адміністраторів, покоївок, інженерів та директора технічного обслуговування, за наявності – офіціантів, або інших відповідальних осіб організаційної структури, які можуть потребувати взаємодії з системою для забезпечення комфорту гостей. Технічний персонал та інженери відповідають за встановлення, обслуговування та ремонт кондиціонерів. Команда ІТ-фахівців мають доступ до програмно-апаратного комплексу на стадіях розробки, впровадження та першочергової технічної підтримки ІС. Надалі користування ІС для цієї категорії користувачів може бути обмежено згідно до договору співпраці виключно операціями планового контролю роботи системи.

2.1.3 Аналіз атрибутів якості ІС та побудова Utility Tree

Архітектурне проектування ІС управління кондиціонуванням для підприємства гостинності передбачає АТАМ-аналіз впливу основних атрибутів якості розробки програмно-апаратного комплексу. Результатом аналізу з використанням методу АТАМ є побудова діаграми Utility Tree (рисунок 2.1).

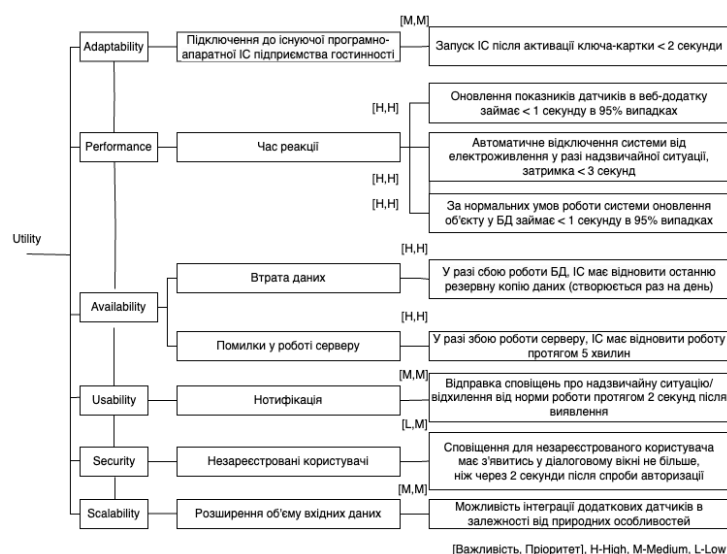


Рисунок 2.1 – Utility Tree

2.2 Документування інтегрованої ІС управління кондиціонуванням з використанням методу 4+1

2.2.1 Розробка логічного представлення MVP-системи

Було прийнято рішення розробки MVP – мінімально життєздатного продукту, який дозволить реалізувати систему, придатну для користування, у мінімальний термін.

На рисунку 2.2 зображено ER-діаграму, спроектовану відповідно до розподілення атрибутів основних сутностей.

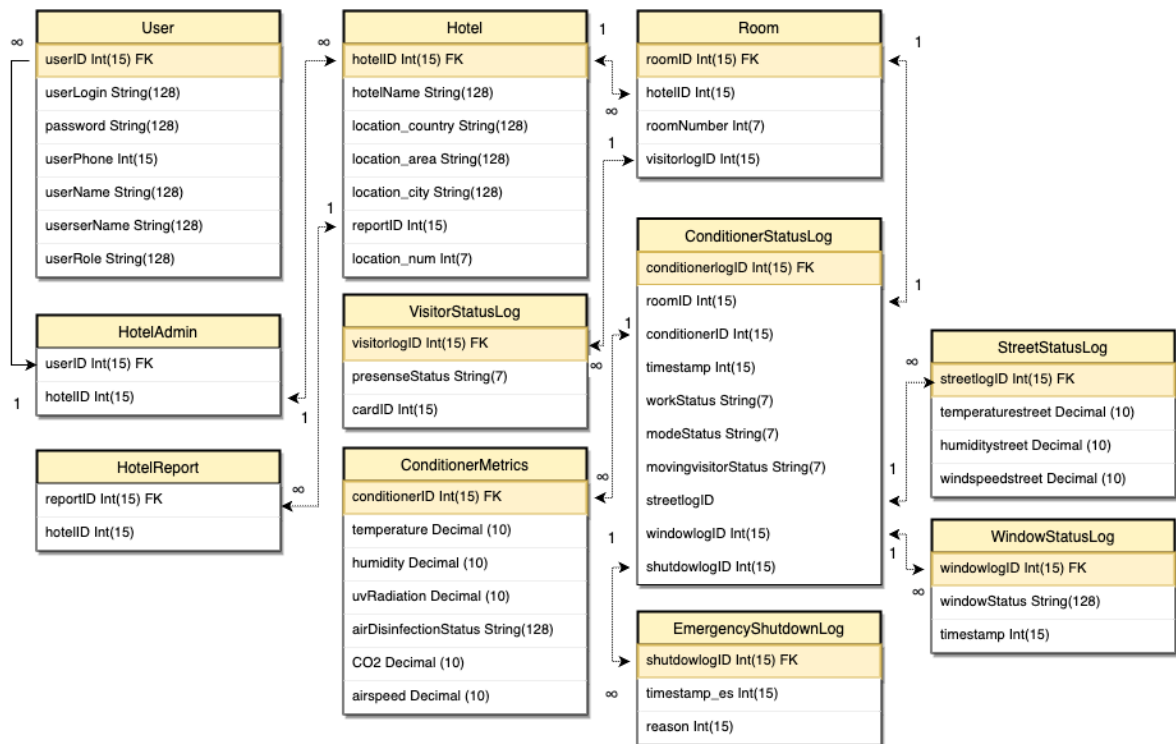


Рисунок 2.2 – ER-діаграма

Сутності зображені на діаграмі:

- User – містить інформацію про користувача, основні дані для входу, роль – рівень доступу до ІС ;
- HotelAdmin – містить інформацію про підприємство гостинності та дані адміністратора;

- HotelReport – містить інформацію про підприємство гостинності та звіти, які можуть бути реалізовані на основі вхідних даних;
- Hotel – містить адресну інформацію про підприємство гостинності;
- Room – містить інформацію про готельний номер та відвідувачів, які в ньому проживають;
- VisitorStatusLog – містить інформацію про відвідувачів підприємства гостинності, дані їх ключ-карток;
- ConditionerStatusLog – містить дані системні дані кондиціонера в готельному номері;
- ConditionerMetrics – містить дані про метрики, які відслідковуються за допомогою вбудованих датчиків в систему кондиціонування;
- EmergencyShutdownLog – містить дані про аварійні відключення;
- StreetStatusLog – містить дані зовнішніх датчиків системи;
- WindowStatusLog – містить дані про природне кондиціонування – положення кватирок.

Інформаційна система зберігає в РБД наступну інформацію:

- вхідні та вихідні дані від зовнішніх та внутрішніх датчиків;
- дані користувацьких налаштувань;
- дані аварійних відключень;
- дані резервних копій;
- дані про сформовані звіти.

2.2.2 Опис представлення реалізації інтегрованої ІС

Компоненти ІС управління кондиціонуванням використовують комплексні ресурси обчислювальних вузлів, тому мають бути представлені на різних платформах та підтримувати взаємодію через мережу зв'язку. Складність реалізації та розгортання системи провокує використання розподіленої архітектури для реалізації кінцевої ІС. Загальна архітектура системи має поєднувати реалізацію клієнт-серверних та хмарних мікросервісних компонентів [9].

Архітектура клієнт-сервер передбачає обробку на сервері запитів від клієнтських пристроїв та веб-інтерфейсу (рисунок 2.3).

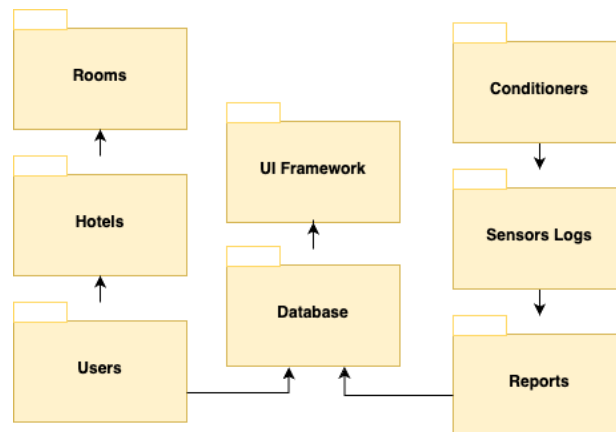


Рисунок 2.3 – Діаграма пакетів

Клієнтські пристрої включають прилади кондиціонування, пульти управління, пристрої збору даних, компоненти, призначені для управління кліматичними системами. Збір даних з приладів контролю вентиляції та кондиціонування виконує місцевий блок контролю даних – локальний сервер. Локальний сервер виступає у якості агрегатора та відповідає за першочергову обробку вхідних даних та їх сховище.

Обов'язковою умовою виступає наявність рішення для модуля контролю та аналізу вхідних даних в ІС управління кондиціонуванням. Вбудований модуль аналізу даних дозволить уникнути необхідності додаткового придбання ПЗ, підвищить надійність загальної системи за рахунок гнучкості використаних технологій, налагодження єдиної та неподільної архітектури з урахуванням наявної ІС в підприємстві гостинності.

Модуль має бути представлений у вигляді мобільного та веб-додатків, оскільки, потік даних є безперервним, а загальна система має виступати інтегрованим рішенням для комплексної системи управління підприємством гостинності. Найбільш адаптивним рішенням є використання мікросервісної архітектури на основі хмарних технологій. Мобільний та веб- додатки виступають складовими веб-інтерфейсу зі сторони клієнта, які також взаємодіють із локальним та хмарним серверами, мікросервісами через API.

Додатки клієнтського веб-інтерфейсу, а також локальний сервер надсилають запити на хмарний сервер для отримання даних про стан системи, налаштування користувацьких параметрів. Таким чином, серверна частина реалізації ІС зможе координувати доступ до даних та комплексно керувати клімат-системою номерів підприємства гостинності.

