

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)  
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Модель паркувальної автомобільної системи в розумному будинку  
(тема)

Виконав:  
здобувач 2025 року навчання,  
групи СКСм-24-1  
Гнатченко Є.В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва спеціальності)


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

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи  
( повна назва освітньої програми )

Керівник доц. Ларченко Л.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

  
(підпис)

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки


Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва)

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

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри   
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Гнатченко Єлені Василівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модель паркувальної автомобільної системи в розумному будинку

затверджена наказом університету від 11 11 2025 р. № 1189 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 22 12 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Плата ESP32 CH340 Type-C

Wi-Fi модуль ESP32 WROOM-32

Ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик перешкоди YL-63

Мови програмування C++, HTML, CSS

Модуль з динаміком активний

Модуль реле 5В, Серводвигун SG90

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Аналіз сучасних систем розумного будинку та паркувальних систем

IoT технології в побудові систем розумного будинку

Аналіз сенсорних компонентів за точністю вимірювання відстані

Розробка паркувальної системи з керуванням засобами IoT

Розробка програмного забезпечення апаратної частини

Створення прототипу системи розумного будинку та її тестування

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_  
17 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2025 – 02.09.2025	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка завдання	03.09.2025 – 10.09.2025	
3	Вибір інструментальних засобів та розробка структурно-функціональної схеми проекту	11.09.2025 – 18.09.2025	
4	Розробка програми для мікроконтролера	19.09.2025 – 10.10.2025	
5	Програмна реалізація веб-сторінки	11.11.2025 – 21.11.2025	
6	Тестування розробленої системи	22.11.2025 – 01.12.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2025 – 14.12.2025	
8	Оформлення графічного матеріалу	15.12.2025 – 18.12.2025	
9	Перевірка виконаного проекту керівником	19.12.2025 – 20.12.2025	
10	Захист роботи	22.12.2025	

Дата видачі завдання 01 вересня 2025 р.

Здобувач   
(підпис)

Керівник роботи   
(підпис)

доц., к.т.н. Ларченко Л.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 67 сторінок, 2 таблиці, 16 рисунків та 11 джерел за переліком посилань.

РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ПАРКТРОНІК, МІКРОКОНТРОЛЕР, БУЗЗЕР, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, СВІТЛОДІОДИ, МОДУЛЬ WI-FI

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка моделі автомобільної паркувальної системи в розумному будинку на базі платформи ESP32.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено концепцію та функціональні можливості систем «Розумний будинок», проаналізовано роль і значення технологій Інтернету речей (IoT) у формуванні сучасних розумних екосистем житлового простору. Розроблено модель автомобільної паркувальної системи, складовими якої є мікроконтролер ESP32, ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик перешкод YL-63, серводвигун SG90, модуль підсилювача з активним зумером, RGB світлодіоди. Керування паркувальною системою здійснюється за допомогою IoT-технологій на базі мікроконтролера. Під час роботи було здійснено вибір оптимальних компонентів системи з урахуванням необхідних технічних характеристик, енергоспоживання та сумісності між модулями. Розглянуто принцип роботи моделі паркувальної системи, послідовність етапів її розроблення та особливості програмного забезпечення, необхідного для реалізації керування засобами IoT. Розробка моделі була здійснена за допомогою мови програмування C++. Веб-застосунок розроблено мовами HTML, CSS для відображення та керування системою.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 67 pages, 2 tables, 16 figures, and 11 sources in the reference list.

SMART HOME, PARKING SYSTEM, MICROCONTROLLER, BUZZER, ULTRASOUND SENSOR, LEDs, WI-FI MODULE

The purpose of the qualification work is to research and develop a model of a car parking system in a smart home based on the ESP32 platform, taking into account the results of a comparative analysis of sensor components in terms of the accuracy of measuring object distances.

During the qualification work, the concept and functionality of the Smart Home systems were investigated, the role and significance of Internet of Things (IoT) technologies in the formation of modern smart ecosystems of residential space were analyzed. A model of a car parking system was developed, the components of which are an ESP32 microcontroller, an HC-SR04 ultrasonic sensor, an YL-63 obstacle sensor, an SG90 servomotor, an amplifier module with an active buzzer, and RGB LEDs. The parking system is controlled using IoT technologies based on the ESP32 microcontroller. During the work, the optimal components of the system were selected, taking into account the required technical characteristics, power consumption, and compatibility between modules. The principle of operation of the parking system model, the sequence of stages of its development and the features of the software necessary for the implementation of IoT device management are considered. The model was developed using the C++ programming language. The web application was developed using HTML, CSS for displaying and managing the system.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП .....	9
1 ОГЛЯД РОЗВИТКУ СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ТА МІСТА, РОЗУМНІ ПАРКУВАЛЬНІ СИСТЕМИ .....	11
1.1 Огляд тенденцій розвитку систем розумного будинку.....	11
1.2 Технології Інтернету речей для систем розумних будинків та урбанізованих міст .....	13
1.3 Сутність і основні функції системи розумного будинку .....	18
1.4 Огляд сучасних розумних паркувальних систем та їх використання в міській та локальній інфраструктурах .....	20
1.5 Порівняльний аналіз сенсорних компонентів за точністю вимірювання відстані між об'єктами.....	27
1.6. Мета та постановка завдання .....	30
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПАРКУВАЛЬНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ .....	32
2.1 Вибір мікроконтролерної платформи для паркувальної системи.....	32
2.2 Ультразвуковий датчик .....	39
2.3 Датчик перешкоди YL-63.....	42
2.4 Серводвигун SG90 .....	44
2.5 Світлодіоди .....	45
2.6 Структурна та функціональна схеми паркувальної системи розумного будинку.....	47

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ.....	52
3.1 Алгоритм роботи системи паркування автомобіля в розумному будинку.....	54
3.2 Вибір мови програмування та технологій.....	54
3.4 Опис програмної реалізації.....	56
3.5 Web-застосунок та база даних.....	60
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	66

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT (Internet of Things) – Інтернет речей;

I2C (Inter-Integrated Circuit) – протокол взаємодії між інтегральними схемами в електронних пристроях;

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки;

PWM (Pulse Width Modulation) – широтно-імпульсна модуляція;

RGB (Red Green Blue) – колірна модель «червоний, зелений, синій»;

SPI (Serial Peripheral Interface) – протокол обміну даними між мікроконтролерами та периферійними пристроями;

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – інтерфейс для асинхронного обміну даними;

BLE (Bluetooth Low Energy) – енергоощадна версія Bluetooth;

ESP (Espressif Systems Platform) – платформа мікроконтролерів від компанії Espressif;

GPIO (General-Purpose Input/Output) – універсальні лінії вводу/виводу;

CSS (Cascading Style Sheets) – мова стилів для оформлення веб-сторінок;

GND (Ground) – точка нульового електричного потенціалу;

HTML (HyperText Markup Language) – мова розмітки для структурування веб-вмісту;

SRAM (Static Random-Access Memory) – статична оперативна пам'ять, що зберігає дані під час подачі живлення.

## ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи, пов'язаної з розробкою моделі паркувальної автомобільної системи в розумному будинку, полягає у тому, що з розвитком технологій «розумного» житла зростає потреба в автоматизації процесів, які підвищують комфорт і безпеку мешканців. Одним із таких процесів є організація паркування, адже сучасні житлові комплекси стикаються з проблемою нестачі місць та необхідністю оптимізації їх використання. Створення моделі інтелектуальної паркувальної системи дозволяє дослідити можливості застосування інтернету речей (IoT), сенсорних технологій і автоматизованого управління для підвищення ефективності функціонування «розумного будинку».

У сучасному світі системи «Розумний будинок», які набули значного поширення та продовжують активно розвиватися, охоплюючи дедалі ширше коло побутових і технічних процесів, являють собою інтегрований комплекс інтелектуальних технологій, спрямованих на автоматизацію, комфорт і безпеку житлового простору. Завдяки поєднанню сенсорних пристроїв, контролерів і засобів бездротового зв'язку вони дозволяють користувачеві дистанційно керувати освітленням, кліматом, енергоспоживанням, безпекою та іншими аспектами повсякденного життя.

Одним із цікавих і водночас нетипових рішень, що реалізуються у рамках концепції «розумного будинку» є використання парктроніка – ультразвукової системи виявлення перешкод, яка зазвичай застосовується в автомобілях. Інтеграція паркувальної системи у «Розумний будинок» дозволяє створити ефективний механізм контролю безпечного наближення до предметів, що особливо актуально для приміщень із обмеженим простором або складним плануванням.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення та реалізація інтегрованої моделі автомобільної паркувальної системи з використанням IoT-технологій,

яка призначена для контролю відстані до об'єктів у приміщенні та запобігання зіткненням транспортного засобу з перешкодами. Основою розробленої системи паркування є мікроконтролер ESP32, який забезпечує обробку даних, отриманих від сенсорів, зокрема ультразвукових, і передає інформацію користувачу. Це дозволяє здійснювати моніторинг у режимі реального часу, віддалено керувати системою та налаштовувати її під конкретні умови експлуатації. Технології IoT забезпечують інтеграцію всіх компонентів системи у єдину взаємодіючу мережу, що забезпечує здатність системи не лише реагувати на зміну умов, а й адаптуватися до дій користувача, підвищуючи загальний рівень ергономіки, ефективності та безпеки.

## 1 ОГЛЯД РОЗВИТКУ СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ТА МІСТА, РОЗУМНІ ПАРКУВАЛЬНІ СИСТЕМИ

У розділі розглянуто концепцію розумного будинку та їх можливості, тенденції розвитку систем розумного будинку, використання технологій IoT для систем розумних будинків та урбанізованих міст, розглянуто сучасні паркувальні системи. Сформульовано мету та постановку завдання.

### 1.1 Огляд тенденцій розвитку систем розумного будинку

Подальший розвиток сучасних систем розумного дому спрямовані на створення систем, що забезпечують більшу зручність у використанні, безпеку та енергоефективність. Вони трансформуються з набору окремих пристроїв в інтегровану, інтелектуальну екосистему. Ключовою тенденцією сьогодні є стандартизація для забезпечення сумісності між різними пристроями. Універсальні протоколи, такі як Matter та Thread, дозволяють користувачам інтегрувати обладнання різних виробників без створення складних конфігурацій, що робить технології більш доступними та стабільними. Однак перехід до єдиних стандартів гальмується значною кількістю застарілих пристроїв, які не підтримують нові протоколи, що потребує їх заміни.

Ще однією визначальною тенденцією є інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, які забезпечують прогнозну автоматизацію. Ці системи вивчають звички користувачів і можуть самостійно регулювати системи освітлення, клімату та безпеки відповідно до їхньої поведінки. Однак це викликає занепокоєння щодо конфіденційності та вимагає значних обчислювальних потужностей для даних.

Важливим аспектом розвитку є енергоефективність. Сучасні розумні будинки активно інтегрують відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі та акумулятори, а також використовують алгоритми оптимізації споживання. Це знижує витрати та робить житло більш екологічним. Одночасно кібербезпека стає все більш важливою: зі збільшенням кількості підключених пристроїв зростає і ризик витоку даних. Відповідно, розробники впроваджують нові методи шифрування, автентифікації та безпечних оновлень системи [1].

У 2025 році технології розумного будинку вступили в етап стрімкої трансформації: від поодиноких «розумних» пристроїв до інтегрованих екосистем, які взаємодіють між собою, з користувачем і навіть із зовнішньою інфраструктурою. Згідно з даними Future Market Insights (Рис 1.1), обсяг глобального ринку розумних будинків у 2025 році оцінюється приблизно у 216,3 мільярда доларів США, а до 2035 року він може зрости до 489,2 мільярда при середньорічному темпі зростання близько 8,5 % (Future Market Insights, 2025).

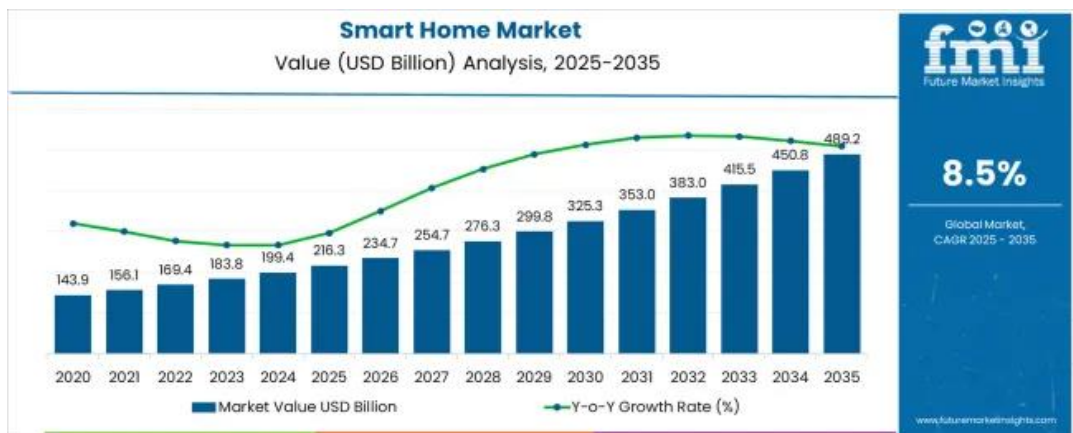


Рисунок 1.1 – Прогноз зростання ринку смарт-пристроїв в різних категоріях

Розвиток розумних будинків поступово розширюється за межі окремих квартир до цілих блоків або районів. Подібні рішення дозволяють створювати енергетичні мережі наступного покоління, де кілька будинків

можуть взаємодіяти з метою оптимізації колективного споживання енергії. Ще одним перспективним розвитком є впровадження технологій охорони здоров'я та догляду, таких як системи моніторингу повітря, датчики життєво важливих показників та автоматичне налаштування умов проживання для людей похилого віку або людей з інвалідністю. Однак висока вартість впровадження, складність інтеграції різних пристроїв та відсутність єдиних стандартів безпеки залишаються основними перешкодами для реалізації цього потенціалу.

