

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розумна аудіосистема сповіщення універсального
призначення на основі мікроконтролера ESP з вбудованим веб-
сервером»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

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

	Артем ЛУЦЕНКО
<i>(підпис)</i>	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача</i>

Виконав:	здобувач вищої освіти гр. ІСД-41 Артем ЛУЦЕНКО
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

Керівник:	
<i>науковий ступінь, вчене звання</i>	Сергій СОЛОМАХА, к. е. н.
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

Рецензент:	
<i>науковий ступінь, вчене звання</i>	
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Луценко Артем Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розумна аудіосистема сповіщення універсального призначення на основі мікроконтролера ESP з вбудованим веб-сервером

керівник кваліфікаційної роботи Сергій СОЛОМАХА, к. е. н.,

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
від «24» 02 2025 р. № 56

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «30» 05 2025 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: технічна документація мікроконтролера ESP та протоколу MQTT, HTTP, технічна та наукова література, офіційні відомості про системи аудіосповіщення України
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 1. Огляд існуючих рішень розумного аудіосповіщення населення
 2. Розробка структури, архітектури автоматизованої системи аудіосповіщення
 3. Тестування розробленої системи та надання пропозицій щодо перспектив використання

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» 02 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	01.03.2025 р.	
2	Дослідження існуючих систем автоматичного аудіосповіщення та аналіз технічних рішень	15.03.2025 р.	
3	Формулювання технічного завдання, функціональних та нефункціональних вимог на розробку системи аудіосповіщення	17.03.2025 р.	
4	Вибір технологічного стеку та проектування архітектури і монтажною схеми системи аудіосповіщення	4.04.2025 р.	
5	Реалізація та тестування системи аудіосповіщення	16.05.2025 р.	
6	Розробка демонстраційних матеріалів	26.05.2025 р.	
7	Попередній захист дипломної роботи	27.05.2025 р.	
8	Подання роботи в деканат	30.05.2025 р.	

Здобувач(ка) вищої освіти

(підпис)

Артем ЛУЦЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Сергій СОЛОМАХА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 62 стор., 24 рис., 2 табл., 14 джерел.

Мета роботи – аналіз існуючих систем аудіосповіщення, дослідження технологічних рішень для створення "розумних" аудіосистем та розробка прикладної системи аудіосповіщення на базі ESP8266.

Об'єкт дослідження – процес розробки та впровадження сучасних систем аудіосповіщення для підвищення ефективності інформування населення.

Предмет дослідження – способи розробки та практична реалізація системи аудіосповіщення на базі мікроконтролера ESP8266 з можливістю віддаленого веб-керування.

Короткий зміст роботи:

Визначено стан сучасної сфери аудіосповіщення, проаналізовано існуючі системи та технологічні рішення.

Здійснено огляд популярних технологічних рішень для створення "розумних" аудіосистем, включаючи бездротові технології, голосове керування та інтеграцію зі стрімінговими сервісами.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено систему аудіосповіщення на базі ESP8266 з можливістю віддаленого веб-керування.

Впровадження розробленої системи дозволяє підвищити ефективність процесу оповіщення, забезпечити зручність управління та розширити можливості інтеграції з іншими системами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АУДІОСПОВІЩЕННЯ, СИСТЕМА ОПОВІЩЕННЯ, ГУЧНОМОВЕ ОПОВІЩЕННЯ, ESP8266, МІКРОКОНТРОЛЕР, ВЕБ-ІНТЕРФЕЙС, БЕЗДРОТОВЕ КЕРУВАННЯ, РОЗУМНІ СИСТЕМИ, ОПОВІЩЕННЯ НАСЕЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a bachelor's degree: 62 pages, 24 figures, 2 tables, 14 sources.

The purpose of the work is to analyze existing audio notification systems, study technological solutions for creating "smart" audio systems and develop an application audio notification system based on ESP8266.

The object of the study is the process of development and implementation of modern audio notification systems to increase the effectiveness of informing the population.

The subject of the study is the methods of development and practical implementation of an audio notification system based on a ESP8266 microcontroller with the possibility of remote web control.

Summary of the work:

The state of the modern field of audio notification is determined, existing systems and technological solutions are analyzed.

An overview of popular technological solutions for creating "smart" audio systems, including wireless technologies, voice control and integration with streaming services, is carried out.

Based on the results of the research, an audio notification system based on ESP8266 with the possibility of remote web control was developed.

The implementation of the developed system allows you to increase the efficiency of the notification process, provide ease of management and expand the possibilities of integration with other systems.

KEYWORDS: AUDIO ALERTS, ALERT SYSTEM, HANDS-FREE ALERT, ESP8266, MICROCONTROLLER, WEB INTERFACE, WIRELESS CONTROL, SMART SYSTEMS, PUBLIC ALERTS, AUTOMATION TECHNOLOGIES.

ВІДГУК

РЕЦЕНЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АУДІОСПОВІЩЕННЯ	15
1.1. Аналіз існуючих систем аудіооповіщення в громадських місцях та аварійних систем сповіщення	15
1.2. Популярні технологічні рішення для створення розумних аудіосистем	21
1.3. Технічні вимоги до сучасних систем звукового оповіщення	27
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АУДІОСПОВІЩЕННЯ	32
2.1. Архітектура системи аудіосповіщення та схема розташування компонентів	32
2.2. Огляд спеціалізованого апаратного та програмного забезпечення для налаштування та моніторингу системи	35
2.3. Розробка алгоритмів програмного управління розумною системою сповіщення	44
3. РЕАЛІЗАЦІЯ І ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ АУДІОСПОВІЩЕННЯ	52
3.1. Розробка та збірка системи аудіосповіщення	52
3.2 Аналіз результатів системи аудіосповіщення на основі мікроконтролера ESP	61
3.3. Висновки щодо ефективності запропонованого рішення та рекомендації впровадження.....	67
ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

ВСТУП

Сучасні системи аудіосповіщення репрезентують собою критично значущий компонент інфраструктури безпеки, призначений для оперативного інформування населення в умовах виникнення надзвичайних ситуацій. Дані системи є комплексними інженерно-технічними утвореннями, що інтегрують організаційні засади, технічні засоби та технологічні методики для ефективного транслявання сигналів та релевантної інформації. Пріоритетною метою функціонування таких систем визначено негайне привернення уваги максимально широкого загалу до серйозних загроз та сповіщення про іманентну небезпеку, що детермінує необхідність невідкладних заходів захисту.

Актуальність представленого дисертаційного дослідження зумовлена тим фактом, що, попри стратегічну важливість систем аудіосповіщення, значна частка наявної інфраструктури, зокрема в Україні, характеризується суттєвим ступенем фізичного зносу та моральної застарілості. Ця обставина генерує низку іманентних проблем, серед яких обмеженість географічного покриття, пролонгація часових інтервалів затримки при передачі сигналів тривоги та, як наслідок, загальне зниження операційної ефективності системи. Зазначені аспекти набувають особливої критичності в умовах динамічного розвитку та комплексної природи сучасних надзвичайних ситуацій. Повномасштабне вторгнення Російської Федерації на територію України у 2022 році вкотре рельєфно актуалізувало нагальну потребу в модернізації та підвищенні рівня надійності систем оповіщення населення.

Метою даної дипломної роботи є всебічний аналіз технічних особливостей функціонування сучасних систем аудіосповіщення, поглиблене дослідження поширених технологічних рішень для конструювання так званих "розумних" аудіосистем та розробка прикладного проєкту такої системи на базі мікроконтролера ESP.

Для досягнення сформульованої мети в ході дослідження було вирішено комплекс завдань, що включав аналіз існуючих систем аудіооповіщення в

громадських локаціях та аварійних систем сповіщення, з детальним розглядом їх ключових компонентів та фундаментальних принципів функціонування. Було здійснено дослідження популярних технологічних рішень, спрямованих на створення "розумних" аудіосистем, зокрема бездротових технологій, голосових асистентів, мультирумних архітектур та засобів інтеграції зі стрімінговими сервісами. Важливим етапом стало визначення технічних вимог, що висуваються до сучасних систем звукового оповіщення, передусім у контексті забезпечення надійності, якості звукопередачі, здатності до інтеграції з іншими інженерними системами та відповідності чинним стандартам. Центральною частиною роботи стала розробка архітектури системи аудіосповіщення на основі мікроконтролера ESP, що охоплювала створення детальної схеми розташування компонентів. Було запропоновано оригінальні алгоритми програмного управління "розумною" системою сповіщення, що забезпечують ефективну обробку подій, керування процесом аудіовідтворення та налагоджену взаємодію з веб-інтерфейсом. Завершальним етапом стала практична реалізація та комплексне тестування розробленої системи аудіосповіщення.

Об'єктом даного дослідження виступають процеси функціонування та сукупність технічних характеристик сучасних систем аудіосповіщення. Предметом дослідження є розробка та подальша практична реалізація системи аудіосповіщення, що базується на мікроконтролері ESP та передбачає можливість віддаленого веб-керування.

У процесі виконання роботи було застосовано методи системного аналізу для комплексного вивчення об'єкта, порівняльного аналізу для оцінки альтернативних рішень, моделювання для теоретичного обґрунтування запропонованих підходів та експериментального дослідження для верифікації отриманих результатів.