Мікросервісна архітектура з використанням хмарних рішень дозволить:

- забезпечити масштабованість системи в залежності від потреб – додавання нових пристроїв, переліку готелів без значних змін в інфраструктурі;
- оптимізувати роботу кліматичних систем і знизити енергоспоживання за рахунок централізованої аналітики, обумовленою використанням більш потужних інструментів аналізу даних, системою створення звітів.

2.2.3 Огляд представлення процесів інтегрованої ІС

З метою візуального моделювання потоку логіки в ІС управління кондиціонуванням в підприємствах гостинності розроблено діаграми послідовності UML. На діаграмах послідовності показана взаємодію об'єктів, можливі обробки виключень або помилок.

У додатку А наведена таблиця А.1, яка містить опис вихідних повідомлень ІС управління кондиціонуванням; опис структурних одиниць вихідних повідомлень наведено у таблицях А.2-А.5.

Розроблена діаграма послідовності для процесу «Авторизація» наведена на рисунку 2.4.

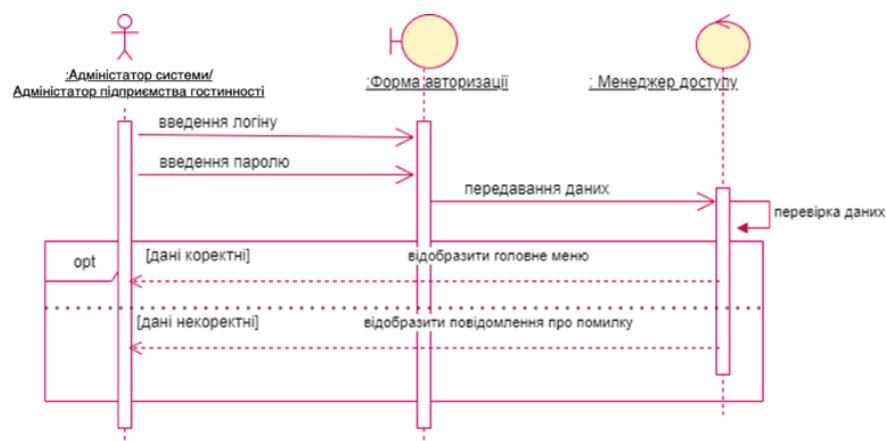
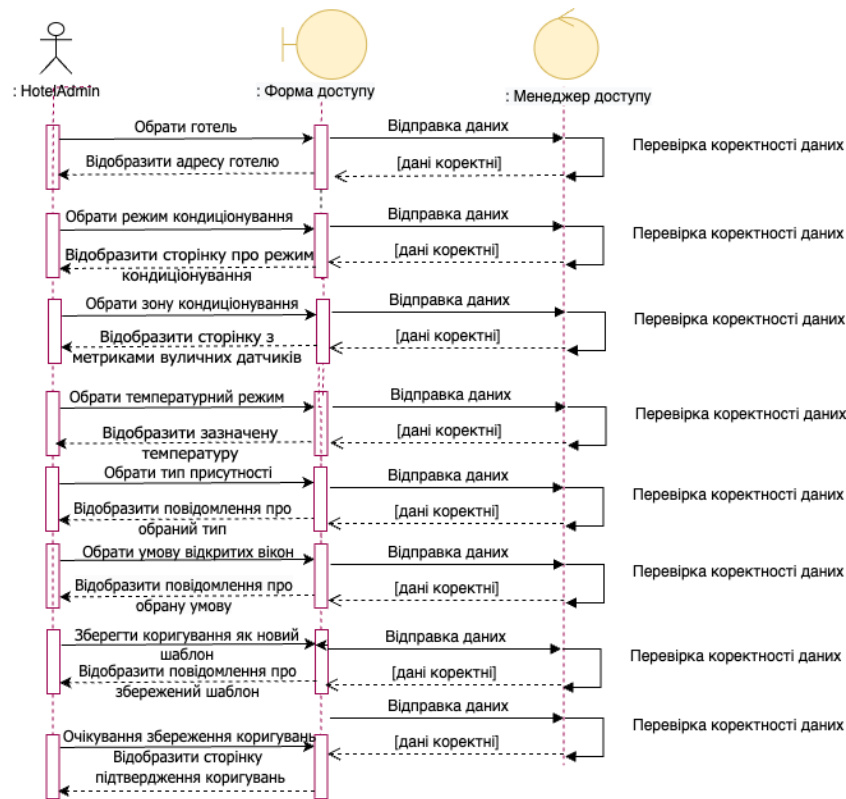


Рисунок 2.4 – Діаграма послідовності для процесу «Авторизація»

Діаграма послідовності для процесу «Налаштування ручного терморезиму за зоною» в ІС управління кондиціонуванням в підприємствах гостинності наведена на рисунку 2.5.



Рисунк 2.5 – Діаграма послідовності для процесу «Налаштування ручного терморезиму за зоною» в ІС

2.2.4 Опис розгортання інтегрованої ІС

Діаграма розгортання ІС управління кондиціонуванням для підприємств гостинності включає основні компоненти системи кліматичного контролю. Взаємодія між компонентами забезпечується за рахунок обміну HTTP-запитів із серверною частиною системи. Топологія системи передбачає обов'язкове Інтернет-з'єднання для кожного вузла ІС – серверних частин системи, WEB-додатку, мобільний додатку та апаратного комплексу приладів кондиціонування (рисунк 2.6).

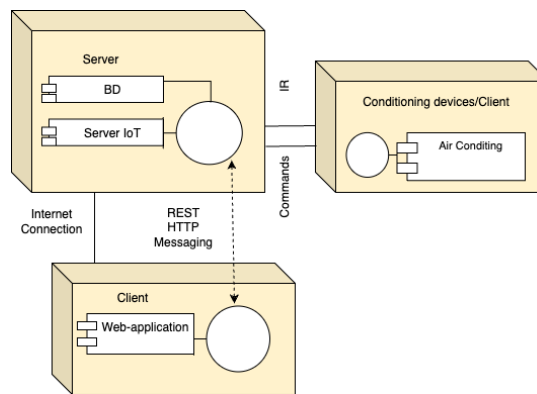


Рисунок 2.6 – Діаграма розгортання

2.2.5 Опис реалізованих функціональних процесів в архітектурі ІС

Реалізовані функціональні процеси в архітектурі ІС були представлені на діаграмі прецедентів. Візуалізована діаграма використання надає повне представлення завдання ІС управління кондиціонуванням, а також описує функціональне призначення системи в графічному вигляді.

Серверна частина ІС дозволяє оброблювати запити, які надходять від адміністратора підприємства гостинності або інших потенційних користувачів. Сервер надає користувачам необхідну інформацію шляхом обробки вхідних запитів. Діаграма прецедентів для актора «Користувач» зображена на рисунку 2.7.

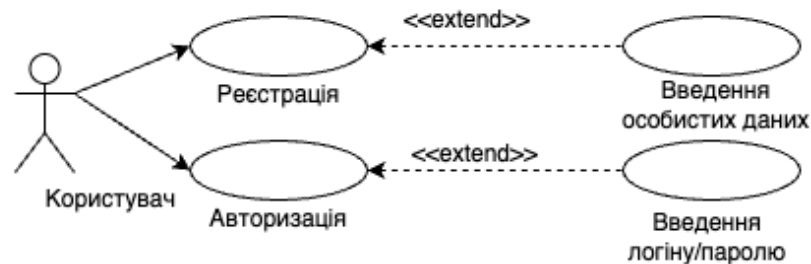


Рисунок 2.7 – Діаграма варіантів використання для актора «Користувач»

Акторами системи були представлені:

- адміністратор системи;
- адміністратор готелю або іншого типу підприємства гостинності.

Діаграма прецедентів для актора «Адміністратор системи» зображена на рисунку 2.8.

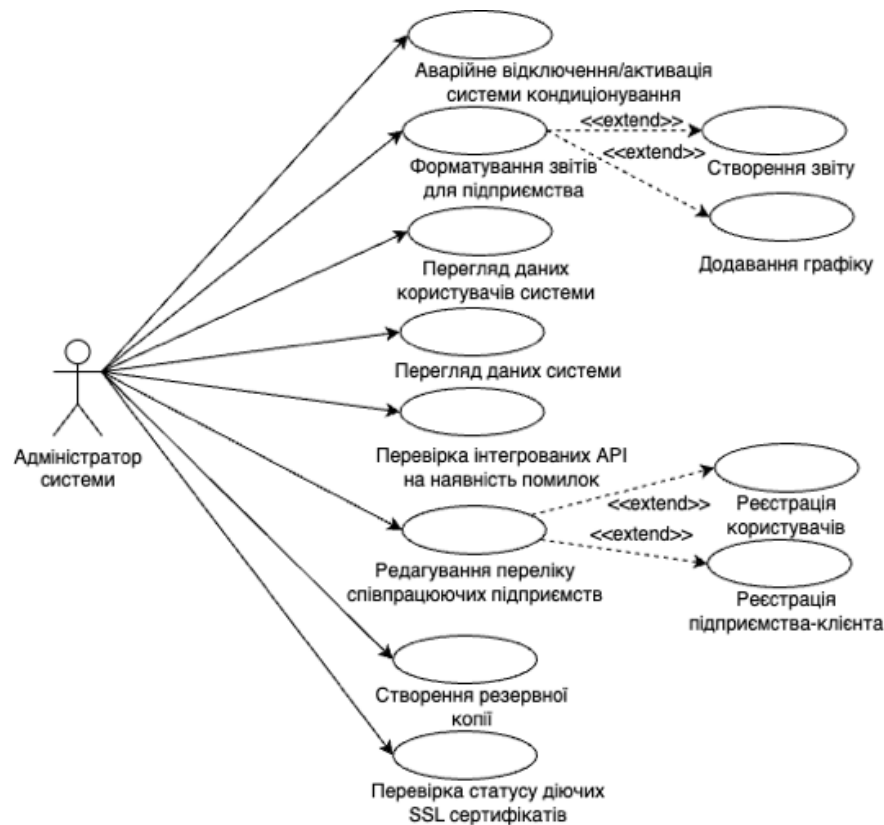


Рисунок 2.8 – Діаграма варіантів використання для актора «Адміністратор системи»

Адміністратор ІС має доступ до серверної частини ІС, яка передбачає обробку наступних функцій:

- аварійне відключення або активація ІС контролю кондиціонуванням;
- форматування звітів для підприємств гостинності;
- перегляд даних користувачів системи;
- перегляд даних системи;
- перевірка інтегрованих API на наявність помилок – картка-ключ;
- редагування переліку співпрацюючих підприємств гостинності;
- створення резервної копії та контроль версій;
- перевірка статусу діючих SSL сертифікатів.