Таким чином, розвиток технологій розумного дому рухається в напрямку більшої автономності, взаємодії між системами, захисту даних та сталого розвитку. Цей сегмент продовжує стрімко зростати, трансформуючи уявлення про комфорт, безпеку та ефективність у житлових приміщеннях.

## 1.2 Технології Інтернету речей для систем розумних будинків та урбанізованих міст

По суті, система розумного будинку – це складний комплекс технологій, що дозволяє побутовим технічним елементам системи взаємодіяти та виконувати певні щоденні завдання без втручання людини. Такі системи дозволяють керувати елементами побуту, а також створювати певні автоматизовані моделі поведінки та мати можливість повної автоматизації, включаючи незалежні рішення від елементів будинку в результаті аналізу даних. Технології автоматизації розумного дому частково пов'язані з технологіями Інтернету речей.

Підключення простих приладів до мережі для віддаленого керування користувачем є дуже популярною сферою розвитку на даний час. Система розумного будинку складається з датчиків, моніторів, інтерфейсів, приладів та пристроїв, об'єднаних в мережу для забезпечення автоматизації, а також локальне та дистанційне керування побутовим середовищем. Керовані

прилади та пристрої включають системи опалення та гарячого водопостачання (котли, радіатори), освітлення, вікна, штори, гаражні ворота, холодильники, телевізори тощо. Датчики та монітори виявляють фактори навколишнього середовища, включаючи температуру, освітлення, рух та вологість. Функціональність керування здійснюється за допомогою програмного забезпечення на комп'ютерних пристроях (смартфонах, планшетах, ноутбуках, ПК) або через спеціалізовані апаратні інтерфейси (наприклад, настінні пульти керування). Ці різні компоненти об'єднані в мережу, зазвичай бездротову, за допомогою стандартних протоколів зв'язку. Різноманітність доступних компонентів означає, що система розумного будинку має багато можливих конфігурацій і, як наслідок, «розумність».

Сучасний розвиток урбанізованого середовища тісно пов'язаний із впровадженням технологій IoT, що формують основу концепції розумного міста (Smart City), у якому об'єднуються системи управління енергоспоживанням, транспортом, безпекою, екологічним моніторингом та соціальною інфраструктурою. На відміну від традиційних інформаційних систем, IoT забезпечує взаємодію між фізичними об'єктами, датчиками, мережевими сервісами та користувачами в режимі реального часу.

Перші проекти зі створення «розумних міст» базувались на автоматизації окремих процесів, таких як, освітлення вулиць або системи відеоспостереження. Сучасний підхід передбачає інтеграцію всіх міських підсистем у єдину інформаційну інфраструктуру, що функціонує за допомогою IoT-пристроїв і хмарних сервісів.

Інфраструктура розумного міста має ієрархічну багаторівневу структуру, яка включає кілька взаємопов'язаних шарів:

- рівень пристроїв – сенсори, контролери, виконавчі механізми, що здійснюють збір фізичних параметрів (температура, освітленість, шум, трафік, вологість тощо);

– комунікаційний рівень – забезпечує передачу даних через протоколи MQTT, REST, CoAP, OPC UA, а також через бездротові стандарти Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee, 5G;

– рівень обробки даних – використовується для агрегації, зберігання та аналітики даних. Тут активно застосовуються хмарні та периферійні обчислення (edge/fog computing);

– рівень прикладних сервісів – системи керування транспортом, розумним освітленням, енергоспоживанням, сміттєзбиранням, безпекою.

Ключовими напрямками використання IoT у розумних містах визначають напрямки, що перераховані нижче [2].

1. Інтелектуальний транспорт (Smart Mobility). Використання сенсорних мереж і GPS-модулів дозволяє відстежувати рух громадського транспорту, оптимізувати світлофори, регулювати швидкість та зменшувати затори. Дані в реальному часі допомагають містянам планувати маршрути, а міським службам – знижувати викиди CO<sub>2</sub> і витрати пального.

2. Енергетика та комунальні послуги (Smart Energy & Utilities). IoT-лічильники дають змогу віддалено вимірювати споживання електроенергії, тепла й води. Системи «розумного освітлення» автоматично регулюють яскравість вуличних ліхтарів залежно від освітленості або присутності людей.

3. Екологічний моніторинг (Smart Environment). Сенсорні системи контролюють рівень забруднення повітря, шуму, радіації, а також відстежують стан зелених насаджень. Зібрані дані інтегруються у відкриті платформи міського управління.

4. Безпека та реагування на надзвичайні ситуації (Public Safety). Використання відеоаналітики, детекторів руху, диму чи газу забезпечує швидке реагування служб на інциденти. IoT-додатки дозволяють автоматично сповіщати рятувальні служби про надзвичайні події.

5. Інтелектуальне управління будівлями (Smart Buildings). Системи на базі Arduino, Raspberry Pi чи FPGA контролюють клімат, освітлення,

вентиляцію, доступ та енергозбереження в адміністративних і житлових спорудах. Вони здатні адаптувати роботу до звичок користувачів і зменшувати споживання енергії.

Завдяки взаємодії цих рівнів створюється єдина інтелектуальна екосистема міста, де рішення приймаються автоматично або з мінімальною участю людини.

Основою більшості рішень є вбудовані мікроконтролерні системи з бездротовими модулями зв'язку. Для розробки прототипів можуть застосовуватись:

а) Arduino – платформа для швидкої розробки сенсорних модулів і контролерів;

б) Raspberry Pi – мікрокомп'ютер для локальної обробки даних і керування системами;

в) OpenHAB, Node-RED – програмні середовища для інтеграції різних пристроїв і створення сценаріїв автоматизації;

г) хмарні сервіси (Azure IoT, AWS IoT, Google Cloud IoT) для зберігання, аналітики та візуалізації даних.

Для побудови комунікацій між підсистемами використовуються сенсорні мережі (Wireless Sensor Networks, WSN) та мультиагентні системи (MAS), які забезпечують координацію роботи різних вузлів без централізованого управління.

Одним із головних викликів для розумних міст є кібербезпека. Відкритість IoT-мереж робить їх уразливими до атак типу DoS, DDoS, перехоплення даних, несанкціонованого доступу до пристроїв.

Для підвищення надійності впроваджуються:

- багаторівневе шифрування даних (TLS, AES, RSA);
- автентифікація користувачів і пристроїв;
- ізоляція критичних сегментів мережі;
- періодичний моніторинг ризиків і оцінка узгодженості роботи підсистем.

Система ризик-менеджменту ґрунтується на експертних оцінках, що дозволяє визначати найуразливіші елементи IoT-інфраструктури та знижувати ймовірність відмови.

Майбутнє розвитку IoT у міських системах визначається кількома ключовими напрямками:

- перехід від централізованих хмарних до розподілених моделей обчислень (Fog of Things, Edge AI);
- впровадження штучного інтелекту та машинного навчання для самонавчання міських систем;
- розвиток енергоефективних сенсорів із живленням від відновлюваних джерел;
- формування відкритих даних міських екосистем (Open Data) для аналітики та громадського контролю.

Розумний будинок виступає одним із базових елементів структури розумного міста. Його системи – клімат-контроль, енергоменеджмент, безпека, відеоспостереження – взаємодіють із міськими IoT-платформами через хмарні сервіси та стандартизовані протоколи обміну даними. Така інтеграція створює можливість масштабування локальних рішень до рівня мікрорайону, району чи всього міста.

Одним із прикладів цієї взаємодії є автомобільна паркувальна система, що входить до комплексу «розумного будинку» та водночас є частиною загальноміської транспортної інфраструктури. Завдяки сенсорам руху, системам розпізнавання номерів і підключенню до міського хмарного сервісу, така система дозволяє автоматично визначати наявність вільних місць, резервувати їх через мобільний застосунок, контролювати доступ мешканців і відвідувачів, а також інтегрувати інформацію про завантаженість парковок у глобальну транспортну мережу міста.

Таким чином, приватні елементи інтелектуальної забудови стають частиною ширшої урбаністичної екосистеми, що поєднує побутову автоматизацію з міським управлінням.

### 1.3 Сутність і основні функції системи розумного будинку

Технологічний прогрес глибоко змінює спосіб життя людини та впливає на всі сфери діяльності в сучасному світі. Однією з найдинамічніших інновацій, що стрімко розвиваються, є концепція розумного будинку. Розумні будинки інтегрують цифрові інструменти та автоматизовані системи управління в повсякденне життя, підвищуючи комфорт, безпеку, енергоефективність та оптимізуючи час і ресурси.

Концепція розумного дому передбачає взаємопов'язану мережу електронних пристроїв, датчиків, програмного забезпечення та каналів зв'язку, які працюють разом для забезпечення автоматизованого та дистанційного керування домогосподарством. В основі даної концепції лежить взаємодія між користувачами та їхнім середовищем проживання, яке являє собою інтелектуальне середовище. Приклад набору розумних пристроїв в розумному будинку приведено на рис. 1.2.

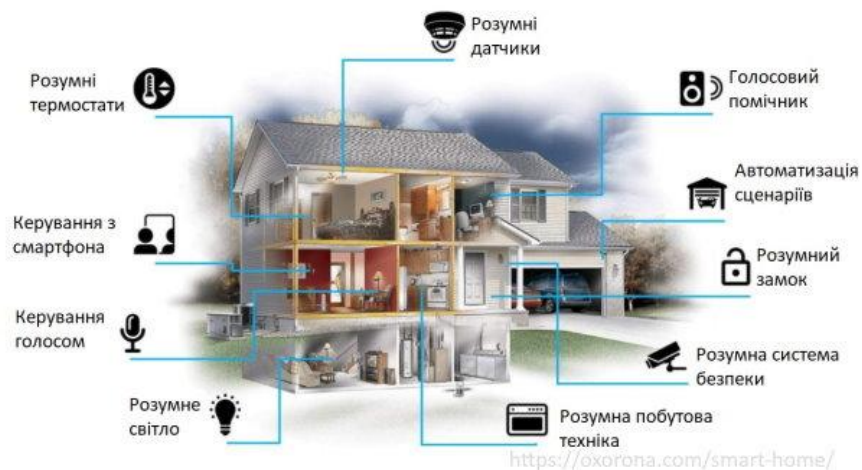


Рисунок 1.2 – Приклад набору розумних пристроїв в розумному будинку

Однією з основних функцій розумного дому є автоматизація повсякденних процесів, яка охоплює керування системами освітлення,

опалення, кондиціонування повітря, побутовими приладами та іншими підсистемами.

Це передбачає автоматичне регулювання їх параметрів у приміщеннях, що мінімізує потребу у прямому втручанні користувача та сприяє підвищенню комфорту й ефективності життєдіяльності мешканців.

Системи клімат-контролю – ще один важливий елемент розумного дому, які підтримують оптимальні умови в приміщенні на основі таких факторів, як температура та рівень вологості зовнішнього повітря, заповненість та час доби. Наприклад, активація системи кондиціонування повітря може до повернення мешканців додому, або автоматичний запуск системи вентиляції, якщо рівень вуглекислого газу занадто високий. Ці рішення підвищують комфорт та покращують енергоефективність, знижуючи витрати на електроенергію та опалення.

Безпека є одним із ключових аспектів функціонування технології розумного дому. Інтегрована система безпеки може включати підсистеми відеоспостереження, датчики руху, сигналізацію, системи контролю доступу, а також сенсори виявлення диму, газу та витоку води. У разі виникнення надзвичайної ситуації система забезпечує миттєве сповіщення користувача через мобільний пристрій та автоматично здійснює необхідні дії — зокрема відключення подачі води чи газу, активацію сигналізації або встановлення зв'язку зі службами екстреного реагування. Таким чином, навіть за відсутності мешканців, розумний дім здатний самостійно забезпечувати захист об'єкта та його мешканців.

Інтеграція мультимедіа також відіграє значну роль. Сучасні системи розумного дому дозволяють централізовано керувати аудіо- та відеосистемами в приміщеннях будинку. Інтеграція з такими платформами, як Netflix, YouTube та Spotify, робить мультимедійне середовище дому зручнішим та персоналізованішим.

Однією з найбільших переваг технології розумного дому є можливість дистанційного керування будинком за допомогою мобільних застосунків або

веб-інтерфейсів, налаштування параметрів системи, активації певних функцій та отримання доступу до камер спостереження з будь-якої точки світу. Ця функція особливо цінна під час подорожей або в непередбачених ситуаціях.