Практична значущість здобутих результатів полягає у розробці універсального, економічно доступного та гнучкого рішення для створення сучасної системи аудіосповіщення, здатної до адаптації під різноманітні потреби та специфічні умови експлуатації. Запропонована система, побудована на базі

мікроконтролера ESP та оснащена інтуїтивним веб-інтерфейсом, дозволяє суттєво підвищити ефективність та зручність управління процесом оповіщення.

Структурно дипломна робота складається зі вступу, трьох основних розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Перший розділ присвячено детальному розгляду технічних особливостей функціонування сучасних систем аудіосповіщення. У другому розділі викладено методологічні засади та практичні аспекти проєктування системи аудіосповіщення. Третій розділ містить опис процесу реалізації та результати тестування розробленої системи.

Апробація дослідження здійснювалась у формі участі в II всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу» з поданням тез на тему "Створення розумної аудіосистеми для сигналів тривоги, повідомлень та музики, що вмикається залежно від розкладу або зовнішніх факторів"

1 ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АУДІОСПОВІЩЕННЯ

1.1. Аналіз існуючих систем аудіооповіщення в громадських місцях та аварійних систем сповіщення

Система оповіщення — це комплекс організаційних та технічних дій, пристроїв та технологічних методів сповіщення, обладнання, засобів і каналів зв'язку, які необхідні для вчасного передавання сигналів та інформації з цивільної оборони центральним і місцевим органам виконавчої влади, підприємствам, установам, організаціям та громадянам. Їх основна мета — оперативно привернути увагу якомога більшої кількості людей до серйозної загрози, тим самим сповістити населення про неминучу небезпеку, від якої необхідно негайно захищатися.

Оповіщення населення реалізується дистанційно — через електромеханічні сирени (зовнішні), радіомережі усіх частотних діапазонів та типів модуляції, телебачення та мобільний зв'язок.[1]

Екстрені повідомлення, які передаються територіальними органами цивільної оборони та надзвичайних ситуацій, потенційно небезпечними підприємствами, повинні починатися з уривчастого звучання електричних сирен, розміщених на відповідній території (включно з пересувними), а також із запису — через радіомережі, що означає "Увага всім!" показано на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 Система оповіщення в місті Кристал

В Україні, станом на 2022 рік, діяла, здебільшого, застаріла система сповіщення цивільного населення, яка не зазнавала оновлень понад півстоліття.

Напередодні російського вторгнення, що розпочалося 24 лютого 2022 року, київська влада планувала перехід з аналогової системи на цифрову, але впровадити зміни до початку повномасштабної агресії з боку Російської Федерації не вдалося. Для прикладу, у Києві сирени розміщувалися на дахах підприємств, їх налічувалося близько 150. Проте площа покриття ними міста була невеликою, адже з часу їх встановлення з'явилося багато нових житлових районів, а застаріла система сповіщення не враховувала сучасну інфраструктуру та акустичні особливості різних районів Києва. Подібна ситуація спостерігалася й у більшості інших міст України.

У випадку несправності сирен, наприклад, через вимкнення електроенергії, про небезпеку можуть сповіщати через гучномовці, встановлені на автомобілях патрульної поліції, пожежників, рятувальників або аварійної служби (деякі електромеханічні сирени можуть мати приводи ручного керування, але гучність звуку в такому разі буде дещо нижчою).

Існує кілька різновидів сигналів. Один довгий рівномірний гудок, тривалістю до 7 секунд, зазвичай є попереджувальною сиреною. Почувши її, необхідно увімкнути державні радіо- чи телеканали та слухати поради щодо дій у подібних ситуаціях.[2]

Звук, що почергово наростає та спадає, триває протягом хвилини та повторюється не менше трьох разів, означає необхідність негайно перейти в

укриття. Це — загальна тривога. Короткий п'ятисекундний сигнал, що лунає після завершення загальної тривоги, означає «Відбій повітряної тривоги».

З початком війни місцеві державні адміністрації додатково інформують про початок і відбій повітряної тривоги на своїх офіційних сайтах та в соцмережах. У Києві сповіщення надходять у застосунку «Київ Цифровий».

Багато українців також користуються застосунком «Тривога!», в якому можна налаштувати сповіщення для різних регіонів країни. Крім того, у багатьох областях України місцева влада використовує для сповіщень окремі спільноти чи канали миттєвих повідомлень (месенджери).

За виявлення повітряної загрози в Україні відповідають радіолокаційні підрозділи Військ протиповітряної оборони України.

Вони визначають усі повітряні цілі як над Україною, так і за її межами. Коли на екранах радарів спостереження з'являються позначки літальних апаратів, що рухаються у бік території України, та є дані про те, що це ворог, подається команда «Повітря». Черговий повітряних сил ЗСУ протягом трьох хвилин має здійснити телефонний дзвінок спеціальним зв'язком, після чого сирену вмикає місцева влада. Тож, якщо час підльоту повітряної загрози надто малий (наприклад, швидкісна ворожа ракета запускається з близької відстані — 30...50 км), сигнал «Повітряна тривога» може пролунати із запізненням.

Виявити всі повітряні загрози, як правило, неможливо. Літаки-ракетоносці можна відстежувати за допомогою супутників та інших засобів розвідки, але визначити момент запуску ракет із них дуже складно. Ракети є малопомітними цілями, а деякі крилаті ракети та вертольоти можуть летіти так низько, що радары повітряних сил їх просто не здатні зафіксувати, натомість їх можуть почути та побачити звичайні люди.

Повітряна тривога не завжди означає, що ворожі ракети чи літаки прямують саме до певної області чи міста. Її оголошують відповідно до факту зльоту, адже зрозумілий лише загальний напрямок руху ракети, а точне місце, куди вона може влучити, визначити важко. Наприклад, крилата ракета може змінювати свій курс вправо і вліво, розвертатися в протилежному напрямку або взагалі зникати з

радарів за природними перешкодами. Через це систему сповіщення вмикають по чергові — відповідно до можливого прямування ракети, але охоплюючи також і сусідні регіони. Екран спостереження за повітряним простором: червоні мітки — повітряні об'єкти, кільця позначають відстань, показано на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Екран стеження за повітряним простором

Подібні системи сповіщення, хочай з певними варіаціями, можна зустріти в багатьох країнах, наприклад, у США, Канаді, Ізраїлі, Великобританії; Німеччині, Австрії, Франції, Італії, Нідерландах, Данії, Норвегії, Швейцарії, Фінляндії, Латвії та інших країнах ЄС; Японії, Китаї, Сінгапурі та інших.

Як функціонує система аудіосповіщення? Аудіосистеми сповіщення розроблені для оперативного та ефективного інформування населення про екстрені ситуації, пожежі, аварії, терористичні загрози та інші небезпеки. Головна мета — своєчасне попередження та організація евакуації.

Етапи роботи системи починаються з виявлення події. Система отримує сигнал про небезпеку з різних джерел. До таких джерел належать протипожежні датчики (диму, температури, полум'я), газові датчики, кнопки ручного сповіщення, а також системи безпеки, такі як сигналізація та системи контролю доступу. Сигнал також може надходити від операторів — диспетчерів, охоронців

або відповідальних осіб.

Після отримання сигналу відбувається обробка сигналу. Центральний блок управління (контролер) приймає сигнал, аналізує його та запускає відповідний сценарій оповіщення. Далі здійснюється передача повідомлення. Контролер надсилає аудіоповідомлення, яке може бути заздалегідь записаним або згенерованим в реальному часі, через мережу до гучномовців. На завершальному етапі відбувається відтворення повідомлення. Гучномовці відтворюють повідомлення, інформуючи людей про небезпеку та подальші дії.

Щодо схем та графіків ефективності, то, на жаль, я не можу згенерувати графічні зображення. Проте, існують основні типи схем та параметри, що впливають на ефективність системи. Структурна схема відображає взаємозв'язок між компонентами системи, такими як датчики, контролер, підсилювач та гучномовці. Схема зон сповіщення показує розподіл гучномовців по зонах (поверхи, сектори будівлі), що дає змогу транслювати різні повідомлення в різні зони. Графік рівня звукового тиску (SPL) демонструє рівномірність розподілу звуку в приміщенні, де важливо, щоб рівень SPL був достатнім для забезпечення чіткості мовлення в усіх точках зони оповіщення. Графік часу евакуації відображає залежність часу евакуації від моменту початку сповіщення, і ефективна система повинна забезпечувати мінімальний час евакуації.

Критеріями ефективності є розбірливість мови, яка визначає, наскільки зрозуміле повідомлення та вимірюється за допомогою спеціальних тестів. Важливим є рівень звукового тиску (SPL), який має бути достатнім для подолання фонового шуму. Також важливим є час реакції системи, тобто час від виявлення події до початку сповіщення, а також надійність, що означає безперебійну роботу системи в різних умовах. Зональність, тобто можливість сповіщення окремих зон, та інтеграція з іншими системами, такими як пожежна сигналізація та система контролю доступу, також є важливими критеріями.

Технічний опис ключових компонентів включає блок живлення, який забезпечує електроенергією всі компоненти системи, і важливо використовувати резервні джерела живлення (акумулятори, ДБЖ) для безперебійної роботи у разі

відключення електроенергії. Джерела безперебійного живлення (ДБЖ) забезпечують короткочасне живлення системи при відключенні основного джерела, і час їх роботи залежить від їх потужності та навантаження. Контролер (центральний блок управління) є "мозком" системи, який отримує сигнали, обробляє їх та керує сповіщенням. Підсилювачі збільшують потужність аудіосигналу для відтворення гучномовцями. Гучномовці перетворюють електричний сигнал на звук, і існують різні їх типи: настінні, стельові, рупорні, залежно від призначення та акустичних особливостей приміщення.