Діаграма прецедентів для актора «Адміністратор готелю» зображена на рисунку 2.9.

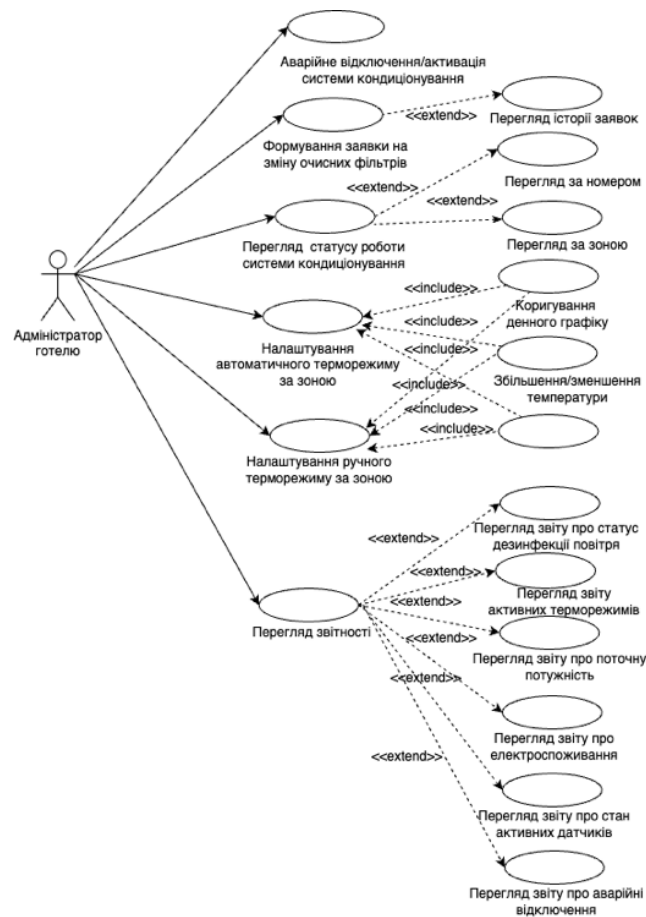


Рисунок 2.9 – Діаграма варіантів використання актора «Адміністратор готелю»

Адміністратор готелю є основним користувачем ІС управління кондиціонуванням. Доступний функціонал дозволяє виконувати:

- формування заявки на зміну очисних фільтрів;
- аварійне відключення або активацію ІС;
- перегляд статусу роботи системи кондиціонування;
- налаштування автоматичного терморежиму за зоною;
- налаштування ручного терморежиму за зоною;
- перегляд звітності – звіт про статус дезинфекції повітря, звіт активних терморежимів, звіт поточної потужності, звіт електроспоживання, звіт стану активних датчиків, звіт аварійних відключень.

3 РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ ІС УПРАВЛІННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯМ

3.1 Апаратна частина системи

Структурна схема пристрою приведена на рисунку 3.1.

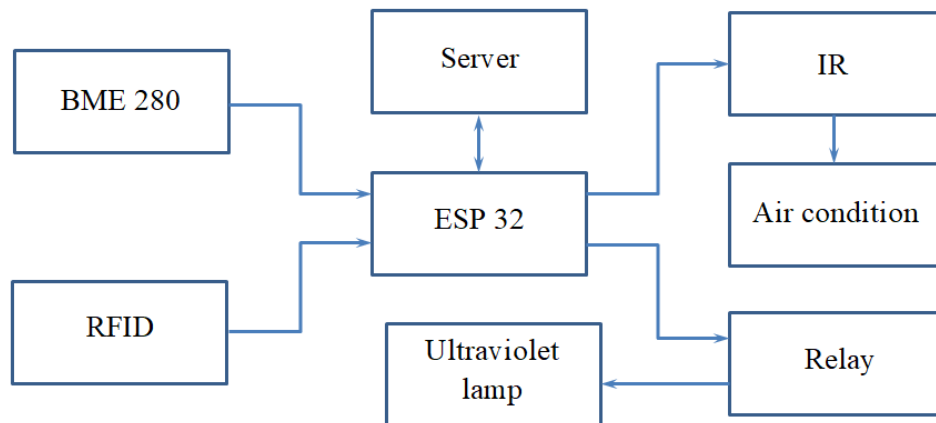


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою

Розглянувши структурну схему пристрою бачимо, що він складається з наступних блоків:

– блок ESP32, розроблений код завантажуюмо на плату ESP32. ESP32 виконує збір даних з датчика BME 280 та RFID модуля, керує роботу кондиціонера через інфрачервоний інтерфейс за допомогою модуля IR, та виконує керування ультрафіолетовою лампою для очищення повітря в приміщенні за допомогою модуля Relay, отримує та відправляє дані про стан клімату в приміщенні до серверу. Більш детальнішу роботу пристрою розглянемо в розділі 3.2 та програмну частину пристрою;

– блок BME 280 – цифровий датчик температури та вологості;

– блок RFID – RFID модуль використовується для зчитування RFID-міток, в нашому випадку клієнти мають доступ до кімнати за допомогою RFID-картки, що дає нам змогу відстежити в приміщенні людину;

– блок IR – модуль інфрачервоного передавача, в нашому випадку використовується для керування кондиціонером (Air condition);

- блок Relay – модуль одноканального реле для керування роботи ультрафіолетовою лампи, яка забезпечує очищення повітря в приміщенні;
- блок Server – використовується керування параметрів клімату в приміщенні адміністратором готелю.

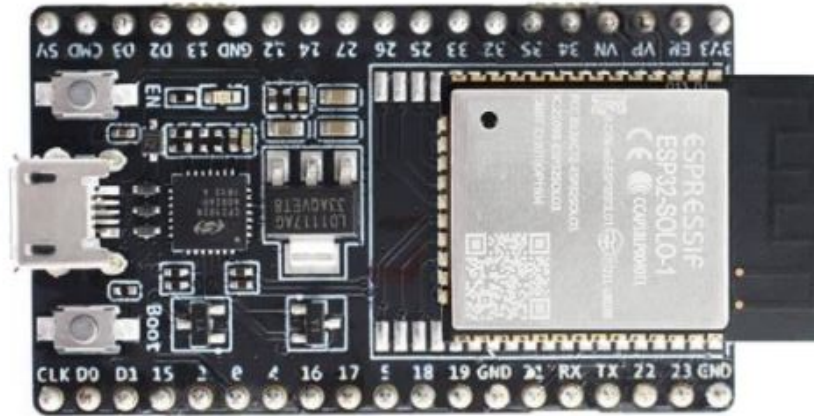


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд плати ESP32

Характеристики ESP32:

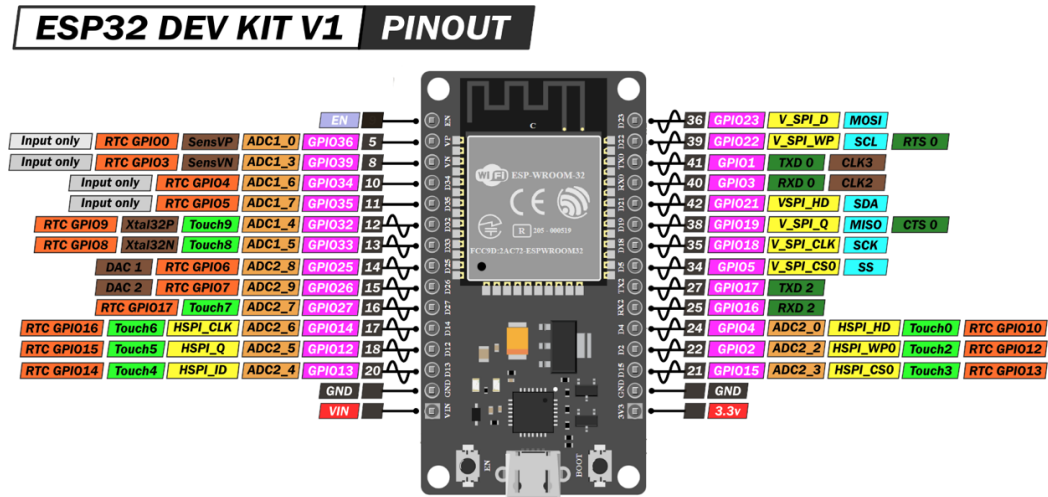
- Bluetooth: «classic» та BLE;
- Wi-Fi: 802.11 b/g/n до 150Мбіт/с;
- мінімальна чутливість -98 dBm;
- діапазон робочих температур: від -40С° до + 125С°;
- USB-UART конвертер: CP2102;
- Wi-Fi Стандарти: FCC/CE/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC;
- протоколи: 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r (802.11n до 150Мбіт/с);
- частотний діапазон: 2.4 ~ 2.5 ГГц;
- GPIO, сенсорний датчик, ADC, DAC, LNA;
- робочий струм: 500 мА (рисунок3.2).

Всього мікроконтролер ESP32 має:

- 18 каналів 12-разрядного АЦП;
- 34 GPIO-портів;
- 3 SPI;
- 3 UART;

- 2 I2C;
- 16 ШІМ виводів;
- 2 8-бітних ЦАП виводів.

На рисунку 3.3 приведено функціональність портів вводу/виводу плати ESP32 DEV KIT V1.



Зовнішній вигляд RFID-модуля та RFID-міток приведено на рисунку 3.5.