Ще однією інноваційною розробкою є голосове керування. Розумні будинки все частіше інтегруються з голосовими помічниками, такими як Amazon Alexa, Google Assistant та Apple Siri, які забезпечують безперебійну взаємодію між людьми та технологіями.

Енергоефективність також є ключовим фактором. Системи розумного дому можуть контролювати споживання енергії за допомогою окремих пристроїв, виявляти неефективне використання та пропонувати рекомендації щодо оптимізації.

Багато систем також підтримують інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі, та використовують акумулятори для зберігання надлишкової енергії.

Отже, концепція розумного будинку у поєднанні з концепцією розумного міста являє собою наступний крок у технологічній інтеграції шляхом поєднання автоматизації та управління інфраструктурою для покращення життя громади. Технології розумного дому є невід'ємною частиною цього бачення та продовжують впливати не лише на комфорт вдома, але й на ширше міське середовище. Концепція дому як ізольованої сутності поступово зникає, перетворюючись на взаємопов'язану мережу інтелектуальних будинків в рамках екосистеми розумного міста.

#### 1.4 Огляд сучасних розумних паркувальних систем та їх використання в міській та локальній інфраструктурах

Система розумного будинку передбачає автоматизоване рішення, призначене для керування та моніторингу інженерних підсистем освітлення,

опалення, вентиляції, кондиціонування пожаросповіщення, охорони та інших інтелектуальних підсистем, яка здійснює дистанційне керування множиною функцій, а також полегшує інтеграцію названих підсистем, забезпечуючи безперебійну координацію та високу функціональність всього комплексу [3].

Розумні паркувальні системи, що є складовими розумного будинку, можуть використовувати різноманітні технологічні рішення: сенсори, камери, системи розпізнавання номерних знаків, роботизовані платформи для переміщення автомобілів, які забезпечують зв'язок із центральною системою розумного дому [4]. Паркувальні системи виявляють перешкоди на шляху руху автомобіля під час руху заднім ходом або у вузьких просторах, попереджаючи водія про потенційні ризики зіткнення

Паркувальні системи стали стандартною функцією в сучасній автомобільній техніці, підвищуючи безпеку та комфорт, особливо в міських умовах, де простір обмежений.

Застосування Інтернету речей (IoT) дозволяє об'єднувати всі компоненти в єдину екосистему, керовану через мобільні застосунки та інтегровану з іншими пристроями розумного будинку. Паркувальні системи дозволяють контролювати процес паркування, безпеку транспортних засобів, здійснювати автономне розміщення автомобілів на паркувальних місцях [5]. Використання IoT-платформ та технологій краудсенсингу дозволяє спростити інтеграцію паркувальних рішень, підвищити масштабованість та інтероперабельність.

Сучасні паркувальні системи мають кілька підходів до реалізації:

- система на основі сенсорів і IoT: використання ультразвукових та інфрачервоних сенсорів, які визначають наявність вільного місця, положення автомобіля і його наближення до перешкод. Така система може бути інтегрована з іншими IoT-пристроями через мобільний застосунок. Використання IoT технологій у системі розумного будинку забезпечує з'єднання компонентів в єдину мережу, що дає можливість віддаленого керування та моніторингу системи через інтернет[6];

- використання системи відеоспостереження та розпізнавання номерних знаків: наявність камер з високою роздільною здатністю, інтегрованих в систему розумного будинку, дозволяють виявити автомобіль, а система розпізнає номерні знаки та дозволяє ідентифікувати власника;
- автоматизовані ворота та освітлення з датчиками руху: система виявляє автомобіль і автоматично відкриває ворота, вмикає світло в гаражі або паркувальній зоні. Автоматизоване освітлення може працювати у поєднанні з іншими компонентами розумного будинку, наприклад, системою безпеки[7];
- автономні роботизовані платформи для паркування: роботизовані платформи можуть переміщувати автомобілі на потрібні місця в гаражі. Роботи-платформи можуть бути налаштовані через застосунок або систему Smart Home для автоматичного розміщення автомобіля, забезпечуючи зменшення ризику зіткнень, оптимізацію використання простору.

Кожна з перерахованих вище паркувальних систем має свої переваги та особливості, проте їх ефективність може відрізнятись в залежності від певної конфігурації: системи з сенсорами та відеоспостереженням підходять для невеликих паркувальних зон, де важливі контроль та точність, але не потрібні повністю автономні операції. Роботизовані платформи забезпечують максимальну автоматизацію та є оптимальними для гаражів з обмеженим простором [8].

Як приклад вдалої реалізації паркувальних систем можна відзначити автоматизований паркувальний комплекс, що розташований у місті Нампаллі (Індія) та представлений на рис. 1.3. Це повністю автоматизований багаторівневий об'єкт для паркування транспортних засобів. Його розробником є компанія Hyderabad Metro Rail Limited. Комплекс розрахований на 250 автомобілів і 200 двоколісних транспортних засобів, займає площу близько 2000 м<sup>2</sup>.

Система працює за принципом смарт-карток з QR-кодом, які направляють користувача до спеціального майданчика. Після того, як

автомобіль залишено на майданчику, система автоматично визначає його тип – SUV, седан чи хетчбек, та паркує на відповідному поверсі. Виведення автомобіля відбувається після оплати та сканування картки без необхідності втручання людини. Технологія Palis, яка використовується в комплексі, забезпечує високий рівень надійності та ефективності роботи без піддонів, а також інтеграцію з іншими об'єктами інфраструктури, зокрема кінотеатрами та оглядовими майданчиками. Завдяки автоматизації зменшується ризик помилок та підвищується ефективність використання паркувального простору, при цьому комплекс залишається доступним для людей з обмеженими можливостями.



Рисунок 1.3 – Приклад роботи повністю автономної системи паркування

Іншим прикладом є система розумного паркування, що розташована у місті Денія (Іспанія), яка використовує автономні бездротові магнітні сенсори для визначення наявності вільних паркувальних місць. Система охоплює 277 місць, з яких 267 призначено для звичайних автомобілів та 10 для людей з обмеженими можливостями. Сенсори працюють на основі технології LTE, що забезпечує тривалий термін служби, і передають інформацію в мобільний додаток ParkTime.

Користувачі можуть відстежувати наявність вільних місць у режимі реального часу та отримувати інформацію про оптимальний маршрут до паркування. Крім того, в місті встановлено інформаційні панелі на в'їздах, які спрямовують водіїв до вільних місць (Рис. 1.4). Система є частиною більш широкої ініціативи з цифрової трансформації та сталого розвитку міської інфраструктури. Основною метою проекту є підвищення комфорту водіїв, зменшення часу пошуку паркувального місця та скорочення забруднення повітря в центральних районах міста.



Рисунок 1.4 – Відображення контролю наявності паркувальних місць

Обидві системи демонструють різні підходи до розумного паркування. Комплекс у Нампаллі акцентує увагу на повній автоматизації та інтеграції з іншими об'єктами інфраструктури, тоді як система в Денії фокусується на моніторингу наявності місць та зручності користувачів через мобільний додаток. Обидва рішення сприяють підвищенню ефективності та комфорту, а також підтримують сталий розвиток міської інфраструктури.

Локальні паркувальні системи встановлюються на передньому та/або задньому бамперах автомобіля і складаються з кількох основних

компонентів: ультразвукових датчиків, електронного блоку керування (ЕБУ), інтерфейсу звукового або візуального попередження та дротових або бездротових з'єднань. Ультразвукові датчики служать «очима» системи, випромінюючи звукові хвилі в ультразвуковому діапазоні (близько 40 кГц), які не чутні для вуха людини [9].

Коли звукові хвилі на шляху свого розповсюдження зустрічають перешкоду, вони відбиваються від перешкоди і спрямовуються до чутливих елементів датчиків. Система розраховує відстань до об'єкта, вимірюючи часовий інтервал між випромінюваними та прийнятими сигналами (Рис.1.5).



Рисунок 1.5 – Принцип роботи паркувальної системи

На основі отриманих даних ЕБУ активує відповідні сповіщення, найчастіше звукові сигнали, частота яких зростає, коли автомобіль наближається до перешкоди. Візуальні або графічні індикатори також можуть відобразитися на дисплеї автомобіля або в мультимедійній системі. Деякі вдосконалені моделі включають голосові сповіщення або інтегруються з камерою заднього виду для забезпечення візуального зворотного зв'язку в режимі реального часу.

Стандартні системи паркування зазвичай містять від двох до восьми ультразвукових датчиків, чотири з яких розташовані на задньому бампері, а ще два-чотири – спереду, залежно від конфігурації автомобіля. У більшості випадків система активується автоматично при ввімкненні задньої передачі, хоча також можлива ручна активація через панель керування.

Хоча багато сучасних систем використовують альтернативні технології, такі як електромагнітні датчики або комп'ютерний зір, ультразвукові системи все ще є найпоширенішими завдяки своїй надійності, точності та доступності.

Поширеним є використання мікроконтролера ESP32 як центрального блоку керування. ESP32 відомий своєю високою обчислювальною потужністю, вбудованим підключенням Wi-Fi та Bluetooth, а також низьким споживанням енергії. Функції дозволяють створити ефективну та гнучку систему паркування. У такій конфігурації ультразвукові датчики, такі як HC-SR04, підключені до ESP32 [10].

ESP32 обробляє дані часу відлуння та розраховує відстань до перешкод у режимі реального часу. Мікроконтролер може передавати дані на смартфон, планшет або бортовий дисплей через бездротове з'єднання, забезпечуючи водієві миттєвий зворотний зв'язок.

ESP32 також дозволяє налаштовувати систему, наприклад, встановлювати пороги попередження, інтегрувати додаткові датчики або підключати систему паркування до ширшої мережі «Розумний автомобіль» або «Розумний дім». Переваги паркувальних датчиків очевидні: вони мінімізують ризик зіткнень з низькими або прихованими перешкодами, такими як бордюри, стовпи та дитячі велосипеди. Вони також зменшують стрес водія під час маневрів паркування, особливо для початківців, і покращують загальну безпеку дорожнього руху. Ці системи особливо корисні в умовах низької видимості, наприклад, вночі або в негоду.

На завершення, паркувальні датчики є важливим компонентом сучасної автомобільної електроніки, що значно підвищує безпеку та зручність водія.

Вони працюють на основі простого, але дуже ефективного принципу: відбиття ультразвукових хвиль. У поєднанні з обчислювальними та комунікаційними можливостями контролерів, таких як ESP32, ці системи стають більш інтелектуальними та адаптивними, і їх можна інтегрувати в ширшу екосистему інтелектуальних технологій.

### 1.5 Порівняльний аналіз сенсорних компонентів за точністю вимірювання відстані між об'єктами

Сучасні системи автоматизації в межах концепції «розумного будинку» все активніше інтегрують сенсорні технології, що забезпечують взаємодію між фізичним середовищем та цифровими сервісами. Одним із ключових елементів таких систем є датчики, здатні точно вимірювати відстань між об'єктами – вони забезпечують коректну роботу паркувальних систем, роботизованих пристроїв, систем безпеки та управління простором.

Одним із перспективних напрямів розвитку є створення інтелектуальних паркувальних систем, що здатні виявляти наявність автомобіля, оцінювати вільні місця та передавати інформацію до центрального контролера або мобільного застосунку. Для таких систем вирішальне значення має точність вимірювання відстані сенсором, адже похибка навіть у кілька сантиметрів може призвести до помилкової ідентифікації зайнятого місця або некоректної роботи системи керування.

В роботі приведено результати порівняння різних типів сенсорів – ультразвукових, інфрачервоних, магнітометричних, оптичних тощо – за їхньою точністю, стабільністю показників та придатністю для використання в умовах «розумного будинку» (Табл.1.1). Аналіз результатів дослідження доводить, що ультразвукові сенсори демонструють оптимальне співвідношення між вартістю, точністю та простотою інтеграції, проте

ефективність їхньої роботи може залежати від матеріалу поверхні, кута відбиття та зовнішніх факторів середовища.

Відповідно, актуальність даного дослідження полягає у необхідності емпіричного аналізу різних типів сенсорів за точністю вимірювання відстані між об'єктами, що дозволяє визначити раціональний тип датчика для подальшого використання у системі автоматизованого паркування в межах розумного будинку.