Протоколи передавання даних використовуються для обміну інформацією між компонентами системи. Поширені протоколи включають аналогові, які є традиційними методами передачі аудіосигналу, та цифрові (IP), що використовують мережу Ethernet для передавання даних, забезпечуючи більшу гнучкість та масштабованість. Протоколи VoIP (SIP, RTP) часто використовуються для передавання аудіо. Датчики фіксують небезпечні події та передають сигнал на контролер. Мікрофони (для трансляції в реальному часі) дозволяють оператору передавати голосові повідомлення. Кабельна інфраструктура забезпечує з'єднання між компонентами системи, і важливо використовувати якісні кабелі та дотримуватися правил монтажу. [3]

Додаткові компоненти можуть включати станції ручного сповіщення, які є кнопками або важелями для ручного запуску сповіщення, інтерфейси інтеграції з іншими системами, що є модулями для підключення до пожежної сигналізації, системи контролю доступу та інших систем, а також програмне забезпечення для управління та моніторингу, яке дозволяє налаштовувати систему, контролювати її роботу та отримувати інформацію про стан компонентів. Сучасну автоматизовану систему показано на рис 1.3.

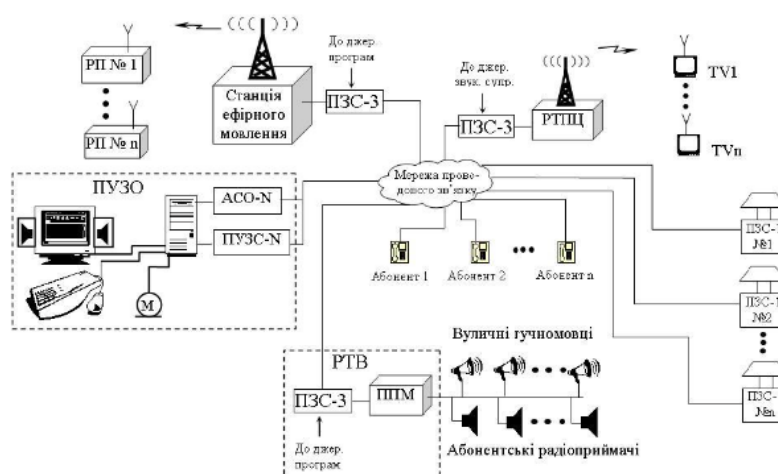


Рисунок 1.3 - Сучасна автоматизована система оповіщення

Сучасна автоматизована система оповіщення, окрім сигналу «Увага всім», дозволяє виконати адресне сповіщення населення залежно від типу надзвичайної ситуації, її масштабу та прогнозу розвитку.

1.2. Популярні технологічні рішення для створення розумних аудіосистем

Сучасні розумні аудіосистеми являють собою високотехнологічні рішення, що поєднують якісне відтворення звуку з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача та інтеграцією в екосистему розумного дому. Завдяки застосуванню бездротових технологій, голосового керування та можливості взаємодії зі стрімінговими сервісами та мультирумними платформами, користувачі отримують розширені можливості для персоналізації звукового простору. Стрімкий прогрес у сфері інформаційних технологій перетворив аудіосистеми з простого засобу відтворення звуку на важливий елемент автоматизованого житлового середовища, що сприяє створенню цілісного, зручного та інтегрованого простору.

У процесі створення інтелектуальних аудіосистем застосовується широкий

спектр технологічних рішень. Серед них особливе місце займають бездротові стандарти зв'язку, інтелектуальні голосові асистенти, платформи потокового аудіоконтенту, мультирумні технології та інші інноваційні розробки, спрямовані на забезпечення максимального комфорту користування. Розглянемо докладніше ключові технології, що лежать в основі сучасних розумних аудіосистем.[4]

Технології бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth є фундаментальними для функціонування розумних аудіосистем. Wi-Fi використовується для встановлення з'єднання аудіосистем з мережею Інтернет або локальними мережами, що забезпечує можливість безпосереднього відтворення музичного контенту з онлайн-сервісів, таких як Spotify, Tidal та Apple Music, через інтелектуальні акустичні пристрої. Завдяки стабільному з'єднанню на значних відстанях, Wi-Fi може забезпечувати вищу якість передачі аудіосигналу порівняно з Bluetooth. У свою чергу, Bluetooth є основною технологією для бездротового з'єднання на коротких відстанях, забезпечуючи зручність підключення мобільних пристроїв, таких як смартфони, планшети та ноутбуки, до Bluetooth-сумісних акустичних систем. Незважаючи на обмежений радіус дії (зазвичай до десяти метрів), існують стандарти aptX та LDAC, які мінімізують втрати якості при передачі аудіо через Bluetooth, забезпечуючи відтворення звуку високої роздільної здатності.

Голосові асистенти, такі як Amazon Alexa, Google Assistant та Apple Siri, відіграють дедалі важливішу роль в екосистемі розумних аудіосистем, надаючи користувачам можливість керування відтворенням музики без фізичного контакту з пристроєм. За допомогою голосових команд користувачі можуть контролювати процес відтворення, регулювати рівень гучності, перемикаючи музичні композиції, а також інтегрувати аудіосистему в загальну інфраструктуру розумного дому. Багато сучасних аудіосистем підтримують інтеграцію з Amazon Alexa, зокрема колонки серії Amazon Echo, що дозволяє користувачам здійснювати голосове керування програвачами, плейлистами, гучністю та навігацією між треками. Google Assistant, вбудований у більшість пристроїв Google, таких як Google Nest Audio та Chromecast, також забезпечує голосове керування відтворенням аудіо та підтримує мультирумні можливості через платформу Google Home, що дозволяє

синхронізувати відтворення на різних звукових пристроях у межах одного житла. Пристрої Apple, включаючи HomePod та AirPods, підтримують голосового помічника Siri, що надає користувачам можливість керувати музикою за допомогою голосових команд та інтегрувати аудіосистеми в екосистему Apple.[5]

Мультирумні аудіосистеми забезпечують можливість відтворення як ідентичного, так і різного аудіоконтенту в різних приміщеннях одночасно, підвищуючи зручність користування та надаючи можливість налаштування індивідуальних звукових зон у межах оселі. Компанія Sonos є одним з лідерів у галузі мультирумних аудіосистем, пропонуючи рішення для синхронізації кількох акустичних пристроїв, розташованих у різних кімнатах. Їхня технологія Trueplay здійснює автоматичну адаптацію звуку до акустичних характеристик приміщення для досягнення оптимальної якості звучання. Системи Sonos підтримують голосове керування через Alexa та Google Assistant, а також інтегруються з популярними музичними стрімінговими сервісами. Технологія Google Cast (Chromecast Audio) дозволяє здійснювати потокову передачу аудіоконтенту на різні акустичні системи, підтримуючи синхронізацію відтворення з мобільних пристроїв або персональних комп'ютерів. Apple AirPlay 2 є рішенням для створення мультирумних аудіосистем на базі пристроїв Apple, забезпечуючи високоякісну передачу звуку та підтримуючи синхронізацію кількох пристроїв для одночасного відтворення.

Інтеграція з популярними музичними стрімінговими сервісами є ключовою функціональною особливістю сучасних розумних аудіосистем. Spotify Connect дозволяє встановлювати пряме підключення аудіосистем до сервісу Spotify без використання Bluetooth або Wi-Fi, надаючи користувачам можливість керувати відтворенням музики через мобільний додаток Spotify, навіть якщо відтворення вже відбувається на акустичній системі. Інтеграція з Apple Music надає користувачам пристроїв Apple можливість відтворювати музику через свої пристрої, включаючи колонки HomePod та пристрої з підтримкою AirPlay 2, а також здійснювати голосове керування через Siri. Такі сервіси, як Tidal, Deezer та Amazon Music, також підтримують інтеграцію з розумними аудіосистемами,

причому Tidal відомий своєю підтримкою аудіо високої роздільної здатності (Hi-Res).

Технології просторового звуку, такі як Dolby Atmos, забезпечують ефект об'ємного звучання, створюючи враження тривимірного звукового простору. Ця технологія особливо ефективна для аудіосистем домашніх кінотеатрів, але також застосовується для покращення якості відтворення музики в розумних аудіосистемах, створюючи відчуття, що звук надходить з різних точок у просторі, що додає глибини та реалістичності звуковій картині.

Інтерфейси для керування та налаштування розумних аудіосистем включають мобільні додатки для платформ Android та iOS, які надають користувачам можливість налаштовувати параметри системи, створювати плейлисти та керувати мультирумними конфігураціями. Популярними прикладами таких додатків є Sonos, Bose Music та Google Home. Крім того, багато розумних аудіосистем оснащуються фізичними контролерами, такими як пульти дистанційного керування або сенсорні панелі, для безпосереднього керування звуком, відтворенням та налаштуваннями.