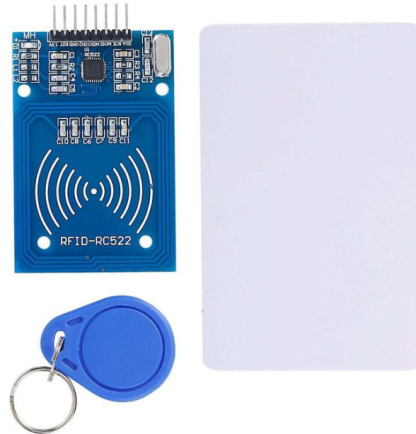


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд RFID-модуля та RFID-міток

На рисунку 3.6 приведено зовнішній вигляд модуля IR-передавача.

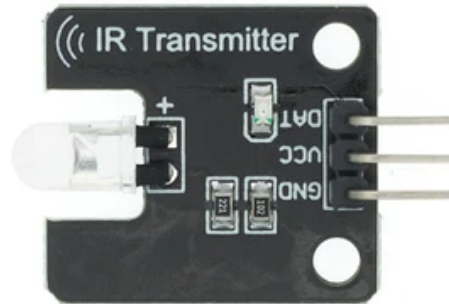


Рисунок 3.6 – Модуль IR передавач

За допомогою модуля IR-передавача ми можемо керувати пристроями, які керуються за допомогою IR-пультів, тобто пристрої які мають IR-приймач. При розробці коду для нашого пристрою ми використовували цифрові послідовності для керування кондиціонером LG DUALCOOL Eco S09EQ, зовнішній вигляд якого приведено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд кондиціонера

Модуль реле одноканальний, напруга керування 5В. Використовується для керування комутацією, в нашому випадку для увімкнення та вимкнення ультрафіолетової лампи. На рисунку 3.8 приведено зовнішній вигляд одноканального реле.

Характеристики одно канального реле:

- струм керування: 15-20мА;
- напруга комутації: до 250В;
- струм комутації: до 10А;
- розміри: 44 мм довжина, ширина 17 мм, висота 17 мм.

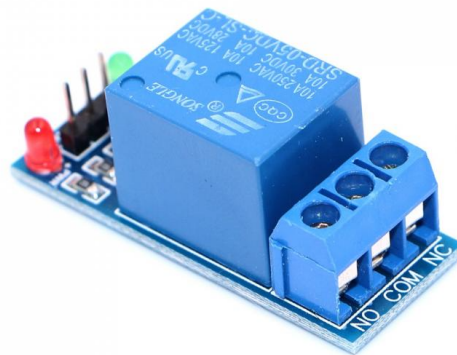


Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд одноканального реле

На рисунку 3.9 приведено зовнішній вигляд ультрафіолетової лампи Q101 20W для очищення повітря в приміщенні.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд ультрафіолетової лампи Q101 20W

3.2 Програмна частина пристрою

Код програми для апаратної частини складається з наступних файлів, які приведені на рисунку 3.10.

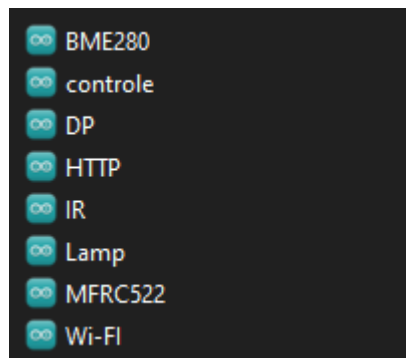


Рисунок 3.10 – Перелік файлів програми для апаратної частини

Коротко розглянемо призначення кожного файлу:

- файл DP, основний файл в якому підключаються всі бібліотеки, які ми використовуємо, оголошуються глобальні змінні та виконується основний код програми;
- файл Wi-Fi, в даному файлі описана функція `checkConectedWifi()`, яка забезпечує перевірку підключення до точки доступу Wi-Fi, у випадку втрати зв'язку дана функція виконує повторне підключення до точки доступу;
- файл BME280 описує функції для зчитування даних з цифрового датчика температури та вологості BME280;
- файл IR, в файлі описані функції для керування кондиціонером;
- файл MFRC522, в файлі описані всі функції для роботи з RFID-мітками;
- файл Lamp, в цьому файлі описані функції для керування реле-модулем, який в свою чергу керує увімкнення та вимкненням ультрафіолетової лампи;
- файл HTTP, в даному файлі описані функції для отримання даних від серверу та відправки даних на сервер;
- файл controle, в даному файлі описана функція, яка забезпечує отримання даних з датчика BME 280 шляхом виклику функцій, описаних в файлі BME280; та відбувається прийняття рішення керуванням кондиціонером, ультрафіолетовою лампою, завдяки порівнянь даних, отриманих від серверу, які встановлює адміністратор та даних клімату кімнати, отриманих від датчика BME280.

Розглянемо бібліотеки, що використовуються в нашому коді для апаратної частини.

`#include <WiFi.h>` – використовується для підключення, відключення до Wi-Fi точки доступу.

`#include <IRremote.h>` – використовується для роботи з IR-передавачем, що забезпечує в нашому випадку керування кондиціонером.

`#include <MFRC522.h>` – використовується для роботи з RFID-модулем, що забезпечує зчитування RFID-міток.

`#include <ArduinoJson.h>` – використовується для роботи з json форматом, забезпечує простоту формування json файлу, та отримання даних з json.

`#include <HttpClient.h>` – використовується для отримання та відправлення HTTP запитів до серверу.

`#include <Adafruit_Sensor.h>`, `#include <Adafruit_BME280.h>` – використовується для роботи з цифровим датчиком BME 280.

Розглянемо детальніше деякі основні DP та HTTP-файли.

В файлі DP, як згадувалось раніше ми підключаємо бібліотеки: `WiFi.h`, `IRremote.h`, `MFRC522.h`, `ArduinoJson.h`, `HttpClient.h`, `Adafruit_Sensor.h`, `Adafruit_BME280.h`.

Та оголошуємо глобальні змінні, наприклад, для встановлення назви точки доступу, до якої будемо підключатись та пароль до неї:

```
const char* ssid = "NastyaGushcha";
const char* password = "NastyaGushchaPassword";
```

В функції `setup()`, яка викликається першою при подачі живлення на плату, ми виконуємо ініціалізацію портів вводу/виводу та інтерфейсів для підключеної периферії, як приклад зв'язок з RFID-модулю відбувається за допомогою SPI інтерфейсу. Виклик функцій для ініціалізації всієї периферії:

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // init Serial port
  irsend.begin(IR_SEND_PIN);   // init IR module
  initRFID();                  // init RFID module
```

```

initLampControl();           // init pin lamp (relay)
WiFi.begin(ssid, password);  //init WiFi
}

```

Після функції `setup()`, викликається функція `loop()` якій виконується основна програма до моменту припинення живлення плати.

В функції `loop()` виконуємо виклик наступних функцій:

```

checkConectedWifi();        //check connection to WiFi
readRFID();                 //check reading RFID card
controle();                 //controle air contidions and ultraviolet lamp
getData();                  //get parametrs for climat
update();                   //send sensors data to server

```

Функція `checkConectedWifi()` перевіряє зв'язок з точкою доступу у випадку втрати зв'язку виконує повторне підключення.

Функція `readRFID()` забезпечує зчитування RFID-мітки та збереження даних мітки.

Функція `getData()`, при виконані даної функції ми робимо GET запит до нашого серверу, у відповідь отримуємо від серверу налаштування в json форматі, на рисунку 3.11 наведено ілюстрований принцип роботи запит відповідь.

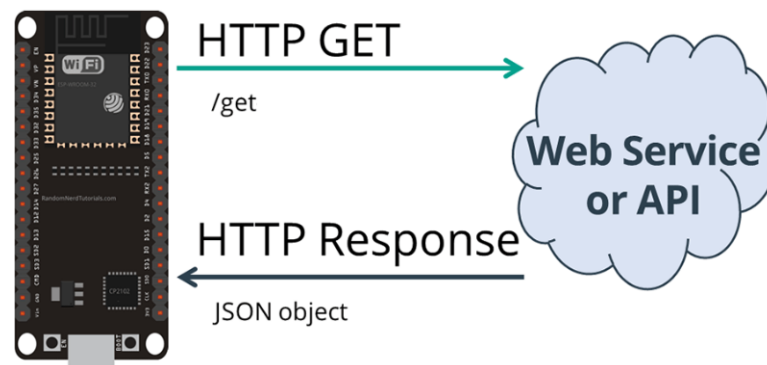


Рисунок 3.11 – Приклад GET запиту та відповіді від серверу

Частина коду яка відповідає за отримання даних з json:

```

DynamicJsonDocument doc(JSON_DOCUMENT_SIZE);
deserializeJson(doc, http.getStream());
setTemperature = doc["temperature"].as<float>();

```

```

setHumidity = doc["humidity"].as<float>();
setFan = doc["fan"].as<boolean>();
setFanAuto = doc["auto"].as<boolean>();
setLamp = doc["lamp"].as<boolean>();

```

Функція `update()`, при виконанні функції ми відправляємо на сервер дані про кліматичний стан кімнати. До серверу відправляємо дані за допомогою HTTP POST-методу, сформовані дані ми відправляємо в json форматі.

На рисунку 3.12 наведено принцип надсилання даних до серверу.

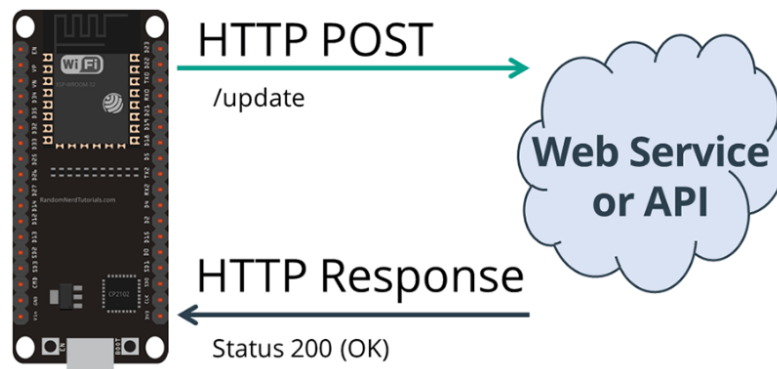


Рисунок 3.12 – Надсилання даних до серверу за допомогою HTTP POST методу

Приклад надісланих даних до серверу:

```

{
  "state": {
    "reported": {
      "wifiRSSI": "-52",
      "sensors": {
        "Humidity": "30",
        "Temperature": "24",
        "Lamp": "On"
      }
    }
  }
}

```

3.2 Веб-серверна частина веб-додатку

На рисунку 3.13 приведена структурна схема Web-Application, зі схеми бачимо що Web-Application приймає HTTP-запити від пристроїв, що розташовані в номерах готелю та зберігає отримані данні в базі даних. У випадку зміни параметрів клімату в номері готелю додаток відправляє HTTP-відповідь до пристрою на базі мікроконтролера ESP32.

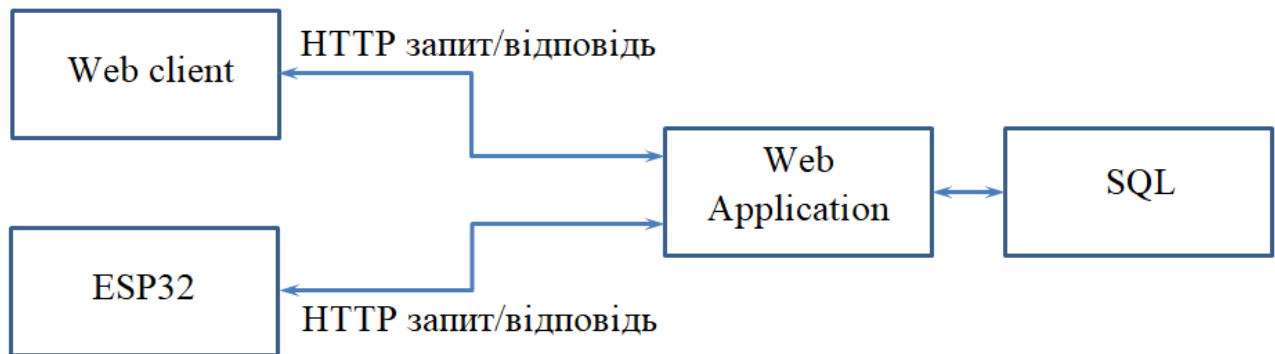


Рисунок 3.13 – Структурна схема Web-Application

Адміністратор встановлює параметри клімату через браузер, надсилаючи запит до додатку, після чого додаток додає оновлені дані до бази даних. Також адміністратор має можливість отримати поточні параметри клімату в конкретному номері в готелю.

При розробці додатку було використано наступні фреймворки (framework), та інструменти: Spring Boot, Liquibase, MapStruct, lombok.

Spring Boot – це фреймворк для розробки Java-додатків, який базується на іншому популярному фреймворку Spring. Spring Boot надає спрощений спосіб створення самостійних, готових до використання додатків на основі Spring.

Основні особливості Spring Boot:

- спрощена конфігурація: Spring Boot забезпечує конфігурацію за замовчуванням для багатьох різних бібліотек і технологій. Це означає, що вам не завжди потрібно вказувати деталі конфігурації, оскільки багато речей визначаються автоматично;

- вбудований сервер: Spring Boot включає вбудовані сервери (такі як Tomcat, Jetty або Undertow), що дозволяє запускати додатки як самостійні виконувані файли без необхідності розгортання зовнішнього сервера;

- управління залежностями: Spring Boot використовує систему управління залежностями Maven або Gradle для автоматичного вирішення залежностей та включення необхідних бібліотек;

- Spring Boot Starter: це набір залежностей, який можна використовувати для включення певного функціоналу у ваш додаток. Наприклад, `spring-boot-starter-web` додає залежності для розробки веб-додатків;

- автоматичне конфігурування: Spring Boot може автоматично конфігурувати багато речей за допомогою механізму "Convention over Configuration". Ви можете перевизначити цю конфігурацію за необхідності.

Liquibase – це інструмент для управління версіями баз даних. Він дозволяє розробникам та адміністраторам баз даних визначати та відстежувати зміни у схемі бази даних в процесі розвитку програмного забезпечення. За допомогою Liquibase можна визначати міграції баз даних у вигляді коду, який може бути контрольований версіями, використовуючи такі зміни як створення таблиць, додавання стовпців, зміна типів даних та інші.

Основні концепції та можливості Liquibase включають:

- changelog (журнал змін): файл або набір файлів, що містять опис змін в базі даних. Кожен файл містить один або кілька "тегів" для визначення змін.

- changeset (змінний набір): опис конкретної зміни в базі даних, яка має бути застосована. Кожен changeset має унікальний ідентифікатор і може містити SQL-запити або код для внесення змін.

- командний рядок та інтеграція з іншими інструментами: Liquibase надає командний рядок та API для інтеграції з іншими інструментами розробки, такими як Maven, Gradle, Ant тощо.

- підтримка різних систем управління базами даних: Liquibase підтримує різні системи управління базами даних, такі як MySQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server, H2, та інші.

– версіювання та розгалуження: Liquibase дозволяє визначати версії та вести розгалуження змін баз даних, що полегшує управління розвитком та тестуванням.

Liquibase допомагає автоматизувати і контролювати процеси змін в базах даних, забезпечуючи стабільну та керовану еволюцію схеми бази даних в розробці програмного забезпечення.

На рисунку 3.14 приведено використання головного файлу Liquibase в нашому додатку.

```
databaseChangeLog:
  - include:
      file: db/changelog/changes/01-create-room-table.yaml
  - include:
      file: db/changelog/changes/02-insert-rooms.yaml
```

Рисунок 3.14 – Головний файл Liquibase

Файл 01-create-room-table.yaml використовуємо для створення таблиці «rooms», на рисунку 3.15 приведена частина вмісту файлу 01-create-room-table.yaml.

```
databaseChangeLog:
  - changeSet:
      id: create-room-table
      author: gushcha
      changes:
        - createTable:
            tableName: rooms
            columns:
              - column:
                  name: id
                  type: bigint
                  autoIncrement: true
                  constraints:
                    primaryKey: true
                    nullable: false
              - column:
                  name: temperature
                  type: varchar(255)
                  constraints:
                    nullable: false
```

Рисунок 3.15 – Файл 01-create-room-table.yaml

Файл 02-insert-rooms-table.yaml використовуємо для додавання до бази даних два запису для кімнати, на рисунку 3.16 приведено зміст файлу.

```

- changeSet:
  id: insert-rooms
  author: gushcha
  changes:
    - insert:
      tableName: rooms
      columns:
        - column: {name: temperature, value: "22"}
        - column: {name: humidity, value: "25"}
        - column: {name: lamp, value: "off"}
        - column: {name: rfid, value: "D59A04246F0804006263646566676869"}
    - insert:
      tableName: rooms
      columns:
        - column: {name: temperature, value: "23"}
        - column: {name: humidity, value: "30"}
        - column: {name: lamp, value: "on"}
        - column: {name: rfid, value: "D69AA4246F0804006263B46566676869"}

```

Рисунок 3.16 – Файл 02-insert-rooms-table.yaml

Файли для Liquibase необхідно розміщувати в директорій «resources» на рисунку 3.17 приведено розміщення файлів.

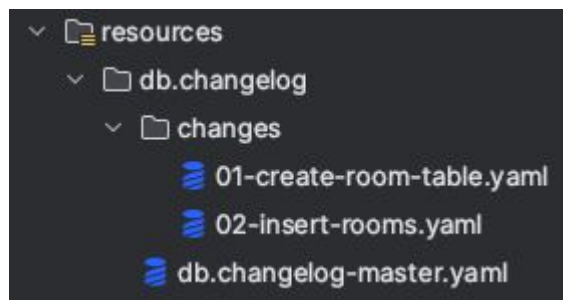


Рисунок 3.17 – Розміщення файлів Liquibase

MapStruct – це фреймворк для генерації коду мапінгу (перетворення) між Java-об'єктами. Головна ідея MapStruct полягає в тому, щоб автоматизувати процес створення коду для копіювання даних між об'єктами різних типів, зменшуючи необхідність вручну написаного коду мапінгу.

Основні особливості та переваги MapStruct:

- простота використання: MapStruct надає простий та зрозумілий спосіб визначення мапінгу за допомогою анотацій;
- генерація ефективного коду: MapStruct генерує оптимізований та ефективний код мапінгу, що сприяє покращенню продуктивності;

- автоматична валідація: фреймворк забезпечує автоматичну валідацію мапінгу та генерацію відповідних помилок на етапі компіляції;
- підтримка різних типів мапінгу: MapStruct підтримує мапінг між об'єктами різних типів, включаючи примітиви, колекції, вбудовані типи та інші;
- розширюваність: MapStruct дозволяє створювати власні конвертери та визначати специфічні правила мапінгу для коду;
- підтримка кастомних методів: можливість визначення власних методів для мапінгу, що дозволяє забезпечувати власну логіку при необхідності.

При використанні MapStruct, ви описуєте інтерфейси або класи-маркери з анотаціями, та фреймворк генерує код для реалізації мапінгу за цими правилами. Це значно спрощує процес розробки, особливо при наявності складних моделей даних або DTO (Data Transfer Object).

Lombok – бібліотека для Java, яка спрощує розробку шляхом автоматизації створення рутинного коду. Головна ідея Lombok полягає в тому, щоб дозволити розробникам уникнути написання багато шаблонного та рутинного коду, такого як гетери, сетери, конструктори, методи «equals()», «hashCode()», та інші, за допомогою анотацій.

Деякі основні анотації Lombok включають:

- @Data: генерує методи «toString()», «equals()», «hashCode()», гетери та сетери для всіх полів класу;
- @Getter/@Setter: генерує гетери або сетери для полів класу;
- @NoArgsConstructor/@RequiredArgsConstructor/@AllArgsConstructor: генерує конструктори без аргументів, конструктори з обов'язковими аргументами або конструктори з усіма аргументами відповідно;
- @Builder: Генерує патерн Builder для створення об'єктів з багатьма полями;
- @Slf4j: Автоматично додає логгер (наприклад, SLF4J) у клас;
- @EqualsAndHashCode: Генерує методи «equals()» та «hashCode()»;
- @Value: Створює незмінний (immutable) клас, забезпечуючи гетери, метод «equals()», «hashCode()» та «toString()».

Використання Lombok може значно скоротити кількість коду, яку необхідно написати, та полегшити його підтримку. Однак важливо бути уважним при використанні Lombok, оскільки він може впливати на читабельність коду та може призвести до труднощів у розумінні, як працює ваш код, для тих, хто не знайомий із бібліотекою.

Для взаємодії з пристроями які керують кліматом в номерах ми створили окремий контролер «RommController». Контролер «RommController» забезпечує отримання налаштувань для пристрою, отримання даних від пристрою, на рисунку 3.18 приведено функції контролеру.