Таблиця 1.1 – Порівняння різних типів сенсорів

№	Тип сенсора	Приклад	Ключові результати	Переваги	Недоліки
1	Геомагнітні	Магнітні датчики для виявлення авто (точкові сенсори на місцях)	Висока енергоефективність, помилка детекції < 5–10% при сприятливих умовах	Низьке енергоспоживання, нечутливі до освітлення	Можуть вимагати калібрування під місцеве магнітне тло
2	Геомагніт + ML (RNN/SVM)	Геомагнітні сенсори + рекурентні нейронні мережі для фільтрації шуму	Підвищення точності класифікації зайнятості на 8–15% порівняно з простою пороговою детекцією	Краще витримує перешкоди, адаптивне навчання	Потребує обчислень/тренування, складніше впровадження
3	Камери + CV (YOLO/SSD)	Камери з нейромережами для детекції машини і місця	Точність > 95% в ідеальних умовах; дає зображення і додаткові метрики (позиція, номер)	Багато інфо (ANPR, позиція), дистанційне покриття	Проблеми з приватністю, освітленням; вища обчислювальна вартість
4	Індукційні петлі (loop detectors)	Вбудовані індукційні контури під покриттям	Надійна детекція проходження/стоять авто; практично нуль фальш-спрацьовувань	Дуже надійні для в'їзду/виїзду	Висока інсталяційна складність і вартість для retrofit
5	RFID (ідентифікація)	RFID для авторизації + інший сенсор для підтвердження зайнятості	Чітка ідентифікація мешканця; швидкий доступ; потребує додаткового сенсора для перевірки паркування	Зручність доступу, низька вартість міток	RFID не показує, чи місце зайняте самостійно
6	Інфрачервоні (IR / PIR)	IR або PIR сенсори для виявлення об'єкта на місці	Підходить для використання з простими тригерами; швидка реакція	Дешева інсталяція, проста інтеграція	Чутливі до тварин, змін температури, помилкові спрацьовування
7	Ультразвукові (ultrasonic)	Ультразвукові датчики на стелі/стілці для	Робоча дальність 0.2–4 м; похибка вимірювання 2–5	Простота, доступна ціна	Чутливість до розташування, шуму,

		вимірювання відстані	см; кут розсіювання ~15°; час відгуку 100–200 мс. Добре працюють у закритих просторах зонах		дзеркальних поверхонь
8	Гібридні рішення (комбінація)	Комбінація двох/трьох сенсорів + локальна логіка	Суттєво збільшує надійність (менше FP/FN)	Баланс між вартістю і якістю	Складніша інтеграція й налаштування

У ході аналізу існуючих систем розумного паркування, заснованих на різних типах сенсорів, було визначено, що ультразвуковий датчик залишається одним із найбільш збалансованих і практичних рішень для застосування у «розумного будинку». Серед переваг було визначено:

- оптимальне співвідношення точності та вартості – ультразвукові сенсори забезпечують точність визначення наявності автомобіля в межах 20 - 50 мм при відносно низькій собівартості. Це робить їх економічно доцільним вибором для домашніх або малих паркінгів;

- простота інтеграції в модель розумного будинку – датчики легко підключаються до контролерів типу ESP8266 або Raspberry Pi, що дозволяє швидко створити IoT-архітектуру з передачею даних у хмару чи локальну мережу будинку. Їх можна синхронізувати з іншими підсистемами (освітлення, ворота, охорона);

- стійкість до умов середовища – порівняно з інфрачервоними або оптичними сенсорами, ультразвукові пристрої менш чутливі до освітлення й пилу. Вони добре працюють у підземних гаражах і закритих приміщеннях, що характерно для систем «розумного будинку»;

- швидкість реагування – час відгуку системи на основі ультразвукових сенсорів становить менше 200 мс, що дозволяє оперативно оновлювати статус зайнятості місця на панелі або в мобільному застосунку.

Серед основних обмежень було виявлено, що похибка вимірювання відстані може збільшуватись при нерівних поверхнях або наявності

блискучих матеріалів, які спотворюють відбиття звуку та необхідність правильної калібровки висоти монтажу для уникнення «мертвих зон».

Використання ультразвукових сенсорів у паркувальних системах обґрунтовується такими основними причинами:

- порівняно з магнітними сенсорами, ультразвук не залежить від геомагнітних коливань;
- порівняно з камерами використання ультразвукових сенсорів простіше у впровадженні та не створює питань конфіденційності;
- порівняно з індукційними петлями, дешевше в монтажі й придатніше для існуючих приміщень без втручання в покриття підлоги.

Ультразвуковий сенсор можна вважати оптимальним вибором для реалізації моделі автомобільної паркувальної системи в розумному будинку. Його використання забезпечує високу точність, простоту інтеграції та помірну вартість, що дозволяє створити надійну, масштабовану і технологічно зрілу систему контролю паркомісць.

#### 1.6. Мета та постановка завдання

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розроблення моделі паркувальної автомобільної системи на базі платформи ESP32 у паркувальному середовищі розумного будинку з використанням засобів IoT.

Мета визначила задачі кваліфікаційної роботи:

- огляд сучасного стану та динаміки розвитку систем розумних будинків;
- огляд сучасних паркувальних систем;
- аналіз ролі IoT технологій в побудові систем розумного будинку;
- порівняльний аналіз сенсорних компонентів паркувальних систем за точністю вимірювання відстані між об'єктами;

- вибір мікроконтролера та компонентів автомобільної системи паркування з керуванням засобами IoT;
- аналіз, вибір мов програмування та середовища розробки WEB-сторінки;
- розробка програмного забезпечення web-сторінки;
- розробка програмного забезпечення мікроконтролера;
- створення прототипу системи та її тестування.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПАРКУВАЛЬНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ

У розділі дано опис обраних компонентів для паркувальної автомобільної системи розумного будинку з керуванням засобами IoT технологій, їх технічні характеристики. Розглянуто розроблений прототип паркувальної системи для розумного будинку, приведено структурну та функціональну схеми взаємодії компонентів паркувальної системи.

### 2.1 Вибір мікроконтролерної платформи для паркувальної системи

Для створення паркувальної автомобільної системи необхідно обрати мікроконтролерну платформу та технічні компоненти: мікроконтролер, ультразвуковий датчик, датчик перешкоди, серводвигун.

Важливим етапом створення паркувальної системи є вибір мікроконтролера.

ESP32 – це мікроконтролер на базі 32-бітного процесора Xtensa LX6 (або LX7 у новіших версіях), що працює на частоті до 240 МГц. Він має подвійне або одинарне ядро (залежно від модифікації), з можливістю перемикання режимів енергозбереження та оптимізації продуктивності. Обсяг оперативної пам'яті SRAM становить 520 КБ, а також присутній кеш-пам'ять та ROM для зберігання стартового коду.

ESP32 оснащується вбудованим модулем Wi-Fi 802.11 b/g/n з підтримкою режиму AP, STA або AP+STA одночасно. Також реалізовано Bluetooth v4.2 BR/EDR та BLE. Це дозволяє пристрою одночасно підключатися до Wi-Fi-мереж і спілкуватися з мобільними додатками або іншими BLE-пристроями.

Щодо інтерфейсів введення/виведення, ESP32 має до 34 програмованих GPIO-пінів, які підтримують функції PWM, ADC, DAC, SPI, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, UART,

CAN та RMT. Доступно до 18 каналів PWM, 12-бітні ADC з 18 каналами (по 4096 рівнів градації), два 8-бітні DAC, а також два 12-бітні таймери загального призначення.

SPI-периферія представлена чотирма SPI-контролерами, з яких два призначені для загального користування. I<sup>2</sup>C-периферія підтримується двома контролерами з повноцінною реалізацією master/slave.

UART-модулі доступні у кількості до трьох, з можливістю налаштування швидкості передачі до 5 Мбіт/с.

ESP32 підтримує шифрування AES, SHA-2, RSA, ECC та RNG на апаратному рівні, що дозволяє реалізовувати безпечну передачу даних та автентифікацію. Важливою особливістю є Secure Boot, Flash Encryption, а також можливість захисту на рівні фюзів.

Енергоспоживання є оптимізованим завдяки кільком режимам сну: активний, modem-sleep, light-sleep та deep-sleep. У режимі deep-sleep споживання знижується до ~10 мкА, що робить ESP32 придатним для автономних пристроїв з живленням від батарей.

ESP32 підтримує роботу з зовнішньою флеш-пам'яттю (до 16 МБ) через SPI. Типова конфігурація містить 4 МБ флеш-пам'яті. Підтримується файлові системи SPIFFS та LittleFS, а також OTA-оновлення прошивки через Wi-Fi.

Для обробки аудіо і цифрових сигналів передбачено інтерфейс I<sup>2</sup>S, RMT (Remote Control), а також Sigma-Delta модуль, що дозволяє реалізовувати генерацію сигналів або цифрових фільтрів.

Платформа має велику екосистему SDK, зокрема ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) для розробників на C/C++, а також Arduino Core for ESP32 для спрощеної розробки. Підтримується робота з FreeRTOS, яка забезпечує багатозадачність та таймерну координацію.

Фізично ESP32 випускається у вигляді модулів (ESP32-WROOM-32, ESP32-WROVER з додатковою PSRAM) або на відкладних платах типу DevKit

v1, NodeMCU-32S та інші. Деякі моделі мають вбудовані антени або U.FL-роз'єм для зовнішньої.

Працездатність ESP32 зберігається в діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  (залежно від модифікації), а напруга живлення коливається в межах 2.2–3.6 В, типово – 3.3 В. Живлення можна подавати безпосередньо або через LDO-регулятори.

Модуль ESP-WROOM-32 є однією з найпопулярніших реалізацій мікроконтролера ESP32 (рис.2.1). Він містить усі базові функціональні блоки, включно з двоядерним процесором, вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, SPI-флеш-пам'яттю (4 або 8 МБ), а також повноцінним RF-екрануванням. Завдяки компактному форм-фактору ( $25.5\text{ мм} \times 18\text{ мм}$ ) і низькому енергоспоживанню, цей модуль активно використовується в реальних IoT-застосунках, як у промислових, так і у споживчих пристроях.

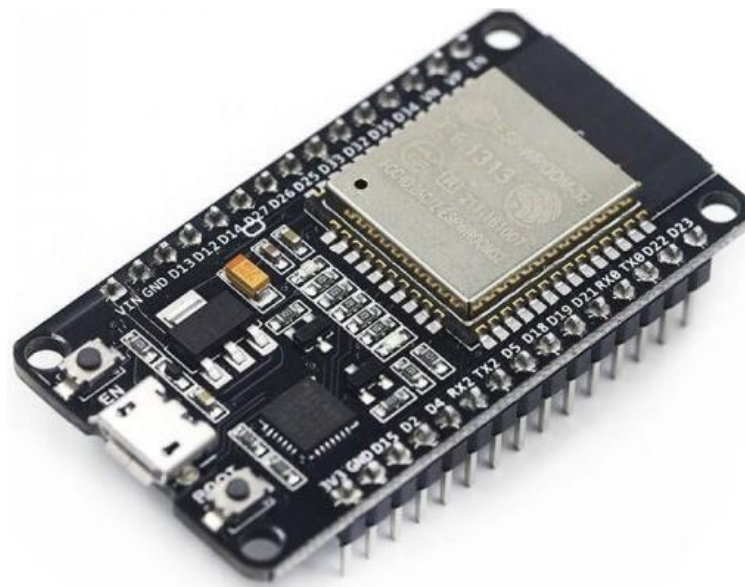


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд ESP-WROOM-32

Створення ультразвукової системи паркування (парктроніка) ESP-WROOM-32 виконує роль головного контролера, що координує зчитування даних із сенсорів, обробку сигналів, виведення інформації на дисплей та

передачу повідомлень користувачу. Завдяки великій кількості периферійних інтерфейсів і вбудованому Wi-Fi/Bluetooth модулю, ESP-WROOM-32 дозволяє не лише будувати автономний парктронік, а й розширювати його до повноцінної IoT-системи з функціями сповіщення, журналювання або візуалізації.

Основою системи парктроніка є ультразвукові датчики HC-SR04 або аналогічні. Вони передають короткий імпульс ультразвуку і вимірюють час до повернення ехо-сигналу. ESP-WROOM-32 з високою точністю вимірює цей час за допомогою внутрішніх таймерів і обчислює відстань до об'єкта на основі формули:

$$d = \frac{t \cdot v}{2}, \quad (2.1)$$

де  $t$  – час, за який ультразвуковий сигнал подолав шлях від датчика до об'єкта і повернувся назад. Одиниці вимірювання - мікросекунди (мкс) або секунди (с);

$v$  – швидкість звуку у повітрі, яка за нормальних умов (при температурі приблизно 20°C) дорівнює близько 343 метри за секунду, або 0.0343 см/мкс, якщо час вимірюється в мікросекундах і значення відстані - у сантиметрах.

За допомогою парктроніка паралельно можуть оброблятися сигнали з декількох сенсорів: можуть бути розміщені по ширині бампера 4 датчики, для чого використовується мультиплексування або окремі GPIO-піни.

Результати обробки можуть виводитись на OLED-дисплей через інтерфейс I<sup>2</sup>C, наприклад, SSD1306, або дублюватися у вигляді світлодіодної або звукової індикації. У разі виявлення перешкоди ближче певного порогу, наприклад, 30 см, ESP32 активує зумер, частота сигналу якого змінюється залежно від наближення об'єкта.

Однією з ключових переваг використання ESP-WROOM-32 є можливість дистанційного моніторингу стану парктроніка. Через модуль Wi-

Fi пристрій може під'єднуватися до локальної мережі або створювати власну точку доступу. Дані про виміряні відстані можуть транслюватися в режимі реального часу на мобільний застосунок або веб-інтерфейс. Це дозволяє власнику автомобіля переглядати інформацію зі смартфона або планшета.

У разі інтеграції з хмарною платформою (наприклад, через MQTT або Firebase) ESP-WROOM-32 здатен зберігати історію спрацювань парктроніка, передавати аналітику на віддалений сервер або навіть взаємодіяти з іншими модулями автомобільної електроніки. Це відкриває можливість створення повністю керованої цифрової системи паркування, яка може об'єднуватися з камерою заднього виду, GPS-модулем або голосовими помічниками.