Інтеграція розумних аудіосистем з іншими пристроями розумного дому, такими як розумне освітлення (наприклад, Philips Hue), розумні термостати (наприклад, Nest) та системи безпеки, дозволяє створювати автоматизовані сценарії, наприклад, автоматичне ввімкнення музики при активації «нічного режиму». Технології автоматичного налаштування звуку, такі як автокалібрування, дозволяють автоматично адаптувати звучання аудіосистеми до акустичних характеристик конкретного приміщення. Прикладами таких технологій є Sonos Trueplay, Bose SoundTouch та Yamaha YPAO, які використовують вбудовані або зовнішні мікрофони для вимірювання акустики приміщення та коригують налаштування звуку для досягнення оптимальної якості відтворення.[6]

Отже, сучасні розумні аудіосистеми є не лише високоякісними пристроями для відтворення звуку, але й надзвичайно зручними та інтегрованими рішеннями для користувачів, що забезпечують широкі можливості керування голосом,

мобільними додатками та автоматизації в рамках концепції розумного дому. Інтеграція розумних аудіосистем з освітленням, клімат-контролем та системами безпеки дозволяє створювати складні сценарії автоматизації, де голосові помічники можуть одночасно активувати відтворення музики, регулювати освітлення та налаштовувати температурний режим у приміщенні. Розумну систему аудіосповіщення показано на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 - Apple HomePod

Технології створення розумних аудіосистем продовжують еволюціонувати, пропонуючи користувачам якісний звук, зручність і інтеграцію з іншими сучасними технологіями. Завдяки широким можливостям ці системи стали важливим елементом сучасного побуту, відповідаючи вимогам як звичайних користувачів, так і аудіофілів.

Система аудіооповіщення складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію в забезпеченні ефективної роботи системи.

Блок живлення забезпечує електроживлення всіх компонентів системи. Його технічні параметри включають вхідну напругу (наприклад, 220–240 В AC, 50/60 Гц), вихідну напругу (наприклад, 24 В DC або 12 В DC), а також потужність (Вт), що визначає максимальне навантаження, яке може витримати блок. Правильний розрахунок потужності важливий для забезпечення стабільної роботи підключених пристроїв. Крім того, блок живлення характеризується

максимальним струмом (А), який він здатен видавати, а також має захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги.

Джерело безперебійного живлення (ДБЖ/UPS) гарантує резервне живлення у випадку відключення основного джерела електроенергії. Технічні параметри включають потужність (ВА або Вт), що визначає час автономної роботи (хв/год), який залежить від навантаження та ємності акумулятора. Важливими характеристиками є тип акумулятора (наприклад, свинцево-кислотний або літій-іонний), час його заряджання та наявність захисту від глибокого розряду, перенапруги і короткого замикання.

Контролер (центральний блок управління) здійснює керування всією системою, отримує сигнали від датчиків, запускає сценарії оповіщення та транслює повідомлення. Його технічні характеристики передбачають кількість зон оповіщення, кількість входів для датчиків або тригерів, кількість виходів для підключення підсилювачів та інших пристроїв. Також важливими є типи входів/виходів (релейні, аналогові, цифрові), підтримувані протоколи зв'язку (наприклад, Ethernet, RS-485), обсяг пам'яті для зберігання аудіоповідомлень, можливість запису й трансляції в реальному часі, а також функції віддаленого керування і моніторингу.

Підсилювач потужності відповідає за підсилення аудіосигналу для відтворення його гучномовцями. Його технічні параметри включають вихідну потужність (Вт), кількість каналів (моно, стерео або багатоканальний режим), імпеданс (Ом), який повинен відповідати опору підключених гучномовців, коефіцієнт гармонійних спотворень (THD), що визначає якість підсилення, та частотний діапазон відтворення.

Гучномовці (динаміки) перетворюють електричний сигнал у звук. До їхніх технічних характеристик належать потужність (Вт), яку вони здатні витримати без пошкодження, імпеданс (Ом), чутливість (дБ), що визначає ефективність перетворення електричної енергії у звук, частотний діапазон, тип монтажу (настінні, стельові, рупорні, підвісні), спрямованість (розподіл звуку в просторі) та ступінь IP-захисту від пилу й вологи.

Датчики призначені для виявлення небезпечних подій. Вони поділяються на такі типи: датчики диму (оптичні, іонізаційні), температури (максимальної температури або диференціальні), полум'я, газу (наприклад, чадного газу чи природного газу). Їхні технічні параметри включають мінімальний рівень події, який може бути виявлений, діапазон вимірювання та тип вихідного сигналу (релейний або аналоговий).

Кабелі та з'єднання забезпечують передачу електроживлення й даних між компонентами системи. До них належать кабелі живлення, аудіокабелі (екрановані для захисту від перешкод) та кабелі зв'язку (Ethernet, RS-485). Важливою характеристикою є здатність кабелів живлення витримувати необхідну силу струму.

Мікрофони, що використовуються для трансляції голосових повідомлень у реальному часі, можуть бути конденсаторними чи динамічними. Вони характеризуються спрямованістю (всенаправлені, кардіоїдні, гіперкардіоїдні) та здатністю передавати чітке звучання мовного повідомлення.

Програмне забезпечення здійснює налаштування, моніторинг і керування системою оповіщення. Воно дозволяє конфігурувати параметри системи, створювати сценарії оповіщення, контролювати стан компонентів, вести журнал подій і здійснювати віддалене керування.

1.3. Технічні вимоги до сучасних систем звукового оповіщення

Системи звукового сповіщення є невід'ємним складником сучасних публічних, комерційних та виробничих об'єктів. Їхнє основне завдання полягає в миттєвому та ефективному інформуванні людей у критичних ситуаціях, а також у забезпеченні організації евакуації та передачі даних. Щоб ефективно виконувати ці функції, такі системи повинні відповідати певним технічним критеріям.

Однією з основних вимог є надійність і безперервність роботи. Система повинна функціонувати без збоїв навіть в екстремальних умовах, як-от перебої з електропостачання або фізичні пошкодження. Для цього використовуються

резервні джерела енергії, зокрема, акумулятори або джерела безперебійного живлення (ДБЖ). Надійність також забезпечується дублюванням ключових компонентів системи, наприклад, підсилювачів та серверів управління.

Якість звуку є ще одним важливим аспектом. Передача повідомлень має бути чіткою, зрозумілою та легко розбірливою навіть у галасливих місцях. Для цього застосовуються спеціалізовані гучномовці з високим рівнем звукового тиску, а також алгоритми обробки звуку, що мінімізують шум та відлуння. Система має гарантувати рівномірний розподіл звуку на всій площі покриття, незалежно від її розмірів або особливостей.

Інтеграція з іншими системами – ще один ключовий фактор. Сучасні системи звукового оповіщення функціонують у взаємодії з пожежною сигналізацією, системами відеоспостереження, автоматизацією будівель та мережами "розумного дому". Застосування цифрових технологій, зокрема, IP-протоколів, забезпечує можливість централізованого керування та дистанційного контролю.[7]

Системи оповіщення також повинні бути пристосовані до різних типів об'єктів. У торгових центрах і на стадіонах вони мають забезпечувати високу потужність звуку та здатність працювати у великих приміщеннях. На промислових підприємствах акцент робиться на стійкості до агресивних факторів, як-от вібрація, пил чи висока вологість. Для шкіл та лікарень важливо забезпечити простоту управління та зручність в експлуатації.

Відповідність стандартам і нормативним вимогам є обов'язковою вимогою. Такі системи повинні відповідати місцевим та міжнародним стандартам, наприклад, EN 54-16 у Європі чи NFPA 72 у США. Це гарантує їхню ефективність та безпеку в екстремальних ситуаціях. Отже, сучасні системи звукового сповіщення повинні поєднувати надійність, якість звуку, сумісність із іншими інженерними системами та відповідність стандартам. Їхнє грамотне впровадження гарантує своєчасну передачу інформації та мінімізує ризики в екстрених ситуаціях.

Сучасні системи звукового сповіщення (СЗС) – це комплексні інженерні

системи, які забезпечують оперативну передачу голосових або звукових повідомлень в екстрених та стандартних ситуаціях. Їхня ефективність визначається набором вимог, що стосуються як апаратної, так і програмної частин системи.

Однією з ключових технічних характеристик сучасних СЗС є здатність працювати у багаторежимному форматі. Система повинна підтримувати функціонал для автоматичного та ручного управління. Наприклад, у звичайному режимі вона може застосовуватися для трансляції інформаційних оголошень або фонові музики, тоді як в екстреній ситуації її функції перемикаються на забезпечення оповіщення про небезпеку. Для цього передбачені спеціальні сценарії, які дозволяють запускати заздалегідь підготовлені голосові сповіщення.

Системи оповіщення та управління евакуацією показано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 - Системи оповіщення та управління евакуацією

Отже, сучасні системи звукового сповіщення еволюціонують як універсальні платформи, які здатні гарантувати гнучке керування, стабільність і високий ступінь інтеграції з іншими технологічними рішеннями. Їхнє використання суттєво поліпшує безпеку та зручність на об'єктах різноманітного функціоналу.

Основні вимоги до систем звукового оповіщення: система зобов'язана функціонувати без перебоїв у разі надзвичайної події. Ефективність: оповіщення

має надходити вчасно, бути зрозумілим та охоплювати всі потрібні ділянки. Автоматизація: система повинна автоматично активуватися при отриманні сигналу тривоги. Контрольованість: наявність можливості ручного запуску та контролю системи оператором. Інтеграція: можливість інтеграції з іншими системами безпеки (пожежна сигналізація, системи контролю доступу). Розрахунок необхідної потужності в приміщеннях представлений на рис. 1.5.