```
@PostMapping(value = @"/update/{id}")
public RoomDto updateRoom(@PathVariable Long id, @RequestBody RoomRequestDto requestDto) {
    return roomService.updateById(requestDto, id);
}

@GetMapping("/{id}")
public RoomDto getBookById(@PathVariable Long id) { return roomService.getById(id); }
```

Рисунок 3.18 – Функції контролеру RommController

Тестування роботи додатку проводили за допомогою Postman, на рисунку 3.19 приведено тестування отримання даних від серверу для встановлення параметрів клімату для пристрою керування кліматом.

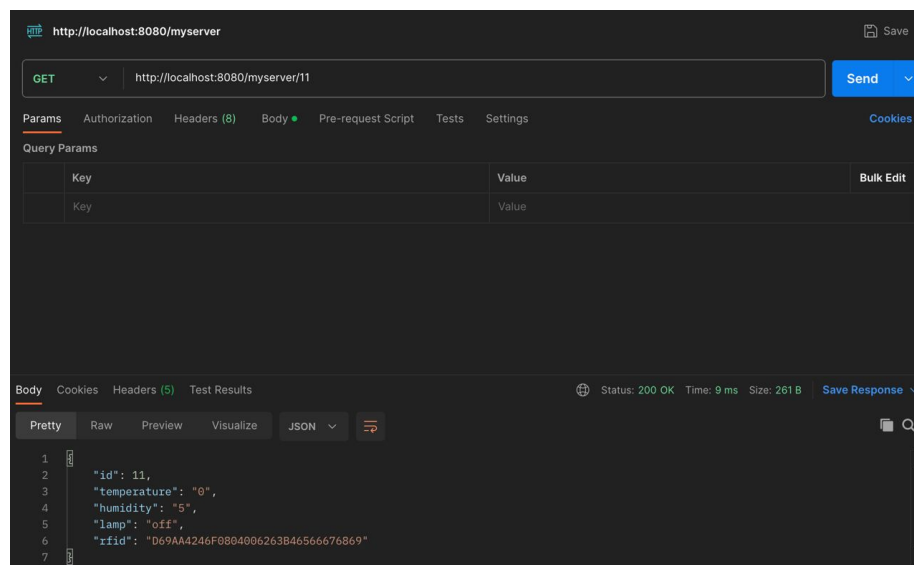


Рисунок 3.19 – Отримання даних від серверу для пристрою

Бачимо, що отримали встановлення температури на 0, вологості на 5, ультрафіолетова лампа вимкнута, та номер карти клієнта для доступу до кімнати.

На рисунку 3.20 приведено тестування відправки даних клімату з пристрою до серверу.

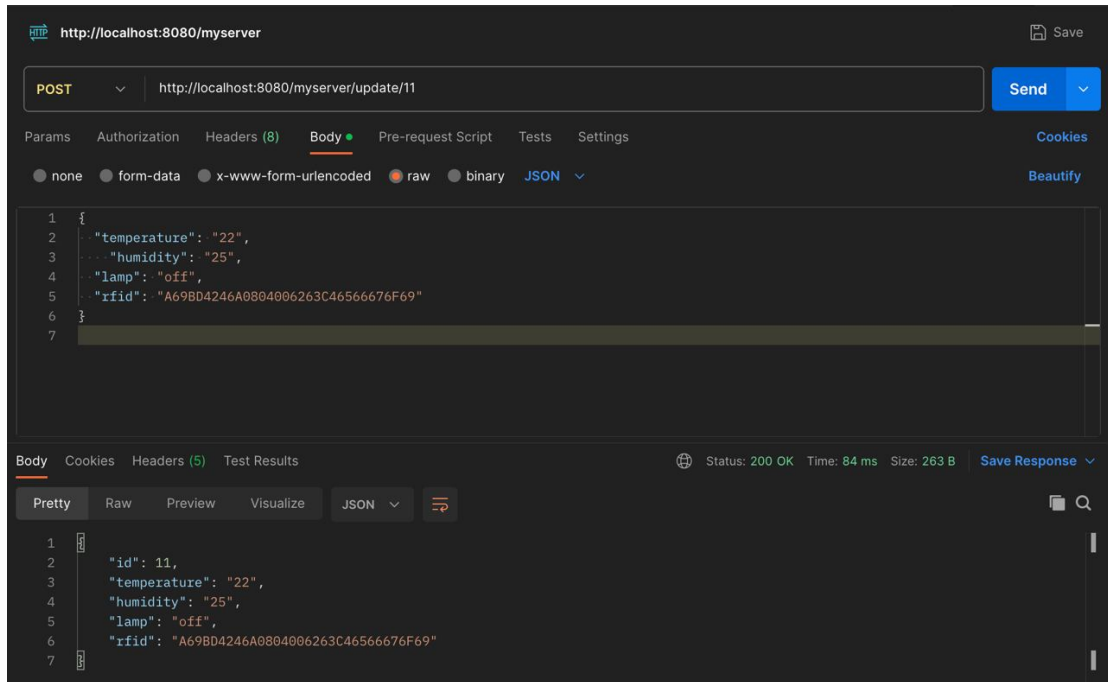


Рисунок 3.20 – Відправка даних з пристрою до серверу

Обмін даними між пристроєм та сервером відбувається в JSON-форматі.

Для відображення веб-сторінок адміністратору створили шаблони для відображення даних про клімат в кімнаті та можливість керувати параметрами клімату додавання та видалення кімнат з бази даних.

Всі шаблони веб-сторінок знаходяться в директорії «templates», на рисунку 3.21 приведена директорія з переліком файлів шаблонів веб сторінок.

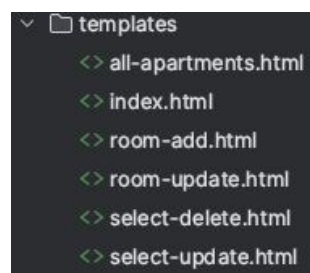


Рисунок 3.21 – Перелік шаблонів веб-сторінок

Для взаємодії з веб сторінками створили окремий контролер «MainController», на рисунку 3.22 приведена одна із функцій для відображення всіх кімнат.

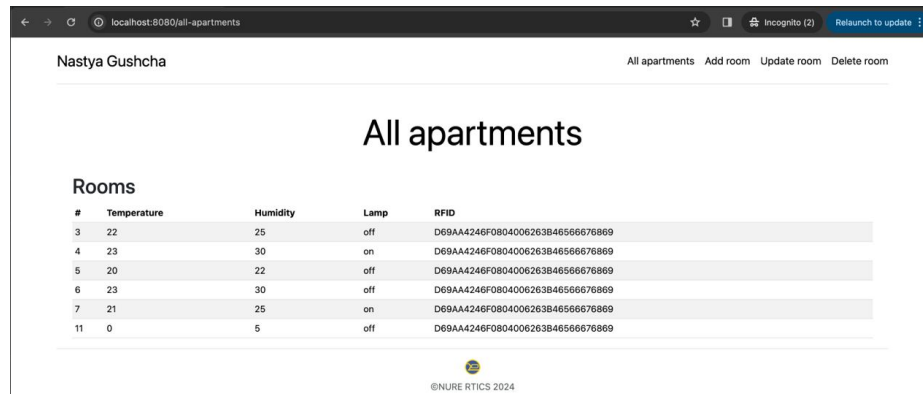
```