Завдяки підтримці енергозберігаючих режимів, ESP-WROOM-32 може перебувати в режимі очікування та автоматично активуватися при подачі живлення або при активації задньої передачі. Це дозволяє знизити споживання енергії, що особливо важливо у випадку роботи пристрою від акумулятора або під час тривалого простою автомобіля.

Крім того, Bluetooth BLE дає змогу виконувати початкове налаштування пристрою або проводити діагностику з мобільного додатку без необхідності використання кабелю. Через BLE-інтерфейс користувач може змінити чутливість сенсорів, встановити порогові значення спрацювання або оновити прошивку пристрою.

З технічної точки зору, ESP-WROOM-32 є оптимальним вибором для побудови сучасної системи паркування завдяки своїй високій обчислювальній потужності, багатофункціональності та вбудованим бездротовим комунікаціям. Він дозволяє реалізувати як базові функції обробки сигналів від сенсорів, так і розширені можливості інтелектуального аналізу, збереження даних та віддаленого керування.

ESP32 вирізняється поєднанням високої обчислювальної потужності та розвиненими комунікаційними можливостями. Завдяки вбудованому Wi-Fi-модулю стандарту 802.11 b/g/n контролер може працювати як автономний веб-сервер, обслуговувати HTTP-запити та передавати дані в реальному часі



сервоприводом, підтримка індикації та стабільне функціонування веб-сервера. Це дозволяє паркувальній системі оперативно реагувати на дії користувача та мінімізувати затримки під час обробки даних. Технічні параметри наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики мікроконтролера ESP32

Параметр	Значення
Архітектура	Tensilica Xtensa LX6
Кількість ядер	2 ядра
Тактова частота	До 240 МГц
Оперативна пам'ять	До 520 КБ SRAM
Флеш-пам'ять	4 МБ (залежно від версії модуля)
Wi-Fi модуль	802.11 b/g/n, 2.4 ГГц
Bluetooth	BLE 4.2 + Classic BT
GPIO	До 34 універсальних пінів
Аналогові входи	12-бітний АЦП (до 18 каналів)
Цифрові інтерфейси	UART, SPI, I2C, I2S
PWM	Підтримується до 16 каналів
Робоча напруга	3.0–3.6 В
Споживання енергії	Від 10 $\mu$ А (Deep Sleep) до 240 мА (Wi-Fi TX)
Температурний діапазон	–40 °С ... +85 °С
Вбудовані таймери	Апаратні 64-розрядні таймери
Підтримка веб-серверу	Так (через бібліотеки WebServer / AsyncWebServer)

Контролер підтримує апаратні таймери, ШІМ-керування та PID-регулювання, що забезпечує точну роботу сервопривода й плавність руху гаражних дверей без ривків і перевантажень механізму. Можливість формування стабільних імпульсних сигналів також дає змогу реалізувати

точні схеми індикації для RGB-модуля, який є важливим елементом асистента паркування.

Ще однією сильною стороною ESP32 є його доступність та енергоефективність. За невисокої вартості він пропонує функціонал, притаманний раніше дорогим промисловим контролерам, що робить його оптимальним рішенням для побутових інтелектуальних систем і застосувань у сфері розумного дому. Завдяки різним режимам споживання енергії пристрій підходить для проєктів, де важлива довготривала автономна робота.

Важливим аспектом є здатність ESP32 працювати як локальний веб-сервер із підтримкою HTML-сторінок, обробки запитів та асинхронної взаємодії з клієнтом. У контексті паркувальної системи це дозволяє дистанційно відкривати й закривати ворота, переглядати стан сенсорів та контролювати відстань до перешкод у реальному часі без потреби встановлення спеціальних застосунків.

Ураховуючи всі технічні можливості, ESP32 є найбільш раціональним та обґрунтованим вибором для створення комплексної автономної системи керування гаражем, що поєднує сенсорний контроль, автоматизацію, бездротовий зв'язок та інтелектуальну індикацію.

## 2.2 Ультразвуковий датчик

Ультразвуковий датчик HC-SR04 є одним з найпоширеніших сенсорів для вимірювання відстані в системах автоматики, робототехніки, охорони та зокрема в проєктах на базі парктроніків (рис.2.3). Його принцип роботи ґрунтується на властивості звукових хвиль високої частоти відбиватися від твердих поверхонь. Датчик випромінює короткий ультразвуковий імпульс і вимірює час, за який відбитий сигнал повертається до приймача. Знаючи швидкість звуку в повітрі, можна точно обчислити відстань до об'єкта.

Конструктивно HC-SR04 складається з двох головних елементів: випромінювача (трансмітера) та приймача (рісівера), які візуально розміщені поруч у вигляді двох циліндричних «вікон».



Рисунок 2.3 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

На платі також розташовані основні електронні компоненти, які формують імпульс, фільтрують сигнал та забезпечують керування через стандартні цифрові інтерфейси. Датчик має чотири виводи: VCC (живлення), GND (заземлення), Trig (керуючий вхід) і Echo (вихідний імпульс).

Для того, щоб почати процес вимірювання, на пін Trig подається сигнал – короткий імпульс тривалістю не менше 10 мікросекунд. У відповідь на сигнал датчик випромінює ультразвуковий сигнал тривалістю 8 циклів на частоті приблизно 40 кГц. Якщо сигнал відбивається від перешкоди, приймач фіксує його і формує на пині Echo прямокутний імпульс тривалістю, що відповідає часу проходження сигналу «туди і назад».

Мікроконтролер, зчитуючи тривалість імпульсу на лінії Echo, виконує обчислення відстані за формулою:

$$\text{distance (cm)} = \frac{\text{time (мкс)} \cdot 0,0343}{2}, \quad (2.2)$$

де 0,0343 – швидкість звуку в см/мкс, а поділ на 2 враховує подвійну відстань (туди і назад).

Типовий діапазон вимірювання HC-SR04 становить від 2 см до 400 см при точності близько  $\pm 3$  мм. Напруга живлення – 5 В, струм споживання – приблизно 15 мА. Для стабільної роботи необхідно уникати сторонніх шумів, надмірної вологи або поверхонь, які слабо відбивають звук (наприклад, тканини або нерівні м'які матеріали). HC-SR04 не має аналогового або I<sup>2</sup>C-виходу – зв'язок відбувається виключно через цифрові імпульси, що значно спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, зокрема ESP32. Мікроконтролер може легко ініціювати вимірювання через будь-який цифровий пін та використовувати апаратні або програмні таймери для обчислення часу відповіді.

У парктроніках та аналогічних системах безпеки HC-SR04 використовується для виявлення перешкод перед або позаду транспортного засобу. Його дані можуть оновлюватись з високою частотою (до десятків вимірювань за секунду), що дає змогу відстежувати зміну положення об'єктів у реальному часі.

Поєднання декількох таких сенсорів дозволяє визначати відстань до різних точок навколо транспортного засобу, забезпечуючи просторове орієнтування системи.

Незважаючи на свою простоту і невисоку вартість, HC-SR04 залишається надійним рішенням для базових і середньорівневих задач контролю відстані. Його стабільність, невибагливість до умов і простота використання роблять його одним із найпоширеніших компонентів у проєктах на базі Arduino, ESP та інших мікроконтролерів.

### 2.3 Датчик перешкоди YL-63

Датчик перешкод YL-63 є оптичним інфрачервоним сенсором, який призначений для виявлення наявності об'єкта або перешкоди. Він широко застосовується в системах уникнення зіткнень, автоматичних дверях, робототехніці, а також у паркувальних системах як допоміжний елемент. Принцип роботи YL-63 ґрунтується на властивості інфрачервоного випромінювання відбиватись від твердих тіл і повертатись до приймача (рис.2.4).

Конструктивно модуль складається з інфрачервоного світлодіода (ІЧ-емітера), фототранзистора (приймача відбитого світла), операційного підсилювача та регулятора чутливості, реалізованого у вигляді потенціометра. Коли об'єкт (наприклад, стіна, коробка або будь-яка інша непрозора перешкода) наближається до датчика на певну відстань, частина інфрачервоного променя відбивається від його поверхні та реєструється фотоприймачем. Сигнал із приймача підсилюється й аналізується, після чого на вихід модуля подається логічний сигнал, який змінює свій стан – з HIGH на LOW або навпаки, залежно від конфігурації.



Рисунок 2.4 – Датчик перешкоди YL-63

Живлення модуля здійснюється напругою 3.3 В або 5 В, що забезпечує сумісність з більшістю мікроконтролерів, зокрема ESP32. Вихід модуля – цифровий, що спрощує інтеграцію у системи, де потрібно лише факт виявлення об'єкта, без вимірювання точних відстаней. Радіус дії датчика залежить від відбитної здатності поверхні та налаштування чутливості потенціометром, і не перевищує 5–30 см.

У системах типу «розумний парктронік» або допоміжних системах паркування YL-63 може використовуватись як додатковий сенсор для грубого виявлення наявності перешкоди перед транспортним засобом. Він може доповнювати ультразвукові датчики, спрацьовуючи швидше у ближній зоні або активуючи сигнал тривоги в разі різкого наближення до перешкоди. Його швидка реакція дозволяє попередити зіткнення або активувати виконавчі механізми (звукові/світлові індикатори), особливо в умовах, де точні заміри не є обов'язковими.

Приймач у модулі чутливий до зовнішнього інфрачервоного шуму, наприклад, від сонця або джерел тепла, тому застосовувати YL-63 рекомендується переважно у закритих або затінених умовах. У паркувальній системі його можна використовувати у внутрішньому гаражі або для виявлення надто близької перешкоди у задній частині авто. Модуль має отвори для монтажу і невеликі габарити, що дозволяє легко інтегрувати його до корпусу системи чи панелі бампера.

Таким чином, YL-63 є недорогим, простим у використанні інфрачервоним датчиком виявлення перешкод, який завдяки цифровому виходу легко підключається до таких мікроконтролерів, як ESP-WROOM-32, і може служити допоміжним інструментом у побудові інтелектуальних систем попередження про наближення до об'єктів.

## 2.4 Серводвигун SG90

Серводвигун SG90 є одним із найпопулярніших мікросервоприводів, що використовуються в аматорських електронних проєктах, робототехніці, моделізмі, а також у системах автоматики, де необхідне точне позиціонування (рис.2.4). Його конструкція дозволяє обертати вал на обмежений кут – до 180 градусів – з фіксацією у заданому положенні через систему зворотного зв'язку. Вбудований контролер порівнює вхідний керуючий сигнал з фактичним положенням вала, яке визначається за допомогою потенціометра. При розбіжності між цими значеннями двигун продовжує обертання до досягнення заданого кута.

Живлення двигуна становить від 4.8 В до 6 В, а струм споживання в активному стані може сягати до 250 мА. Незважаючи на компактні розміри, SG90 здатен розвивати крутний момент до 1.8 кг/см, що робить його придатним для переміщення невеликих важелів, заслінок, поворотних модулів або декоративних елементів у системах, де необхідна точна і відносно швидка реакція.



Рисунок 2.5 – Серводвигун SG90

Керування SG90 здійснюється за допомогою сигналу широтно-імпульсної модуляції (PWM), причому тривалість імпульсу визначає положення валу. Для обертання валу в межах  $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$  використовується сигнал з частотою 50 Гц (період 20 мс), у якому тривалість імпульсу варіюється приблизно від 0.5 мс (мінімальний кут) до 2.5 мс (максимальний кут). Мікроконтролери, такі як ESP32, мають вбудовані PWM-генератори, тому можуть безпосередньо керувати SG90 без додаткових схем або драйверів.

У контексті системи парктроніка SG90 може бути використаний для створення поворотного механізму, який змінює напрямок розміщення ультразвукового або інфрачервоного датчика. Це дозволяє розширити зону охоплення датчика і здійснювати сканування у горизонтальній площині, підвищуючи точність виявлення перешкод. Наприклад, сервомотор може по черзі повертати ультразвуковий сенсор на  $30^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  або  $150^{\circ}$ , забезпечуючи ширше поле зору без потреби у встановленні кількох сенсорів.

Також SG90 може виконувати роль актуатора в допоміжних пристроях, наприклад, піднімати або опускати захисну панель, активувати сигналізацію або фізично блокувати/розблокувати якийсь механізм у разі небезпечного наближення до перешкоди. Завдяки компактності, легкій вазі та простоті підключення, цей сервомотор добре інтегрується в автомобільні корпуси, макети чи переносні модулі.

Можливість точного позиціонування, висока сумісність із мікроконтролерами, низьке енергоспоживання та мінімальні вимоги до зовнішньої електроніки роблять SG90 універсальним елементом для проєктів, у яких необхідна рухлива механіка або кероване положення.

## 2.5 Світлодіоди

Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, який випромінює світло під дією електричного струму. При пропусканні струму через

напівпровідниковий матеріал електрони рекомбінують із дірками, внаслідок чого виділяється енергія у вигляді фотонів. Цей процес називається електролюмінесценцією.

Світлодіоди є основними компонентами багатьох проєктів Arduino. Зелені, жовті та червоні світлодіоди часто використовуються в комбінації для створення індикаторів стану, симуляції світлофора та інших систем візуального зворотного зв'язку.