Тип приміщення	Визначення	$P_{\text{пит. Вт/10 м}^2}$
Нешумні	N1	1
З маленьким рівнем шуму	N2	2
Шумні приміщення	N3	3
З підвищеним рівнем шуму	N4	4
Дуже шумні приміщення	N5	5
Критичні приміщення	N6	6

Рисунок 1.5 - Потужність в приміщенні

Захоплюючий підхід до визначення потужності запропонувала команда німецьких науковців. Вони склали узагальнений графік, який демонструє взаємозв'язок між потрібною потужністю та відстанню джерела сигналу до слухача. Користуючись цією таблицею, можна приблизно оцінити необхідну потужність.[8]

Цей метод є надзвичайно корисним при розробці систем трансляції та оголошень, особливо коли потрібно охопити великі площі з використанням обмеженої кількості гучномовців. Однак, значний недолік полягає у тому, що графік було побудовано для конкретної акустичної системи з фіксованим значенням звукового тиску у 105 дБ.

Найбільш ефективним способом визначення потужності системи оповіщення вважається розрахунковий метод. Він базується на фізичній залежності звукового тиску, який генерується гучномовцем, від підведеної електричної потужності та відстані до зони озвучення. Звичайно, при проектуванні системи оповіщення пріоритетом є забезпечення того, щоб звукові сигнали, які використовуються для оповіщення та управління евакуацією людей,

були як мінімум на 15 дБ гучнішими за допустимий рівень фонового шуму в приміщенні. Вимірювання рівня звуку слід виконувати на відстані 1,5 м від стелі. Звукову потужність показано на рис. 1.6.

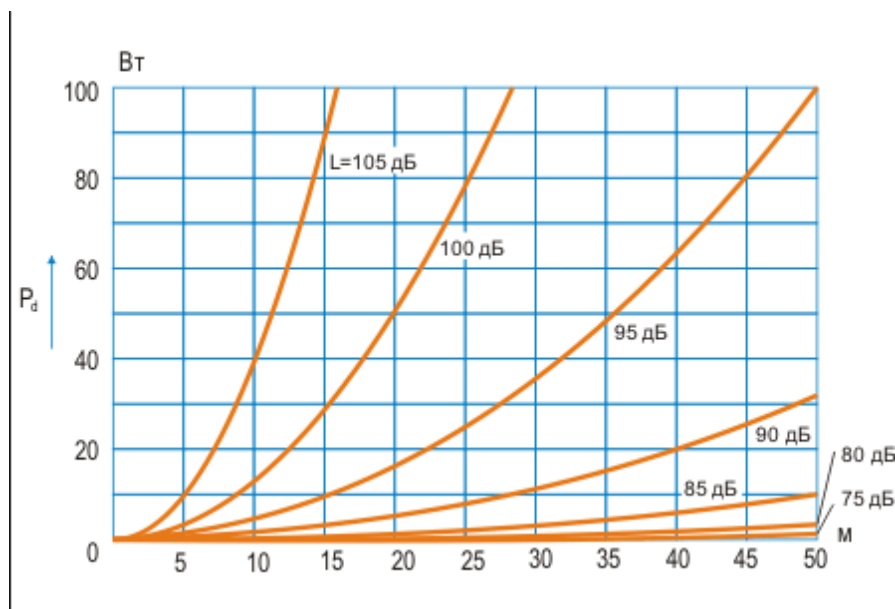


Рисунок 1.6 - Звукова потужність як функція відстані від джерела до слухач

Зображений графік показує залежність потужності (P_d , у Ватах) від деякої змінної ' M ' для різних фіксованих рівнів, виміряних у децибелах (дБ): 75, 80, 85, 90, 95, 100 та 105 дБ (позначено як $L=105$ дБ). Кожна крива відображає зростання потужності зі збільшенням значення на горизонтальній осі ' M ' для конкретного рівня в децибелах, причому вищі рівні дБ відповідають більш стрімкому зростанню потужності. Графік ілюструє, як змінюється потужність залежно від певного параметра при різних рівнях інтенсивності.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АУДІОСПОВІЩЕННЯ

2.1. Архітектура системи аудіосповіщення та схема розташування компонентів

Архітектура системи аудіосповіщення та схема розміщення складових є визначальними чинниками для забезпечення ефективного та безперебійного функціонування. Архітектура визначає, як компоненти системи взаємодіють між собою. Головні елементи такі: центральний блок управління, що є "розумом" системи, який обробляє сигнали, керує розподілом аудіо та забезпечує загальну координацію; джерела звуку, які генерують звукові сигнали, як-от мікрофони, програвачі, комп'ютери чи системи сповіщення про надзвичайні ситуації; лінії передачі, які передають звукові сигнали від центрального блоку до гучномовців; гучномовці, що перетворюють електричні сигнали в звук та відтворюють його; система живлення, що постачає електроенергію всім компонентам; система резервного живлення, що забезпечує безперервну роботу у випадку відключення основного живлення.

Схема розміщення компонентів визначає фізичне розташування складових. При розробці схеми потрібно враховувати розмір та конфігурацію приміщення, акустичні властивості, доступність для обслуговування, безпеку, довжину ліній передачі та тип приміщення. Ключові принципи побудови системи – це модульність, надійність, гнучкість та резервування. Важливими є дотримання стандартів та норм, а також якісне встановлення та налаштування системи.

Прикладом розробленої архітектури та схеми розміщення може бути типове офісне приміщення, де центральний блок включає матричний аудіопроцесор, підсилювач, систему керування та резервний блок живлення; джерела звуку включають мікрофони, аудіоплеєр, систему сповіщення про надзвичайні ситуації та комп'ютер; лінії передачі включають кабелі та Ethernet; гучномовці – стельові та настінні. Центральний блок розташований у серверній, джерела звуку – у ключових зонах, лінії передачі прокладені у кабельних каналах або за підвісною

стелею, гучномовці рівномірно розташовані по офісних приміщеннях. Діаграма архітектури системи аудіосповіщення показана на рис.2.1.



Рисунок 2.1- Діаграма архітектури систем аудіосповіщення

Ця схема показує ключові складові аудіосистеми оповіщення та взаємозв'язки між ними. Джерела звуку: мікрофони: для трансляції голосових повідомлень. Аудіоплеєр/ПК: для відтворення попередньо записаних повідомлень або фонової музики. Система аварійного оповіщення: для автоматичної передачі сигналів тривоги. Центральний блок керування: для спрямування та обробки звукових сигналів. Система управління: для налаштування та контролю роботи системи. Резервне живлення: для забезпечення безперервної роботи у випадку збою основного живлення. Підсилювач потужності: збільшує гучність звукового сигналу до рівня, необхідного для гучномовців. Гучномовці: для рівномірного розподілу звуку на великих площах. Настінні гучномовці: для направленої звуку

або зон з підвищеним шумом. Лінії передачі: для передачі аналогових аудіосигналів. Ethernet-мережа: для передачі цифрових аудіосигналів (IP-аудіо) та керуючих сигналів.

Функціонування розробленої системи аудіооповіщення - це комплексна взаємодія, що забезпечує розподіл та відтворення звуку у заданому просторі. Її робота ґрунтується на взаємодії основних компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у передачі інформації.

Першим етапом є ініціація сигналу. Джерела звуку, такі як мікрофони, аудіоплеєри або системи оповіщення про надзвичайні ситуації, генерують аудіосигнали. Мікрофони перетворюють звукові хвилі на електричні сигнали, що дозволяє передавати голосові повідомлення. Аудіоплеєри та комп'ютери відтворюють заздалегідь записані повідомлення або фонову музику. Системи оповіщення про надзвичайні ситуації активуються автоматично у випадку виникнення тривожних сигналів, наприклад, пожежі.

Наступним кроком є обробка та маршрутизація сигналу. Центральний блок керування (ЦБК) отримує сигнали від джерел звуку. Матричний аудіопроцесор, що входить до ЦБК, обробляє сигнали, коригує їх гучність і спрямовує їх до відповідних зон. Система управління дає змогу налаштовувати параметри звуку, вибрати зони оповіщення та контролювати роботу системи.

Після обробки сигнал підсилюється. Підсилювач потужності збільшує рівень електричного сигналу до значення, необхідного для ефективної роботи гучномовців. Потім сигнал передається до гучномовців через лінії передачі, що можуть складатися з кабелів або мережі Ethernet. Кабелі використовуються для передачі аналогових сигналів, а Ethernet – для цифрових сигналів (IP-аудіо).[9]

Завершальним етапом є відтворення звуку. Гучномовці перетворюють електричні сигнали на звукові хвилі. Стельові гучномовці забезпечують рівномірне звукове покриття великих площ. Настінні гучномовці використовуються для направленої звукової покриття або в зонах з підвищеним рівнем шуму. Вуличні гучномовці використовуються на відкритому просторі.

Система аудіоповіщення може мати додаткові функції, такі як регулятори гучності для локального налаштування звуку, мікрофонні панелі для зручного керування з диспетчерської, акумуляторні батареї для резервного живлення та інтеграція з системами безпеки для автоматичного запуску повідомлень у разі надзвичайних ситуацій. Розташування компонентів показано на рис.2.2.