@GetMapping("/all-apartments")
public String allApartments(Model model) {
    Iterable<Room> rooms = repository.findAll();
    model.addAttribute("rooms", rooms);
    return "all-apartments";
}

```

Рисунок 3.22 – Функція контролеру для відображення всіх кімнат

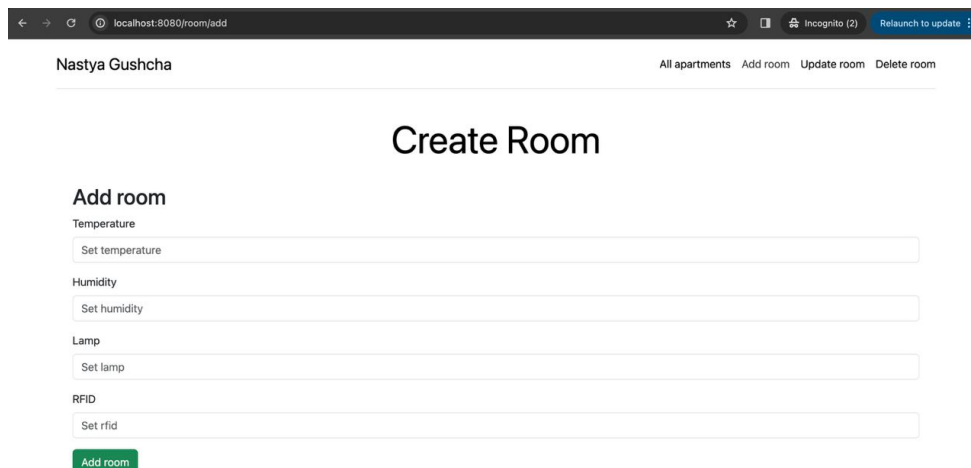
На рисунку 3.23 приведено відображення веб-сторінки для всіх кімнат.



#	Temperature	Humidity	Lamp	RFID
3	22	25	off	D69AA4246F0804006263B46566676869
4	23	30	on	D69AA4246F0804006263B46566676869
5	20	22	off	D69AA4246F0804006263B46566676869
6	23	30	off	D69AA4246F0804006263B46566676869
7	21	25	on	D69AA4246F0804006263B46566676869
11	0	5	off	D69AA4246F0804006263B46566676869

Рисунок 3.23 – Веб-сторінка відображення всіх кімнат

Додана можливість створювати кімнату за допомогою веб-інтерфейсу, на рисунку 3.24 приведено відображення сторінки для створення кімнати.



Create Room

Add room

Temperature
Set temperature

Humidity
Set humidity

Lamp
Set lamp

RFID
Set rfid

Add room

Рисунок 3.24 – Веб-сторінка для створення кімнати з заданими параметрами клімату

Також було додано функціонал оновлення параметрів для клімату з можливістю окремо для кожної кімнати, на рисунку 3.25 приведена веб-сторінка

для вибору кімнати для оновлення параметрів клімату.

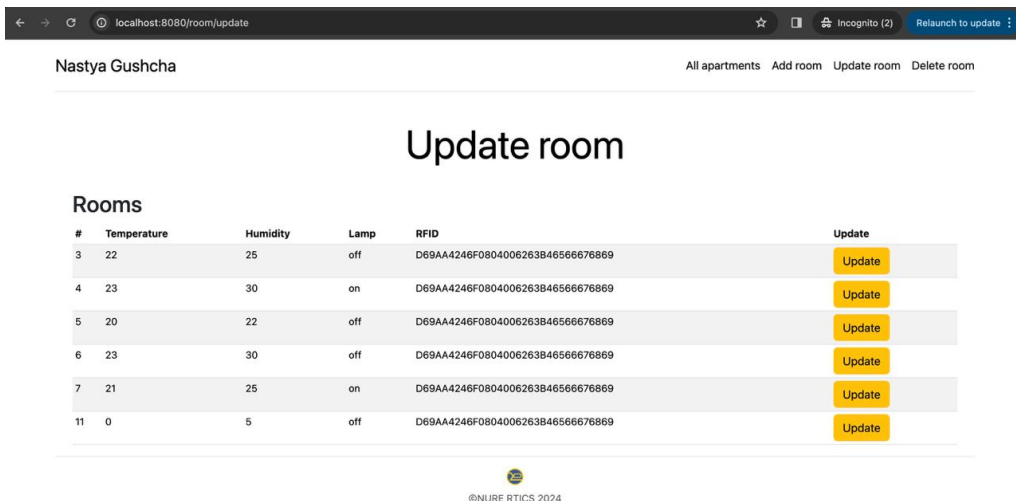


Рисунок 3.25 – Веб-сторінка для вибору кімнати, в якій необхідно змінити параметри клімату

Після вибору кімнати для оновлення параметрів відкривається сторінка для вводу параметрів клімату в кімнаті, на рисунку 3.26 приведено відображення сторінки.

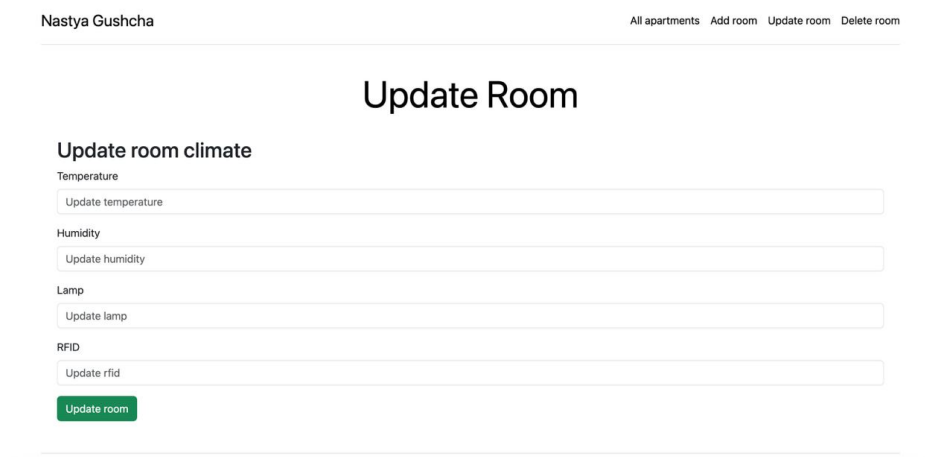


Рисунок 3.26 – Веб-сторінка зміни параметрів кімнату в кімнаті

Для видалення кімнати було додано до контролеру окрему функцію, яка обробляє запит на видалення, на рисунку 3.27 приведено відображення сторінки для вибору кімнати для видалення.

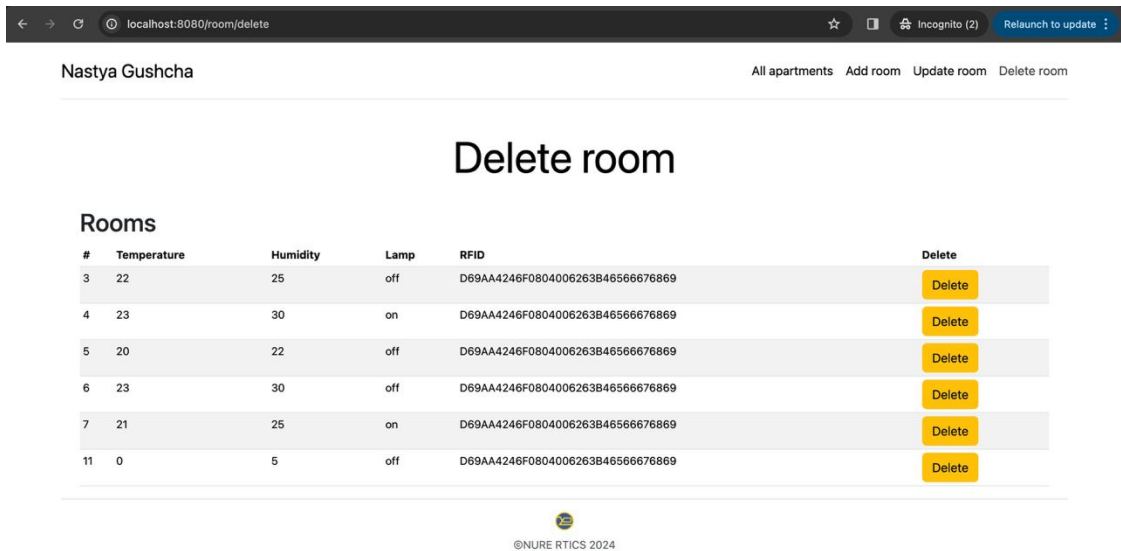


Рисунок 3.27 – Веб-сторінка для видалення кімнати

На рисунку 3.28 приведено головну сторінку нашого веб-додатку.

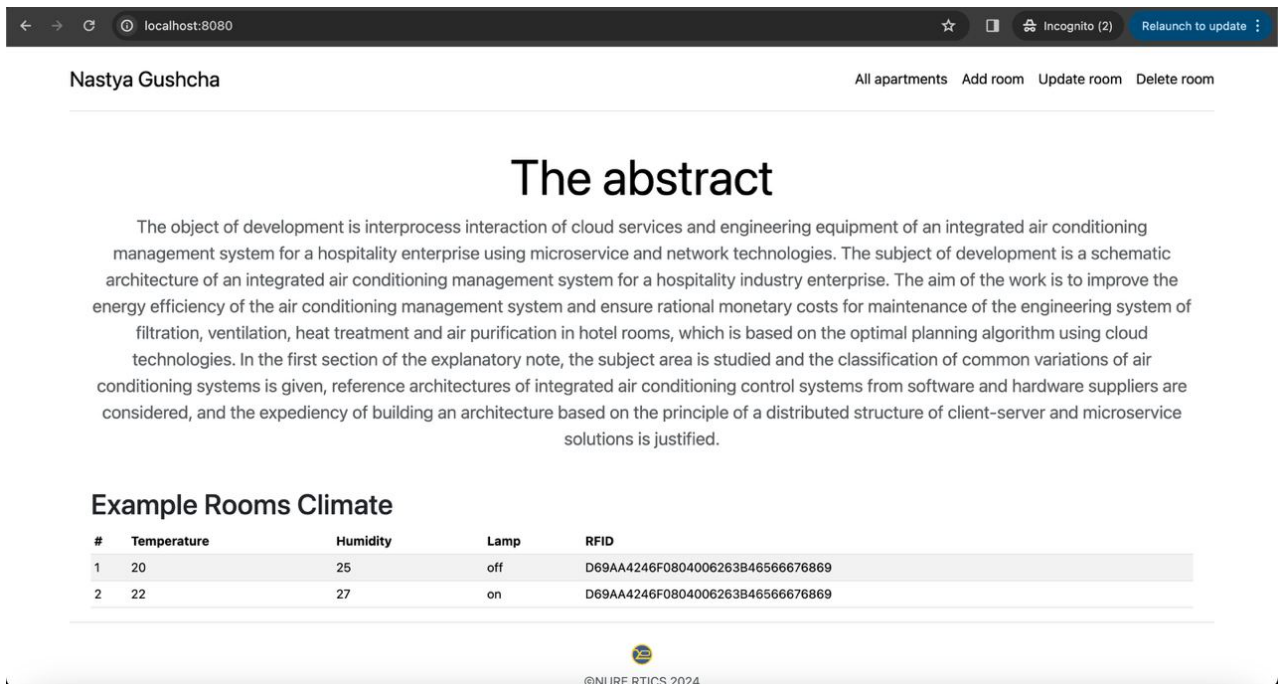


Рисунок 3.28 – Головна веб-сторінка

У випадку неправильного звернення до неіснуючої сторінки, реалізована сторінка-шаблон для помилки «404», на рисунку 3.29 приведено сторінку з помилкою «404».

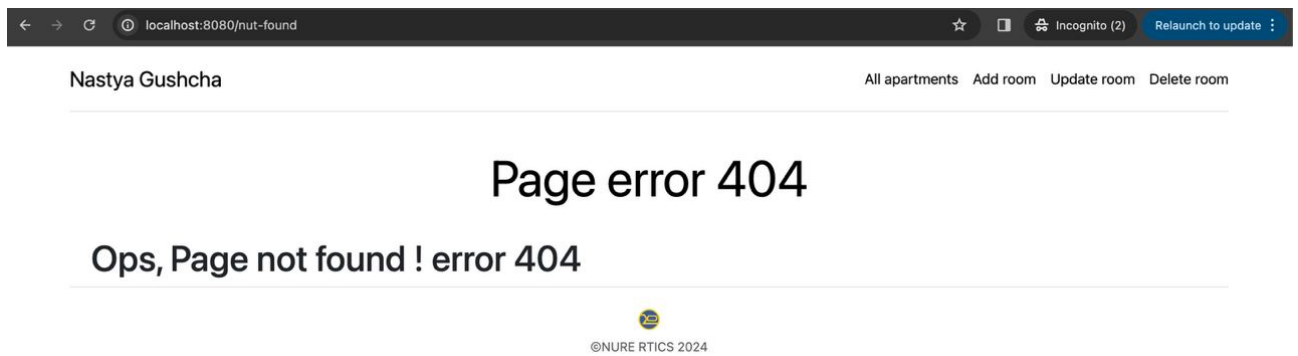


Рисунок 3.29 – Сторінка для відображення помилки «404»

Було розроблено пристрій для керування кліматом в кімнаті. Розроблений пристрій керується віддалено за допомогою розробленого веб-додатку. Отримання параметрів клімату відбувається за допомогою звертання пристрою до серверу за URL: `myserver/id`, на що отримує відповідь в JSON-форматі з параметрами клімату кімнати. Пристрій має датчик температури та вологості, отримані дані пристрій надсилає до серверу за URL: `myserver/update/id`.

Розроблений веб додаток має веб-інтерфейс з наступними сторінками для відображення даних клімату кімнат та керування параметрами:

- «/» – головна сторінка веб додатку рисунок 3.28;
- «/all-apartment» – сторінка відображення всіх кімнат у вигляді таблиці (рисунок3.23);
- «/room/add» – сторінка на рисунку 3.24 для додавання кімнати з параметрами клімату, після успішного додавання кімнати ми потрапляємо на сторінку «/all-apartment» (рисунок3.23);
- «/room/update» – сторінка на рисунку 3.25 відображує всі кімнати для вибору, в яких необхідно оновити параметри клімату, після вибору потрапляємо на сторінку на рисунку 3.26;
- «/room/delete» – сторінка відображення всіх кімнат з можливістю видалення кімнати (рисунок3.27);
- «/room/id/update» – сторінка оновлення параметрів конкретно обраної кімнати зображена на рисунку 3.26, після оновлення ми потрапляємо на сторінку «/all-apartment» (рисунок3.23);

- «/room/id/delete» – видалення обраної конкретної кімнати, після вибору кімнати на сторінці, зображеної на рисунку 3.27, проводиться видалення. Після успішного видалення ми потрапляємо на сторінку «/all-apartment» (рисунок 3.23);
- реалізована сторінка для відображення помилки «404», яка свідчить що ми звертаємось до неіснуючої сторінки (рисунок 3.29).

Таблиця А.1, наведена у додатку А, містить опис структурних одиниць вихідних повідомлень. Частина лістингу наведена у додатку Б (рисунок Б1-Б10).

3.3 Розробка підходів до масштабування додатку

ІС управління кондиціонуванням для підприємств гостинності може бути оптимізована шляхом реалізації з використанням безсерверної архітектури Amazon (рисунок 3.30).

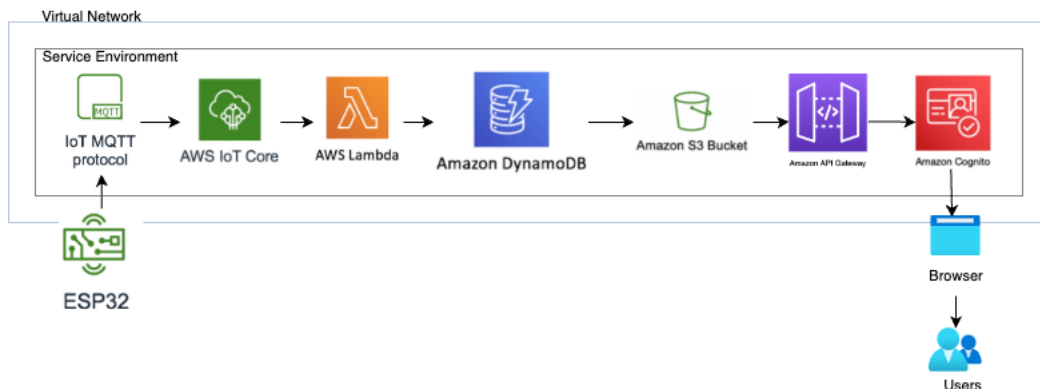


Рисунок 3.30 – Безсерверна архітектура з використанням сервісів Amazon

Архітектурна схема системи кондиціонування готелю, реалізована за допомогою хмарних сервісів Amazon, складається з різних компонентів, які взаємодіють між собою для ефективного управління та моніторингу умов в приміщеннях готелю.