Переваги світлодіодів:

- енергоефективність: світлодіоди споживають значно менше електроенергії порівняно з традиційними лампами розжарювання та люмінесцентними лампами;
- тривалий термін служби: світлодіоди мають тривалий термін служби, який може перевищувати 50 000 годин;
- міцність і надійність: вони стійкі до механічних пошкоджень і вібрацій;
- компактність: малий розмір дозволяє використовувати світлодіоди в компактних електронних пристроях;
- швидкість включення: світлодіоди включаються миттєво без затримки.

Типи світлодіодів:

- індикаційні світлодіоди: використовуються для індикації стану електронних пристроїв. Зазвичай це невеликі світлодіоди з низьким енергоспоживанням;
- освітлювальні світлодіоди: високопотужні світлодіоди, які використовуються для освітлення приміщень, вулиць, автомобільних фар тощо;
- RGB світлодіоди: світлодіоди, які можуть випромінювати різні кольори завдяки поєднанню червоного, зеленого та синього діодів в одному корпусі;

– інфрачервоні світлодіоди: використовуються в пультах дистанційного керування, системах нічного бачення та інших пристроях, які працюють в інфрачервоному спектрі.

Зелений, жовтий та червоний світлодіоди є корисними компонентами в проєкті парктроніка, який допомагає водіям безпечно паркуватися.

## 2.6 Структурна та функціональна схеми паркувальної системи розумного будинку

Паркувальна система розумного будинку, що розробляється в межах даної кваліфікаційної роботи, складається з апаратної частини на базі мікроконтролера ESP32, набору сенсорів, виконавчих пристроїв та програмно реалізованого веб-інтерфейсу. Ця система забезпечує автоматизований контроль доступу до гаража, супровід процесу паркування та дистанційне керування елементами інфраструктури.

Структурна схема паркувальної автомобільної системи (рис. 2.6) відображає взаємозв'язки між основними апаратними модулями, які формують єдиний функціональний комплекс. Центральним елементом системи є мікроконтролер ESP32, що забезпечує обробку сигналів від сенсорів, логіку автоматичних режимів та керування виконавчими механізмами. До мікроконтролера ESP32 підключаються всі датчики, виконавчі механізми та модулі індикації. Одним із ключових компонентів є ультразвуковий датчик HC-SR04, що виконує дві важливі функції – виявлення наближення автомобіля до гаража та вимірювання відстані до перешкод під час здійснення маневру паркування. Принцип його роботи базується на вимірюванні часу проходження звукової хвилі, що дозволяє точно визначати дистанцію між автомобілем і об'єктами, розташованими попереду. Отримані значення використовуються у програмній логіці ESP32 для реалізації автоматичного відкриття воріт у момент наближення

транспортного засобу до заданого порога. Крім того, ці дані враховуються під час формування світлових та звукових попереджень, які відображають рівень безпеки при русі в обмеженому просторі гаража.

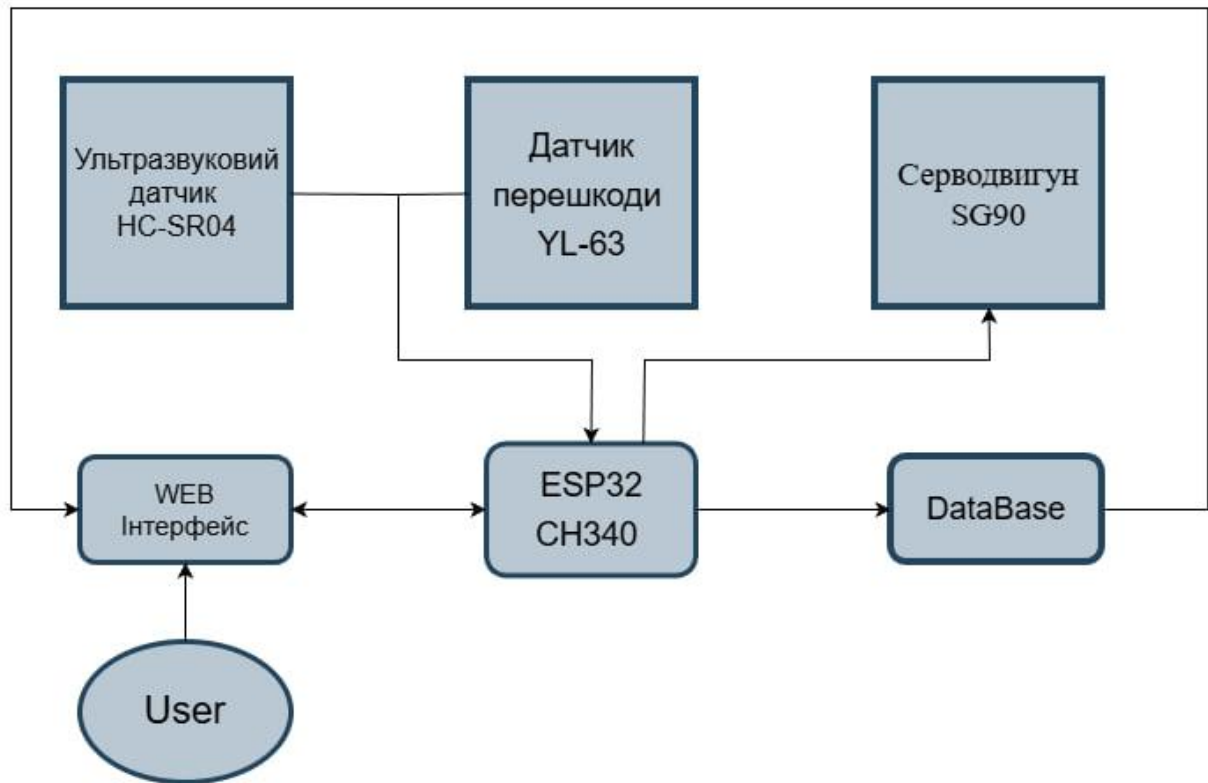


Рисунок 2.6 - Структурна схема паркувальної автомобільної системи

Важливе значення в системі мають інфрачервоні сенсори YL-63, установлені на вхідній та внутрішній зоні гаража. Їх основне завдання полягає у фіксації факту перебування автомобіля на паркувальному місці. Завдяки сприйняттю інфрачервоного променя сенсори дозволяють визначити, чи зайнятий простір у зоні паркування. На основі цих сигналів формується логічний стан «паркомісце зайняте», який відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки системи. Якщо автомобіль знаходиться в межах гаража, контролер блокує можливість переходу до ручного режиму та забороняє виконання операцій, які могли б спричинити небажане або небезпечне переміщення воріт. Таким чином забезпечується захист

користувача від некоректних дій, а система отримує можливість самостійно запобігати потенційно аварійним ситуаціям.

Механічне відкриття та закриття гаражних воріт здійснюється за допомогою сервоприводу, який безпосередньо керується вихідними сигналами ESP32. Серводвигун є виконавчою ланкою, що перетворює електричні імпульси в точні кутові переміщення, забезпечуючи плавне та контрольоване керування становищем воріт. Програмна частина враховує як вибраний користувачем режим роботи (ручний або автоматичний), так і інформацію з сенсорів, що дозволяє змінювати положення воріт тільки за умови дотримання необхідних критеріїв безпеки. У автоматичному режимі привід реагує на сигнали датчика HC-SR04, тоді як у ручному режимі забезпечується можливість прямого керування через веб-інтерфейс користувача.

Для передачі інформації водію в режимі реального часу застосовується RGB-індикаторний модуль. Він виконує роль візуального відображення стану системи залежно від відстані до перешкод, що визначається ультразвуковим датчиком. Зелений колір сигналізує про безпечну відстань та можливість продовжувати рух. Жовтий інформує водія про необхідність підвищеної уваги через зменшення дистанції, а червоний вказує на критичне наближення до перешкоди. У поєднанні з акустичним сигналізатором модуль забезпечує комплексне попередження, яке здатне мінімізувати ризик зіткнення, навіть у темний час доби чи за умов недостатньої видимості. Сукупність світлової та звукової індикації формує інтуїтивно зрозумілу систему навігації під час паркування.

Важливою частиною системи є веб-сервер, реалізований безпосередньо на ESP32. Завдяки вбудованому Wi-Fi-модулю користувач отримує можливість дистанційно керувати воротами, перемикаючи режими роботи системи, переглядати стан датчиків та контролювати відстань у режимі реального часу через веб-браузер. Програмна реалізація веб-сервера забезпечує зручний інтерфейс взаємодії з системою без необхідності

встановлення додаткового програмного забезпечення, що значно підвищує універсальність і зручність використання.

У рамках створеної системи також передбачена демонстраційна база даних, яка виконує функцію накопичення історії подій. До неї записуються часові мітки роботи системи, відстань, значення стану дверей та інші параметри, важливі для подальшого аналізу. Хоча у наявній реалізації база даних виконує лише демонстраційну роль, її структура дозволяє легко масштабувати систему для збереження інформації у зовнішніх хмарних сервісах або інтегрувати її з мобільними застосунками. Такий підхід підсилює функціональність системи та дозволяє використовувати її в ширших сценаріях розумного дому.

Функціональна схема (рисунок 2.7) демонструє логічну взаємодію модулів та послідовність виконання операцій, що забезпечують роботу паркувальної системи на базі ESP32. На відміну від структурної схеми, яка відображає загальні апаратні зв'язки між компонентами, функціональна схема описує алгоритм прийняття рішень, умови активації режимів, реакцію системи на сигнали сенсорів та порядок керування виконавчими механізмами. У рамках цієї роботи функціональна схема має безпосереднє відображення у практичній реалізації, оскільки вся логіка, зображена на схемі, відтворена у вигляді фізично зібраної моделі на макетній платі. На макеті наочно продемонстровано розташування та взаємне підключення ультразвукового датчика HC-SR04, двох інфрачервоних сенсорів YL-63, сервоприводу та допоміжних елементів, які працюють відповідно до алгоритмів, закладених у функціональну схему. Це дозволяє чітко прослідкувати відповідність між теоретичним описом роботи системи та її фактичним функціонуванням у вигляді зібраної моделі на основі мікроконтролера ESP32.

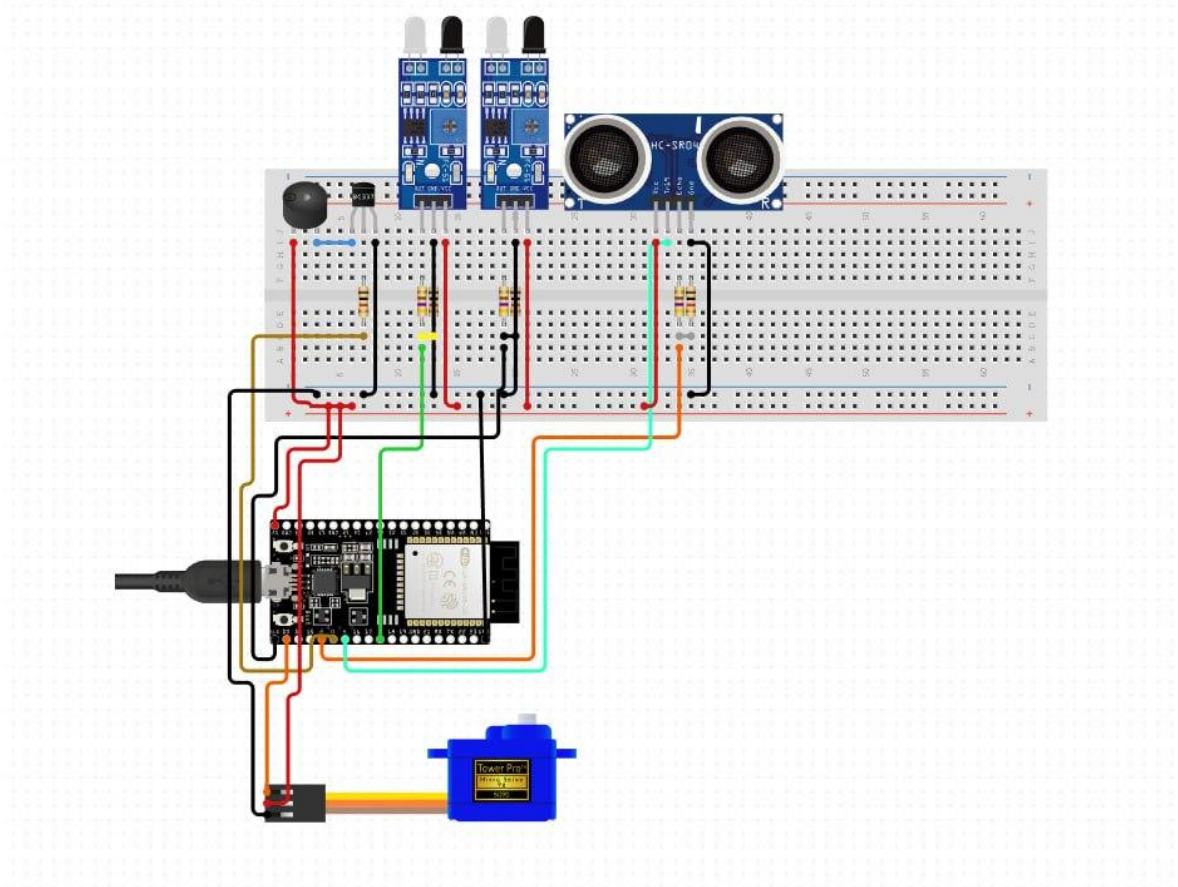


Рисунок 2.7 – Функціональна схема паркувальної системи розумного будинку

Взаємодія апаратної та програмної частин системи забезпечується за рахунок об'єднання усіх компонентів у єдиний апаратно-програмний комплекс. Мікроконтролер ESP32 приймає сигнали від сенсорів YL-63 та HC-SR04, аналізує їх, формує відповідну логіку автоматичного або ручного керування та на основі цієї інформації змінює стан сервоприводу через керування PWM-сигналом. До того ж контролер синхронізує роботу RGB-індикатора та звукового сигналізатора, забезпечуючи точне та своєчасне відображення інформації для водія. Паралельно з цим ESP32 виконує функції веб-сервера, підтримуючи двосторонній обмін даними з користувачем у реальному часі. Такий підхід дозволяє досягти автономності системи, її надійності та можливості інтегруватися з іншими підсистемами «розумного будинку».