Рисунок 2.2 - Розташування компонентів системи аудіоповіщення

Цей проєкт системи аудіоповіщення являє собою складний, але ефективний механізм, що забезпечує швидке та надійне передавання звукової інформації. Її гнучка архітектура дозволяє адаптувати систему до різних типів приміщень та вимог користувачів.

2.2. Огляд спеціалізованого апаратного та програмного забезпечення для налаштування та моніторингу системи

Реалізація представленої системи вимагає застосування як спеціалізованих апаратних компонентів, так і відповідного програмного забезпечення, орієнтованого на конфігурування та здійснення моніторингу її функціонального

стану.

Ключовим елементом апаратної конфігурації яким я взяв є мікроконтролер сімейства ESP, а саме ESP32 або ESP8266. Мікроконтролер ESP32 можна побачити на рис.2.3.

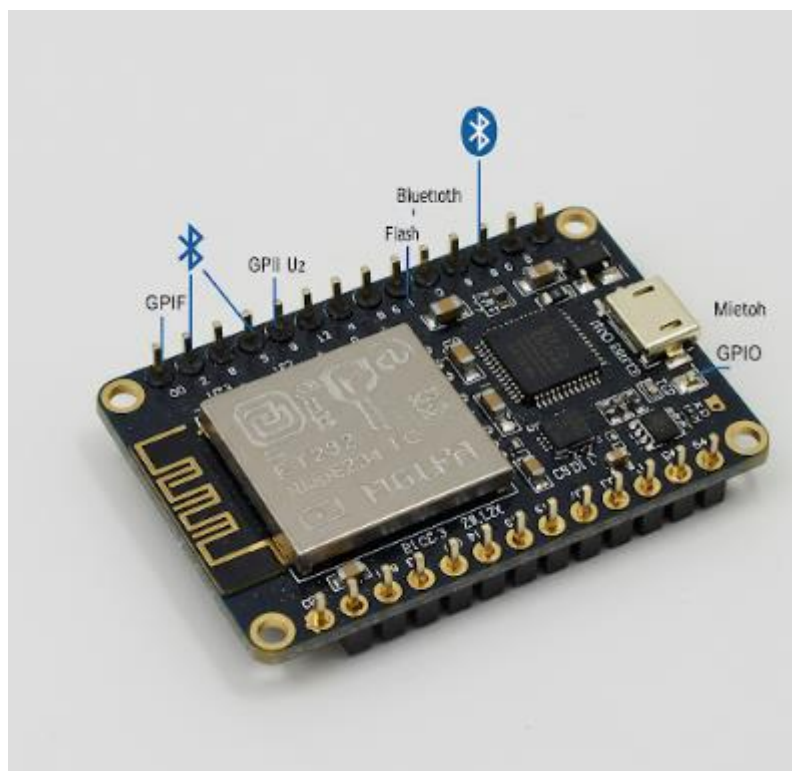


Рисунок 2.3 - ESP32 плата розробки

Він характеризується підвищеною обчислювальною потужністю завдяки двоядерній архітектурі, розширеною кількістю портів вводу/виводу загального призначення (GPIO), інтегрованим модулем Bluetooth та збільшеним обсягом пам'яті, що забезпечує потенціал для реалізації складніших алгоритмів обробки даних та майбутнього розширення функціональності. На противагу цьому, ESP8266 є економічно ефективнішим рішенням, що забезпечує достатню функціональність для базових завдань, включаючи бездротове підключення до мережі Wi-Fi та керування периферійними пристроями. Плату ESP8266 можна побачити на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 - ESP8266 плата розробки

Вибір конкретної моделі мікроконтролера визначається складністю передбачуваних завдань та вимогами до продуктивності системи. Інтегрований у мікроконтролери ESP32/ESP8266 модуль Wi-Fi який я обрав забезпечує необхідне бездротове з'єднання з локальною мережею, що є фундаментальною умовою для функціонування вбудованого веб-сервера та здійснення віддаленого керування системою. Для відтворення аудіосигналів передбачається використання аудіопідсилювача потужності, технічні характеристики якого (вихідна потужність, коефіцієнт підсилення) повинні відповідати акустичним вимогам застосування (наприклад, інтегральна мікросхема РМ8403 для невеликих приміщень або дискретні підсилювачі для об'єктів більшої площі); відповідно до обраного аудіопідсилювача підбирається динамік з узгодженими параметрами потужності та імпедансу для забезпечення оптимального відтворення звуку. Стабільне функціонування системи забезпечується за рахунок джерела живлення, параметри якого (напруга, струм) повинні відповідати потребам мікроконтролера (зазвичай 5V) та аудіопідсилювача (значення визначається специфікацією). Залежно від

функціональних вимог, система доповнюється такими спеціалізованими модулями, як модуль реального часу (RTC) на базі мікросхеми DS3231 (забезпечує точне ведення хронології подій та можливість реалізації функцій сповіщення за розкладом), пристрій для читання карт пам'яті формату SD (дозволяє локальне зберігання аудіофайлів, що є актуальним при нестабільному мережевому з'єднанні), зовнішні сенсори (наприклад, пасивний інфрачервоний датчик руху, герконовий датчик) (розширюють функціональність системи за рахунок можливості ініціювання сповіщень на основі зовнішніх подій), елементи локального керування (кнопки, енкодери) (забезпечують інтерфейс для безпосередньої взаємодії з системою та налаштування її параметрів), плата розробки на базі ESP32 або ESP8266 (наприклад, ESP32-WROOM-32 Dev Kit, NodeMCU ESP8266) (спрощує процес розробки та налагодження завдяки наявності вбудованого інтерфейсу USB для програмування та живлення, а також зручному доступу до портів GPIO), корпус (забезпечує фізичний захист електронних компонентів та естетичний вигляд пристрою), провідники та з'єднувачі (необхідні для електричного з'єднання всіх компонентів системи). Програмне забезпечення системи складається з коду, що виконується на мікроконтролері ESP, та програмних компонентів веб-інтерфейсу.[10]

Модуль ESP32-WROOM-32 являє собою багатфункціональне рішення бездротового зв'язку, інтегруючи в собі Wi-Fi (802.11 b/g/n 2.4 ГГц) та Bluetooth (класичний і BLE). В його основі лежить потужний двоядерний 32-бітний мікропроцесор Tensilica LX6 з тактовою частотою до 240 МГц, що забезпечує високу обчислювальну продуктивність. Модуль оснащено 520 КБ SRAM та 4 МБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду та даних. Завдяки вбудованим можливостям бездротового зв'язку, ESP32-WROOM-32 ідеально підходить для створення мережеских пристроїв та пристроїв з підтримкою Bluetooth, забезпечуючи гнучкість у передачі даних та взаємодії з іншими пристроями. Модуль показано на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 - Модуль WIFI ESP32-WROOM-32

ESP32-WROOM-32 також вирізняється широким спектром периферійних інтерфейсів, включаючи численні програмовані піни GPIO, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, SPI, I²C, UART, I²S та PWM. Ці інтерфейси дозволяють підключати різноманітні зовнішні сенсори, виконавчі механізми та інші електронні компоненти, роблячи модуль універсальним інструментом для розробки IoT-пристроїв. Низьке енергоспоживання та компактні розміри сприяють його застосуванню в проектах з обмеженими ресурсами живлення та простором.

Компактний електродинамічний динамік з круглим дифузором призначений для відтворення звуку шляхом перетворення електричної енергії в механічні коливання, які генерують акустичні хвилі. Його ключовими характеристиками є невеликі габарити (зазвичай діаметр 20-50 мм), що забезпечує легку інтеграцію в малогабаритні пристрої. Імпеданс типових моделей становить 4 або 8 Ом, що визначає вимоги до підсилювача. Діапазон відтворюваних частот оптимізовано для середніх частот (500 Гц - 5 кГц), що є критично важливим для чіткості мови. Потужність зазвичай варіюється від 0.5 Вт до 3 Вт, достатньо для локальних систем оповіщення. Динамік показано на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 - Динамік для системи аудіосповіщення

Конструкція включає дифузор з легкого матеріалу (целюлоза, полімер), котушку в магнітному полі, підвіс для контролю руху та магнітну систему. Ефективність перетворення електричного сигналу в звуковий тиск (чутливість) є важливим параметром, що визначає гучність динаміка при заданій вхідній потужності. Даний тип динаміків є економічним рішенням для систем, де пріоритетом є компактність та розбірливість мови, наприклад, у системах аудіосповіщення на основі ESP32.