Один із ключових компонентів – сервіс ESP32, який включає в себе різні сенсори та модулі, такі як BME280 для вимірювання температури та вологості, RFID для контролю доступу, IR для управління кондиціонером та Relay для

керування ультрафіолетовою лампою для очищення повітря. Ці дані збираються та передаються до ESP32 Software Service, який відповідає за обробку та передачу даних на AWS IoT Core.

AWS IoT Core service включає компоненти, такі як Device Gateway для обміну повідомленнями між ESP32 та іншими AWS сервісами, Device Shadow для відображення та управління станом пристроїв, та Rules Engine для визначення правил обробки та маршрутизації даних.

AWS Lambda Services використовуються для обробки даних, наприклад, Data Processing Lambda обробляє та аналізує температурні дані та вимірювання вологості, а Alerts Lambda генерує сповіщення про аварії чи події для адміністраторів готелю.

Зберігання даних в системі може бути реалізоване через AWS DynamoDB Service для агрегованих даних та AWS S3 Service для зберігання звітів та аналітичних даних.

API Gateway Service включає в себе Admin API для взаємодії з адміністраторським інтерфейсом, та Device API для взаємодії з ESP32 та іншими пристроями.

AWS Cognito Service використовується для управління користувачами, забезпечуючи аутентифікацію та авторизацію адміністраторів готелю та адміністраторів системи.

Ця безсерверна архітектура забезпечує гнучкість та легкість супроводу системи кондиціонування готелю, дозволяючи ефективно взаємодіяти з різними компонентами та функціоналом системи.

ВИСНОВКИ

У ході виконання атестаційної роботи було проведено аналіз предметної області та визначено задачу проектування архітектурного рішення для системи управління кондиціонуванням як актуальну проблему. Наразі підприємства гостинності використовують у більшій мірі надто складні та коштовні рішення систем вентилявання повітря, які передбачають монтування централізованих систем кондиціонування за виключенням модуля аналізу вхідних метрик або з необхідністю додаткового опціоналу.

На основі проведеного огляду референсних архітектур були зазначені основні вимоги до оптимізації проектного рішення, було виконано постановку характерних обмежень згідно до діючих санітарних стандартів.

Для проектування схематичного рішення поставленої задачі було проведено аналіз наявних підходів для побудови систем кондиціонування в підприємствах гостинності, визначені переваги та недоліки кожного з варіантів програмно-апаратних рішень.

У даній роботі було досліджено використання електронного конструктору, хмарних сервісів та розгортання системи контролю кондиціонування у хмарній інфраструктурі та з використанням локальної клієнт-серверної архітектури. Також було наведено опис комплексу технічних засобів для функціонування ІС управління кондиціонуванням для підприємств гостинності та розроблено діаграму розгортання.

Автоматизовану ІС управління кондиціонуванням для підприємств гостинності розроблено з метою оптимізації процесу контролю якості повітряних мас в готельних номерах за допомогою пристроїв із використанням технології «Internet of things», які включають функціонал аналітичної обробки поточних даних, зокрема для характеристики температурного режиму та відсотку вологості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Bohdanowicz Paulina, Martinac Ivo. Thermal comfort and energy saving in the hotel industry. In: AMS 15th conference on biometeorology and aerobiology & 16th international congress on biometeorology, vol. 28; 2002.
2. Ji-Hye Ryu, Won-Hwa Hong, Youn-Kyu Seo. Characteristic analysis of peak load in electricity on large scale hotels considering the energy efficiency. Int J Smart Home 2014, 207 p.
3. ДСТУ 3008:2015. Державний стандарт України. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
4. ДСТУ 4269:2003. Державний стандарт України. Послуги туристичні. Класифікація готелей. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2003.
5. ДАРТ – Туристична статистика України. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/4-2-mln-inozemciv-ta-14-7-mln-ukrayinciv-dani-pro-peretin-derzhavnogo-kordonu-za-2021-rik> (дата доступу: 15.10.2023).
6. VRF Smart Connectivity+. The future of Control. URL: https://www.aircon.panasonic.eu/CH_de/happening/vrf-smart-connectivity-1/ (date of access: 14.10.2023).
7. The HERO Cloud Service and HERO Simple Edge URL: <https://daikincomfort.com/> (date of access: 29.10.2023).
8. AWS for Industries. Daikin uses AWS to build remote monitoring and predictive maintenance system. URL: <https://aws.amazon.com/ru/blogs/industries/daikin-uses-aws-to-build-remote-monitoring-and-predictive-maintenance-system/> (date of access: 29.10.2023).
9. Сусіденко В. Т. Інформаційні системи і технології в обліку. навч. посіб. / В. Т. Сусіденко. – К.: «Центр учбової літератури», 2016.