### 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

У розділі розглянуто алгоритм роботи паркувальної автомобільної системи, обрано середовище програмування та обґрунтовано вибір мов програмування, дано опис програмної частини паркувальної системи.

#### 3.1 Алгоритм роботи системи паркування автомобіля в розумному будинку

На рис. 3.1 приведено алгоритм роботи системи паркування автомобіля.

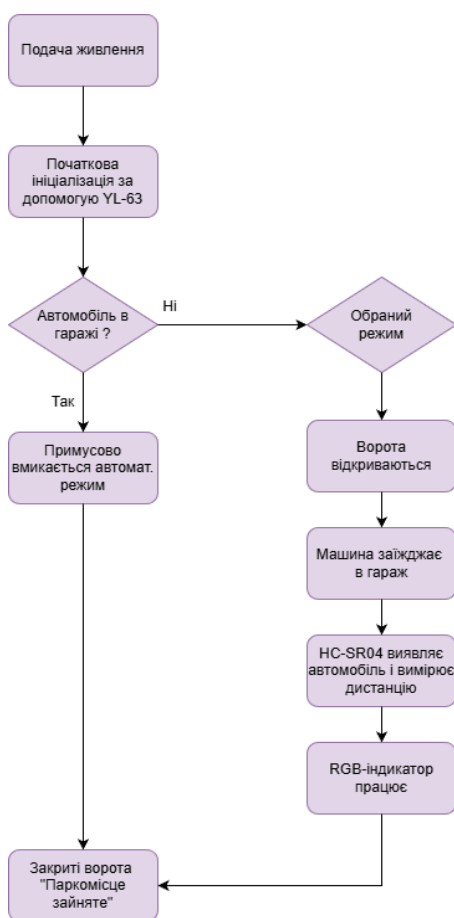


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи паркувальної автомобільної системи в розумному будинку

Алгоритм роботи системи згідно зі структурною та функціональною схемами передбачає послідовне виконання низки взаємопов'язаних процесів, що забезпечують автоматизоване керування гаражем і підтримання безпечного режиму паркування.

Після подачі живлення система переходить у режим початкової ініціалізації, у межах якої мікроконтролер ESP32 здійснює перевірку працездатності сенсорів та модулів, а також встановлює з'єднання з веб-інтерфейсом.

Після завершення етапу ініціалізації система переходить у режим очікування, у якому постійно аналізує поточний стан паркувального простору.

Одним із перших джерел інформації виступають інфрачервоні сенсори YL-63, які визначають, чи перебуває автомобіль усередині гаража. Якщо датчики фіксують наявність транспортного засобу, система автоматично встановлює стан «паркомісце зайняте». У цьому випадку блокуються всі функції, пов'язані з ручним керуванням воротами, що запобігає випадковому або небезпечному їх відкриттю, коли автомобіль частково або повністю знаходиться в зоні закриття ступок.

Одночасно користувачеві у веб-інтерфейсі виводиться повідомлення про неможливість використання ручного режиму та необхідність звільнення місця. Якщо ж зона паркування є вільною, система дозволяє користувачу обрати бажаний режим роботи – автоматичний або ручний. Вибір здійснюється через веб-інтерфейс, який надає актуальну інформацію про стан дверей, сенсорів та дистанцію до можливих перешкод.

У разі активації автоматичного режиму система функціонує без участі користувача. Ультразвуковий датчик HC-SR04 постійно вимірює відстань до об'єкта, що наближається, і як тільки автомобіль під'їжджає до гаража на дистанцію, меншу за встановлений поріг активації, ворота відкриваються автоматично. Після цього система переходить у режим асистента паркування, у якому контролер здійснює безперервні вимірювання відстані до перешкод і

визначає ступінь безпечності поточного маневру. На основі отриманих даних RGB-індикатор змінює колір від зеленого до жовтого або червоного, що дозволяє водію орієнтуватися в просторі. У разі критичного наближення подається звуковий сигнал, який додатково попереджає про небезпеку. Усі події, включно з моментами активації датчиків і зміною стану дверей, записуються до демонстраційної бази даних.

У разі вибору ручного режиму керування система надає користувачу можливість самостійно відкривати та закривати ворота через веб-інтерфейс ESP32. У цьому режимі дозволяється перегляд поточної дистанції, яку вимірює ультразвуковий датчик, а також можливість примусово вмикати або вимикати RGB-індикацію відповідно до потреб користувача. Ручний режим має обмеження: якщо сенсор YL-63 у будь-який момент зафіксує появу автомобіля в зоні паркування, система негайно блокує ручне керування та переходить у захисний режим, аналогічний до того, який активується в автоматичному варіанті. Це дозволяє запобігти помилковим або небезпечним діям користувача, які могли б призвести до пошкодження автомобіля або механізму воріт.

### 3.3 Вибір мови програмування та технологій

У процесі розроблення програмної частини паркувальної системи постало завдання вибрати мову програмування та технології, які б забезпечили оптимальне виконання обчислювальних операцій, стабільну взаємодію з апаратними модулями та можливість реалізації веб-інтерфейсу без залучення зовнішніх серверів чи додаткового програмного забезпечення. Для створення прошивки було використано мову програмування C++, яка є стандартом для всіх Arduino-сумісних платформ і забезпечує широкі можливості для роботи з апаратними ресурсами мікроконтролера ESP32.

Використання C++ у цьому проєкті зумовлено тим, що мова дозволяє працювати з низькорівневими функціями та регістрами, що особливо важливо при керуванні сервоприводом, точному формуванні широтно-імпульсних сигналів та обробці даних сенсорів у реальному часі. Крім того, C++ повністю сумісна з Arduino Core for ESP32 – офіційною програмною платформою, що забезпечує доступ до великої кількості бібліотек для роботи з ультразвуковими датчиками, ІЧ-сенсорами, RGB-індикаторами та мережевими модулями. Завдяки цьому програмна частина системи може бути реалізована у формі компактного, ефективного та легко модифікованого коду, який може працювати на ESP32 без суттєвих затримок і перевантаження пам'яті.

Важливою перевагою C++ є підтримка об'єктно-орієнтованої парадигми, яка дозволила структурувати функціональність системи таким чином, щоб окремі модулі – сенсори, серводвигун, мережевий стек, індикаторні пристрої – могли бути представлені у вигляді окремих логічних блоків. Такий підхід полегшує масштабування програми, а також надає можливість у майбутньому доповнювати систему новими модулями або інтерфейсами взаємодії без повного перепроєктування прошивки.

Окрему частину програмної інфраструктури становить web-інтерфейс, який реалізовано безпосередньо на мікроконтролері. Для створення користувацьких веб-сторінок використовувалися стандартні веб-технології – HTML, CSS та JavaScript, які інтегруються у програмний код ESP32 та передаються клієнту у відповідь на HTTP-запити. Такий підхід дозволяє створити легкий, швидкий та універсальний інтерфейс, який може працювати на будь-якому пристрої з браузером – від смартфона до ноутбука. Наявність JavaScript на стороні клієнта забезпечує динамічне оновлення елементів сторінки та можливість взаємодії без необхідності постійних перезавантажень.

Для обробки мережових запитів та маршрутизації у прошивці використано бібліотеку ESP32 WebServer, що є частиною екосистеми Arduino

Core. Вона забезпечує можливість створення власних HTTP-ендпойнтів, які відповідають за отримання команд користувача, зміну режимів роботи системи, відкриття чи закриття воріт, а також за передачу інформації з датчиків у режимі реального часу. Такий підхід дозволив реалізувати веб-інтерфейс без залучення хмарних серверів, зберігаючи повну автономність системи.

Хоча у даному проєкті не використовувався Telegram-бот або зовнішній веб-сервер, програмна архітектура системи передбачає можливість їх інтеграції. Завдяки підтримці ESP32 роботи з мережевими протоколами HTTP, HTTPS та MQTT система може бути доповнена інструментами віддаленого сповіщення, хмарної аналітики або мобільного керування через месенджери. Це відкриває перспективи для подальшого розвитку та розширення функціоналу у напрямку смарт-автоматизації та інтеграції з іншими компонентами розумного будинку.

Таким чином, вибір C++ як основної мови програмування та використання класичних веб-технологій у поєднанні з вбудованою бібліотекою ESP32 WebServer забезпечили необхідну гнучкість, продуктивність і автономність програмної частини системи. Така комбінація дозволяє створити надійний, швидкий і доступний інструмент для реалізації складної логіки управління гаражними воротами та організації зручної взаємодії з користувачем.

### 3.4 Опис програмної реалізації

Програмна реалізація паркувальної системи базується на мікроконтролері ESP32 та поєднує роботу сенсорних модулів, сервоприводу, індикаторних засобів та вбудованого веб-сервера, який забезпечує взаємодію користувача із системою в реальному часі. Логіка функціонування побудована мовою програмування C++ із використанням Arduino Core for

ESP32, що дозволило ефективно задіяти апаратні таймери, PWM-канали, мережеві можливості та бібліотечну підтримку периферійних пристроїв [11].

Програмне забезпечення складається з кількох взаємопов'язаних частин. На початковому етапі відбувається ініціалізація основних апаратних компонентів, налаштування Wi-Fi та запуск веб-сервера. Цей процес відображено у лістингу 3.1, де наведені оголошення змінних та підключення необхідних бібліотек. Означений фрагмент коду формує основу всієї системи та визначає глобальні стани, зокрема: положення дверей, активний режим, відстань до перешкод та інформацію про зайнятість кожного з трьох гаражів.

### Лістинг 3.1 – Підключення бібліотек та глобальні змінні

```
#include <WiFi.h>           // Бібліотека для роботи з Wi-Fi
#include <WebServer.h>       // Реалізація HTTP-сервера
#include <ESP32Servo.h>      // Керування сервоприводом

// ===== Налаштування Wi-Fi =====
const char* ssid = "Your_SSID";
const char* password = "Your_PASSWORD";

// ===== Глобальні об'єкти =====
WebServer server(80);
Servo gateServo;

// ===== Глобальні стани =====
bool doorOpen = false;
bool autoMode = true;
int parkingDistance = 0;

// ===== Стани трьох гаражів =====
bool garageOccupied[4] = {false, true, false, true};
int currentGarage = 0;
```

Однією з ключових функцій системи є обробка даних ультразвукового датчика HC-SR04, що використовується для визначення відстані до автомобіля та фіксації моменту наближення до воріт. Обчислення дистанції виконується у лістингу 3.2, де імпульс формує TRIG-вихід, а час проходження сигналу аналізується за допомогою функції `pulseIn()`. У цьому ж лістингу подано функції керування сервоприводом, які реалізують відкриття та закриття воріт.

### Лістинг 3.2 – Функції обробки відстані та керування дверима

```

const int servoPin = 18;
const int trigPin = 12;
const int echoPin = 14;

long getDistance() {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    long duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 25000);
    return duration * 0.034 / 2; // Конвертація у сантиметри
}

void openDoor() {
    gateServo.write(90);
    doorOpen = true;
}

void closeDoor() {
    gateServo.write(0);
    doorOpen = false;
}

void toggleDoor() {
    doorOpen ? closeDoor() : openDoor();
}

```

Для зручності користувача система містить вбудований веб-інтерфейс, який дозволяє вибрати один із трьох гаражів. Формування головної сторінки наведено в лістингу 3.3, де відображено три кнопки для навігації між окремими логічними блоками.

### Лістинг 3.3 – Формування головної HTML-сторінки

```

void handleRoot() {
    String html = "<h1>Оберіть гараж</h1>";
    html += "<button ononclick=\"location.href='/garage?num=1'\">Гараж №1</button>";
    html += "<button ononclick=\"location.href='/garage?num=2'\">Гараж №2</button>";
    html += "<button ononclick=\"location.href='/garage?num=3'\">Гараж №3</button>";
    server.send(200, "text/html", html);
}

```

Відображення стану конкретного гаража здійснюється у функції `handleGarage()`, фрагмент якої поданий у лістингу 3.4. Програмний код демонструє логіку відображення актуальної інформації та блокування ручного режиму, якщо датчики зафіксували наявність автомобіля.