Мовами програмування для мікроконтролера ESP я використав C/C++ у середовищі ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework), що є базовою мовою програмування для мікроконтролерів ESP та являє собою комплексний фреймворк, який включає бібліотеки та інструменти для управління апаратними ресурсами мікроконтролера, реалізації мережевих протоколів (TCP/IP, HTTP), роботи з бездротовим інтерфейсом Wi-Fi та файловою системою, забезпечуючи

високу ефективність виконання коду та гнучкість при взаємодії з апаратним забезпеченням; MicroPython, що є інтерпретованою мовою програмування Python 3, адаптованою для мікроконтролерів, характеризується відносною простотою вивчення та використання, що може сприяти прискоренню процесу розробки, проте слід враховувати потенційне зниження продуктивності порівняно з C/C++; та Arduino Core для ESP32/ESP8266, що являє собою програмну надбудову, яка дозволяє програмувати мікроконтролери ESP32 та ESP8266 у знайомому середовищі Arduino IDE з використанням спрощеної версії мови C++ та надає значну кількість готових бібліотек для інтеграції різноманітних сенсорів та периферійних модулів, полегшуючи розширення функціональності системи. Arduino IDE з кодом для ESP32: скріншот інтерфейсу Arduino IDE з прикладом коду для ESP32 показано на рис. 2.7. [11]

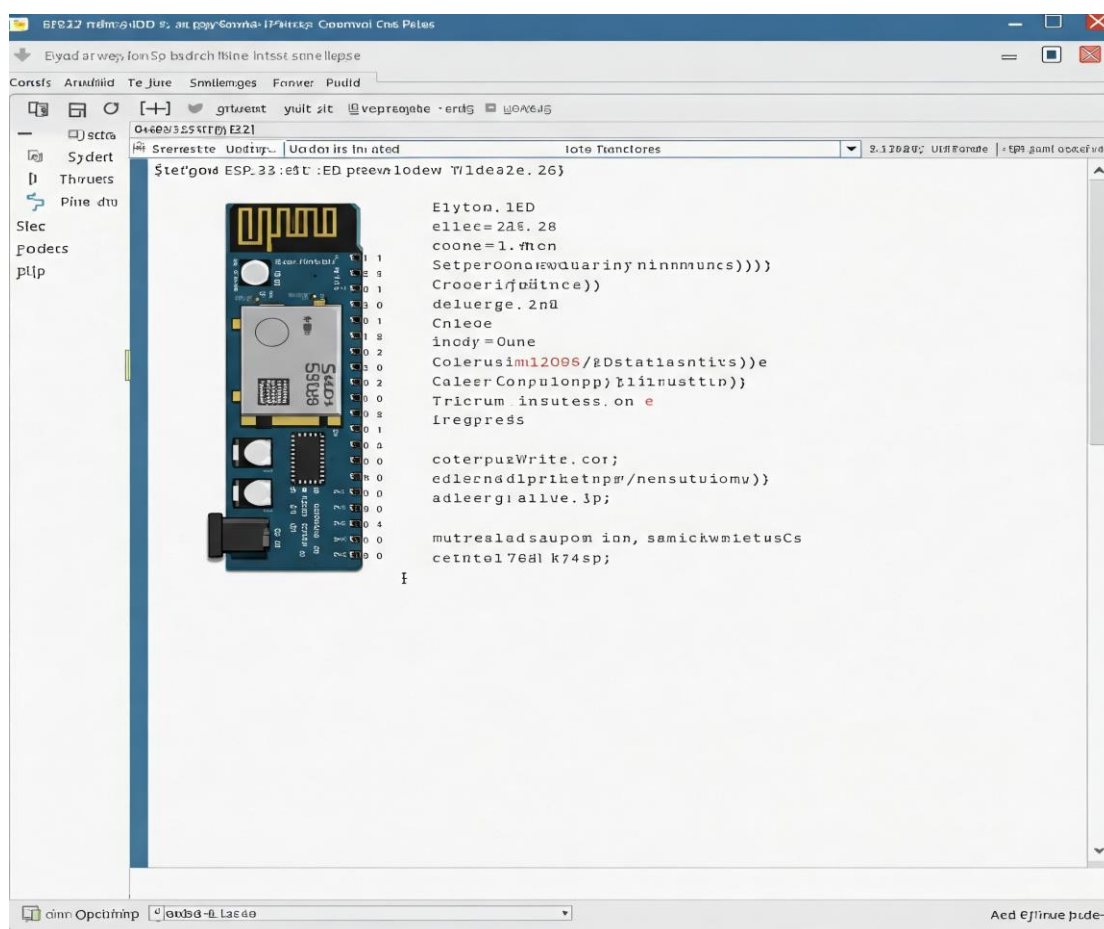


Рисунок 2.7 - Arduino IDE з кодом для ESP32

Програмне забезпечення яке я використав для веб-сервера та моніторингу включає бібліотеки для реалізації веб-сервера (на стороні мікроконтролера ESP), де для C/C++ (ESP-IDF) фреймворк ESP-IDF надає вбудовані бібліотеки для створення веб-серверів на основі протоколу HTTP, а для реалізації складнішої функціональності можуть бути використані фреймворки Async TCP/IP та WebSockets; для MicroPython існують спеціалізовані бібліотеки, такі як uweb або MicroWebSrv, що спрощують розробку веб-серверів на платформі ESP32; а для Arduino Core бібліотеки ESPAsyncWebServer та WebServer надають зручний програмний інтерфейс для створення веб-серверів. Мовами програмування для розробки веб-інтерфейсу (на стороні клієнта - веб-браузера) є HTML (HyperText Markup Language), що використовується для визначення структури веб-сторінок; CSS (Cascading Style Sheets), що застосовується для стилізації та візуального оформлення веб-сторінок; та JavaScript, що забезпечує інтерактивність та динамічну поведінку веб-інтерфейсу (наприклад, оновлення даних у реальному часі, обробка дій користувача), де для розробки складних інтерфейсів можуть застосовуватися JavaScript-фреймворки, такі як React, Vue.js або Angular, проте для базового моніторингу та конфігурування системи достатньо використання чистого JavaScript. Протоколами передачі даних є HTTP (HyperText Transfer Protocol), що є основним протоколом для передачі гіпертекстових документів та даних між веб-браузером та веб-сервером, що функціонує на мікроконтролері ESP; WebSockets, що забезпечує повнодуплексний канал зв'язку між веб-браузером та мікроконтролером ESP, дозволяючи здійснювати обмін даними в режимі реального часу без необхідності постійних запитів з боку клієнта; та MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), що є легковагим протоколом обміну повідомленнями, який може бути використаний для передачі даних моніторингу від мікроконтролера ESP до зовнішнього брокера, з подальшою візуалізацією у веб-інтерфейсі або інтеграцією з іншими системами. Інструменти розробки та налагодження включають інтегровані середовища розробки (IDE), такі як VS Code з встановленими плагінами PlatformIO або Espressif IDF для розробки на мові C/C++, Arduino IDE для розробки з використанням Arduino Core, та будь-який

текстовий редактор з підтримкою синтаксису Python для розробки на MicroPython; утиліти моніторингу послідовного порту (Serial Monitor), вбудовані в IDE або окремі програми (наприклад, PuTTY) для відстеження виводу налагоджувальної інформації з мікроконтролера ESP; та веб-браузер з інструментами розробника, що забезпечує можливість інспектування роботи веб-інтерфейсу, налагодження коду JavaScript та аналізу мережевих запитів. [12]

Вибір конкретних апаратних компонентів та програмних інструментів є функціональними вимогами до системи, критеріями продуктивності, бюджетними обмеженнями та рівнем кваліфікації розробника. VS Code з PlatformIO та ESP-IDF: зображення середовища розробки VS Code з PlatformIO та ESP-IDF показано на рис. 2.8.