#### Лістинг 3.4 – Обробка інтерфейсу конкретного гаража

```
void handleGarage() {
  currentGarage = server.arg("num").toInt();
  bool occupied = garageOccupied[currentGarage];
  parkingDistance = getDistance();

  String html = "<h1>Гараж №" + String(currentGarage) +
"</h1>";
  html += "<p>Стан дверей: " + String(doorOpen ? "Відкриті"
: "Закриті") + "</p>";
  html += "<p>Режим: " + String(autoMode ? "Авто" :
"Ручний") + "</p>";
  html += "<p>Відстань: " + String(parkingDistance) + "
см</p>";

  if (occupied) {
    html += "<div>Паркомісце зайняте. Ручний режим
недоступний.</div>";
  }
  server.send(200, "text/html", html);
}
```

На етапі ініціалізації у функції `setup()` відбувається підключення до Wi-Fi, прив'язка веб-маршрутів та запуск сервоприводу, що показано у лістингу 3.5. Саме тут система переходить до робочого стану.

#### Лістинг 3.5 – Ініціалізація системи у функції `setup()`

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  gateServo.attach(servoPin);
  closeDoor();

  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(500);

  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/garage", handleGarage);
  server.on("/open", handleOpen);
}
```

```

server.on("/close", handleClose);
server.on("/toggle", handleToggle);
server.on("/auto", handleAuto);
server.on("/manual", handleManual);

server.begin();
}

```

Останній функціональний елемент системи – основний цикл `loop()`, наведений у лістингу 3.6, відповідає за постійне оновлення станів сенсорів, логіку зайнятості паркомісця та роботу веб-сервера.

### Лістинг 3.6 – Основний цикл `loop()`

```

void loop() {
    server.handleClient(); // Обробка HTTP-запитів

    long dist = getDistance();
    if (dist > 0 && dist < 20) {
        garageOccupied[currentGarage] = true;
    } else {
        garageOccupied[currentGarage] = false;
    }
}

```

Узагальнюючи, програмна реалізація системи забезпечує повноцінний цикл роботи: від отримання сенсорних даних та аналізу станів до формування інтерфейсу взаємодії з користувачем. Усі модулі працюють узгоджено, що підтверджено структурною та функціональною схемами.

У середині ESP32 реалізована інтегрована логіка, здатна працювати автономно й забезпечувати взаємодію з трьома незалежними гаражами, блокувати режими при зайнятості місця, керувати сервоприводами та формувати індикацію в реальному часі.

## 3.5 Web-застосунок та база даних

У межах програмної реалізації паркувальної системи було впроваджено локальну базу даних подій, яка працює безпосередньо на мікроконтролері

ESP32. Вона виконує функції реєстрації та зберігання ключових параметрів роботи системи, зокрема часових міток, стану дверей, активного режиму та вимірної ультразвуковим сенсором дистанції. База даних використовує кільцеву структуру, що забезпечує стабільну роботу при обмежених ресурсах пам'яті, а також дозволяє постійно оновлювати інформацію без ризику переповнення.

Веб-інтерфейс містить окрему сторінку перегляду журналу подій, де користувач може отримати доступ до збережених записів у хронологічному порядку. Формування сторінки здійснюється безпосередньо на боці ESP32, що робить систему повністю автономною. Дані з бази подій дозволяють аналізувати поведінку користувача, роботу алгоритмів автоматичного відкриття та закриття воріт, а також загальну історію взаємодії з системою.

Вставлений нижче програмний фрагмент (лістинг 3.7) демонструє реалізацію механізму запису подій та формування веб-сторінки архіву. Код включає функцію додавання нового запису до бази даних, а також обробник HTTP-запиту для відображення журналу у вигляді структурованого HTML-документа.

### Лістинг 3.7 – Реалізація бази даних подій та веб-сторінки журналу

```
// ===== БАЗА ДАНИХ ПОДІЙ =====
const int LOG_SIZE = 10;           // Максимальна кількість записів
String logHistory[LOG_SIZE];      // Масив подій
int logIndex = 0; // Поточний індекс у кільцевій структурі
// Додавання нового запису до бази даних
void addLog(const String &event) {
    unsigned long seconds = millis() / 1000; // Часова мітка
    у секундах з моменту запуску
    String record = "t=" + String(seconds) + " | " + event;
    logHistory[logIndex] = record;
    logIndex = (logIndex + 1) % LOG_SIZE;
}
// Веб-сторінка журналу подій
void handleLogPage() {
    String html = "<!DOCTYPE html><html><head>";
    html += "<meta charset='UTF-8'><meta name='viewport'
content='width=device-width, initial-scale=1'>";
    html += "<title>Журнал подій</title>";
    html += "<style>";
```

```

    html += "body{font-
family:Arial;background:#f5f5f5;margin:0;padding:20px;text-
align:center;}";
    html += ".container{background:white;border-
radius:10px;padding:15px;max-width:600px;margin:0 auto;box-
shadow:0 0 8px rgba(0,0,0,0.1);}";
    html += ".log-entry{text-align:left;border-bottom:1px
solid #eee;padding:5px 0;font-size:14px;}";
    html += "button{margin-top:15px;padding:8px
16px;border:none;border-
radius:5px;background:#3498db;color:white;cursor:pointer;}";
    html += "button:hover{background:#2980b9;}";
    html += "</style></head><body>";
    html += "<div class='container'>";
    html += "<h1>Журнал подій системи</h1>";
    bool hasData = false;
    for (int i = 0; i < LOG_SIZE; i++) {
        int index = (logIndex + i) % LOG_SIZE;
        if (logHistory[index].length() > 0) {
            hasData = true;
            html += "<div class='log-entry'>" + logHistory[index] +
"</div>";
        }
    }
    if (!hasData) {
        html += "<p>Журнал подій порожній.</p>";
    }
    html += "<button onclick='\"location.href='/'\">На
головну</button>";
    html += "</div></body></html>";
    server.send(200, "text/html", html);
}

```

База подій інтегрована у всі основні функції системи. Кожна зміна стану дверей, вибір режиму роботи, визначення зайнятості паркомісця або вимірювання дистанції супроводжується відповідним записом у базу.

На рис. 3.2 наведено приклад веб-сторінки журналу подій паркувальної системи, що формується безпосередньо мікроконтролером ESP32. Інтерфейс відображає хронологічний перелік зафіксованих подій із вказанням часових міток та текстового опису дій, виконаних системою або користувачем. Такий підхід дає змогу наочно проаналізувати роботу алгоритмів, оцінити коректність переходів між режимами та відслідковувати історію станів гаражних воріт у реальному часі.

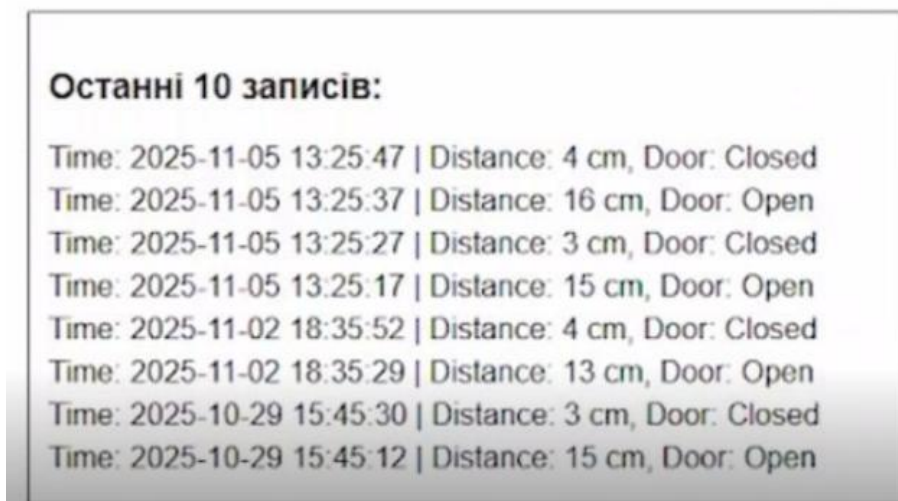


Рисунок 3.2 – Веб-сторінка журналу подій паркувальної системи

На рис. 3.3 наведено приклад візуалізації веб-сторінки з простим та зручним для користувача інтерфейсом. Користувачу пропонується обрати номер гаражу - паркомісце.

## Оберіть гараж

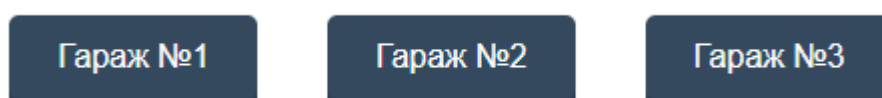


Рисунок. 3.3 - Приклад візуалізації веб-сторінки з вибором гаражу

На рис. 3.4 зображено меню керування паркувальною системою, що містить інформацію, чи вільне місце у гаражі, що було обрано.



Рисунки 3.4 – Меню керування паркувальною системою

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне дослідження сучасних технологій розумного будинку, принципів побудови інтелектуальних паркувальних систем та можливостей інтеграції мікроконтролерних платформ із сенсорними модулями для реалізації функціональної моделі системи контролю паркування.

Проведений порівняльний аналіз різних типів сенсорів – ультразвукових, інфрачервоних, магнітних, оптичних, індукційних та гібридних дав змогу оцінити їхню придатність для використання у компактних та закритих середовищах, характерних для розумного будинку.

У результаті проектування була реалізована апаратна модель паркувальної системи, до складу якої увійшли: мікроконтролер ESP32, ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик перешкод YL-63, сервопривід SG90, RGB-світлодіоди та модуль активного бузера. Мікроконтролер ESP32 забезпечив обробку вимірювань, генерацію керуючих сигналів і бездротову передачу даних за допомогою Wi-Fi, що дало змогу реалізувати IoT-функціональність і дистанційний моніторинг системи.

Під час розроблення було описано алгоритми роботи системи, схеми взаємодії компонентів та ключові етапи апаратної і програмної реалізації. Модель успішно продемонструвала можливості точного визначення відстані до перешкод та адаптивного реагування за допомогою світлових і звукових оповіщень.

Система може бути удосконалена з можливістю реалізації локальної обробки даних безпосередньо на мікроконтролері. Це дозволить знизити навантаження на централізований сервер у випадках, коли використовується багато підключених до нього систем.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ





1. Аналіз сучасних викликів українського ринку технологій «розумний будинок» / — аналіз у збірнику Управління розвитком складних систем; Київ : КНУБА, – 2024. — С. 181–187.
2. Мельник О.М., Петренко А.Ю. Основи Інтернету речей: навчальний посібник. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2022. – 178 с. / (дата звернення 30.05.2025 р.)
3. Гнатченко Є.В. Огляд сучасних паркувальних підсистем в системах Smart Home. / Є.В. Гнатченко // Матеріали тез 29-го міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» – м. Харків, травень 2025. – С. 48–49.
4. Sant A., Garg L., Xuereb P., Chakraborty C. A Novel Green IoT-Based Pay-As-You-Go Smart Parking System / A. Sant, L. Garg, P. Xuereb, C. Chakraborty // Future Internet. – 2021. – Vol. 13, No. 7. – P. 172-175.
5. Floris A., Porcu S., Atzori L., Girau R. A Social IoT-based platform for the deployment of a smart parking solution / A. Floris, S. Porcu, L. Atzori, R. Girau // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 15. – P. 431-445.
6. Chauhan V., Patel M., Tanwar S., Tyagi S., Kumar N. IoT Enabled Real-Time Urban Transport Management System / V. Chauhan, M. Patel, S. Tanwar, S. Tyagi, N. Kumar // Internet of Things. – 2021. – Vol. 14. – P. 103-110.
7. Шевченко І., Гончарук М. Сучасні технології управління розумним будинком: від проектування до інтеграції з системами автоматизації / І. Шевченко, М. Гончарук // Інформаційні технології та автоматизація. – 2022. – №2. – с. 29–35.
8. Нападій О., Цьопа Н., Батрак Є. Система автоматизації пошуку місць для паркування / О. Нападій, Н. Цьопа, Є. Батрак // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2023.
9. Поліщук І. А. Особливості впровадження систем автоматизованого

паркування у великих містах / І. А. Поліщук // Наукові праці ВНТУ. – 2024. – № 2. – С. 1–5.

10. Красіцька С. Б., Тарасенко М. Г. Впровадження електронних систем розумного будинку з підвищеною ефективністю / С. Б. Красіцька, М. Г. Тарасенко // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 7-8 грудня, 2022. – 178 с.

11. Смірнов В.В., Смірнова Н.В., Пархоменко Ю.М. «Програмування мікроконтролерних систем».: Навчальний посібник; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 262 с.

## Відомість кваліфікаційної роботи

	Прізвище та ініціали відповідальної особи	Підпис	Дата
<p>Роботу виконав студент групи СКСм-24-1</p> <p>Структура кваліфікаційної роботи:</p> <p>– пояснювальна записка <u>67</u> с.;</p> <p>– графічний матеріал <u>17</u> арк..</p>	Гнатченко Є.В.		10.12.25
Керівник роботи	Ларченко Л.В.		12.12.25
<p>Перевірка на плагіат здійснена.</p> <p>Оригінальність авторського тексту складає <u>94</u> %</p>	Литвинова Є.І.		14.12.25
Нормоконтроль проведено :	Ларченко Л.В.		15.12.25