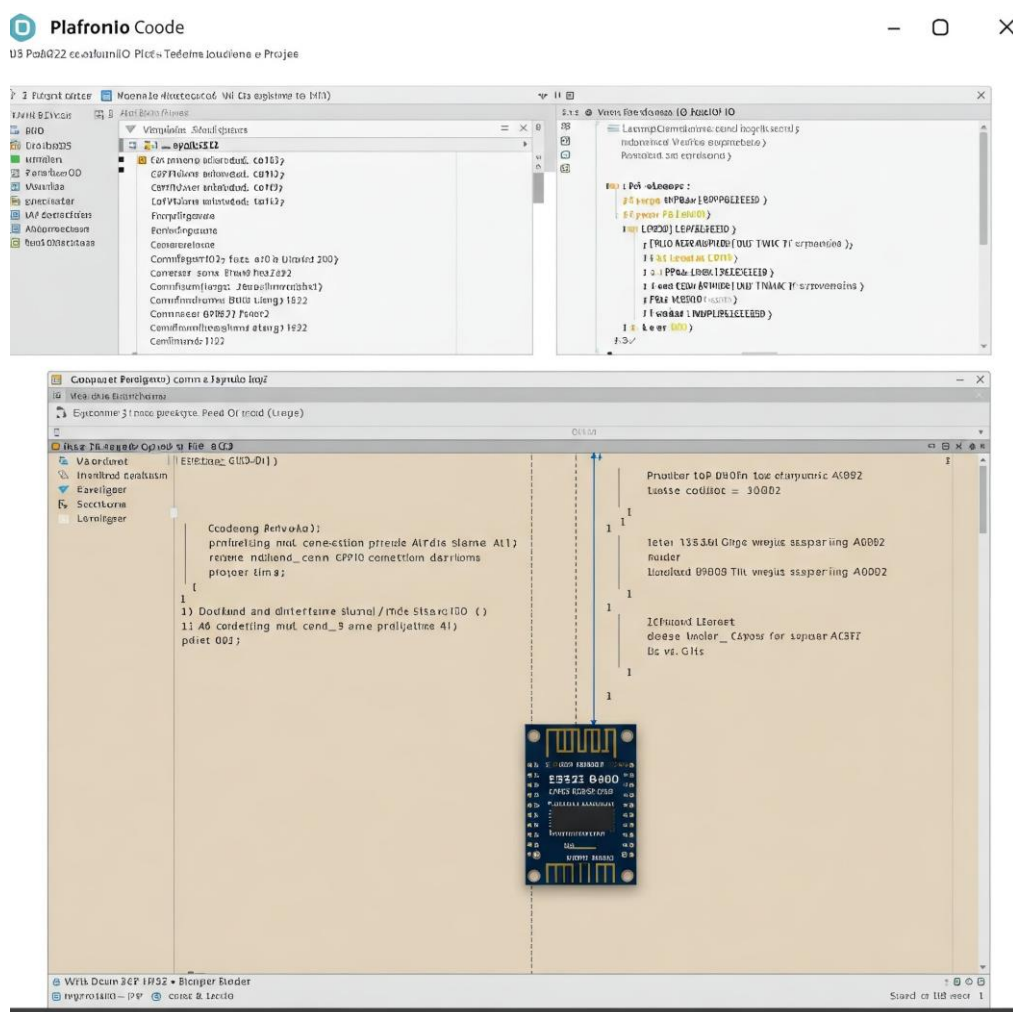


Рисунок 2.8 - VS Code з PlatformIO та ESP-IDF

Розроблена ситсема складається з простого прототипу на базі ESP32, можна використати ESP8266 з використанням Arduino Core або базових функцій ESP-IDF для розуміння основних принципів функціонування, з подальшим поступовим розширенням функціональності та оптимізацією програмного коду.

2.3. Розробка алгоритмів програмного управління розумною системою сповіщення

Програмне управління розумною системою сповіщення передбачає розробку алгоритмічного забезпечення, що регламентує функціонування всіх інтегрованих компонентів системи, включаючи обробку ініціюючих подій, керування процесом аудіовідтворення, забезпечення взаємодії з вбудованим веб-сервером та адміністрування підключених додаткових модулів.[13]

Основний цикл функціонування системи являє собою безперервний ітеративний процес, спрямований на перманентне очікування виникнення подій, їх ідентифікацію, ініціювання відповідних процедур обробки та подальше виконання визначених дій. На етапі ініціалізації при запуску системи відбувається конфігурування та підготовка до роботи всіх апаратних складових (мікроконтролера, модуля бездротового зв'язку Wi-Fi, аудіопідсилювача, пристрою читання карт пам'яті SD, модуля годинника реального часу RTC тощо) та програмних модулів (веб-сервера, файлової системи), що включає встановлення початкових значень керуючих параметрів та режимів функціонування. Після завершення ініціалізації система переходить у стан очікування подій, спектр яких може включати запити, що надходять від веб-інтерфейсу користувача (наприклад, команди на відтворення сповіщень, модифікацію системних налаштувань), сигнали, що генеруються підключеними сенсорами (наприклад, спрацювання датчика фіксації руху), події, що ініціюються таймером (для реалізації функціональності запланованих сповіщень), а також локальні дії користувача, що фіксуються через елементи керування (наприклад, натискання функціональних клавіш). У випадку фіксації події система здійснює її

ідентифікацію, визначаючи її тип, після чого ініціює виконання відповідного програмного обробника. Залежно від конкретного типу події та результатів її попередньої обробки, система виконує ряд дій, серед яких можуть бути відтворення аудіофайлів (з локального сховища даних або за вказаним мережевим посиланням), передача інформаційних даних через інтерфейс веб-сервера (наприклад, оновлення поточного стану системи), модифікація внутрішніх параметрів конфігурації системи, а також керування підключеними зовнішніми пристроями. Після завершення необхідних дій система повертається до стану очікування нових ініціюючих подій, забезпечуючи безперервний цикл функціонування.

Вбудований у мікроконтролер ESP веб-сервер забезпечує обробку HTTP-запитів, що надходять від веб-браузера користувача. Першочерговим етапом є очікування вхідних HTTP-запитів на визначеному мережевому порту (зазвичай порт 80). У випадку отримання запиту сервер здійснює його аналіз, визначаючи метод запиту (GET, POST тощо) та уніфікований ідентифікатор ресурсу (URI) запитуваного ресурсу. Подальша обробка запиту залежить від ідентифікованого URI: у випадку запиту статичного файлу (форматів HTML, CSS, JavaScript) сервер здійснює пошук відповідного файлу у файловій системі мікроконтролера та передає його вміст у тілі HTTP-відповіді браузеру користувача; при отриманні API-запиту (наприклад, запиту на керування відтворенням аудіо) сервер аналізує передані параметри, ініціює виконання необхідної дії (наприклад, запуск відтворення визначеного аудіофайлу) та повертає структуровану відповідь, як правило, у форматі JSON або іншому стандартизованому форматі обміну даними; у випадку запиту на модифікацію системних налаштувань сервер отримує передані від браузера дані, здійснює оновлення відповідних параметрів у системі та забезпечує їх збереження в енергонезалежній пам'яті для подальшого використання. Після обробки запиту сервер формує HTTP-відповідь, що включає код статусу виконання запиту (наприклад, 200 OK, 404 Not Found), службові заголовки (наприклад, Content-Type, що визначає тип вмісту відповіді) та тіло відповіді (наприклад, вміст запитуваної HTML-сторінки або дані у форматі JSON).

Сформована HTTP-відповідь передається веб-браузеру користувача, після чого сервер повертається до очікування нових вхідних HTTP-запитів.

Алгоритм керування процесом аудіовідтворення відповідає за процедури вибору необхідних аудіофайлів, їх завантаження у оперативну пам'ять (за потреби) та безпосереднє відтворення. Ініціація процесу відтворення відбувається при отриманні відповідної команди (наприклад, від веб-інтерфейсу користувача або від підключеного датчика), яка може містити ідентифікатор цільового аудіофайлу або його URL-адресу у мережі Інтернет. На основі отриманої команди система визначає джерело аудіоданих: у випадку локального зберігання (на карті пам'яті SD) система здійснює отримання шляху до відповідного файлу; у випадку розміщення аудіофайлу на віддаленому ресурсі (за вказаною URL-адресою) ініціюється процедура його завантаження. При завантаженні аудіоданих з віддаленого ресурсу система може застосовувати механізм буферизації, завантажуючи файл частинами для оптимізації процесу відтворення та зменшення затримки. У випадку, якщо аудіофайл представлений у стисненому форматі (наприклад, MP3), система використовує відповідний кодек для його декодування у формат PCM (Pulse Code Modulation), придатний для подальшого відтворення. Декодовані аудіодані передаються на аудіопідсилювач, який забезпечує необхідний рівень потужності сигналу для відтворення через підключений динамік. Система також може підтримувати базові функції керування відтворенням, такі як призупинення, відновлення, повна зупинка відтворення та регулювання рівня гучності. Після завершення процесу відтворення поточного аудіофайлу система повертається до стану очікування нових команд на відтворення.

Наведемо приклад простого коду на Arduino Core для ESP32, який демонструє відтворення звукового сигналу при отриманні HTTP-запиту. Для відтворення звуку буде використано вбудований DAC (Digital-to-Analog Converter) мікроконтролера ESP32 (якість звуку буде базовою). Код показано на рис.2.7.

```

main.cpp
1  #include <WiFi.h>
2  #include <WebServer.h>
3
4  // Параметри Wi-Fi
5  const char* ssid = "YOUR_WIFI_SSID";
6  const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";
7
8  // Пін DAC на ESP32 (зазвичай GPIO25 або GPIO26)
9  const int dacPin = 25;
10
11 // Частота звукового сигналу (Гц)
12 const int frequency = 440; // Для першої октави
13
14 // Тривалість сигналу (мс)
15 const int duration = 1000;
16
17 WebServer server(80);
18
19 void generateTone() {
20     for (int i = 0; i < 8000 * duration / 1000; ++i) {
21         // Генеруємо синусоїдальний сигнал
22         int value = 128 + 127 * sin(2 * PI * frequency * i / 8000.0);
23         dacWrite(dacPin, value);
24         delayMicroseconds(125); // Забезпечуємо частоту дискретизації ~8 кГц
25     }
26     dacWrite(dacPin, 0); // Вимикаємо сигнал
27 }
28
29 void handlePlaySound() {
30     Serial.println("Отримано запит на відтворення звуку");
31     server.send(200, "text/plain", "Звук відтворено");
32     generateTone();
33 }
34
35 void handleRoot() {
36     server.send(200, "text/html", "<h1>Розумна система сповіщення</h1><p><a href='/play'>Відтворити звук</a></p>");
37 }
38
39 void setup() {
40     Serial.begin(115200);
41     Serial.println("Підключення до Wi-Fi...");
42
43     WiFi.begin(ssid, password);
44     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
45         delay(500);
46         Serial.print(".");
47     }
48     Serial.println("");
49     Serial.println("Wi-Fi підключено");
50     Serial.print("IP адреса: ");
51     Serial.println(WiFi.localIP());
52
53     server.on("/", handleRoot);
54     server.on("/play", handlePlaySound);
55
56     server.begin();
57     Serial.println("Веб-сервер запущено");
58 }

```

Рисунок 2.7 - Код на Arduino Core для ESP32

Схема підключення ESP32 до динаміка та отримання команд через Wi-Fi: спрощена схема, що показує з'єднання ESP32 з динаміком та отримання команд через Wi-Fi можна побачити на рис 2.8.

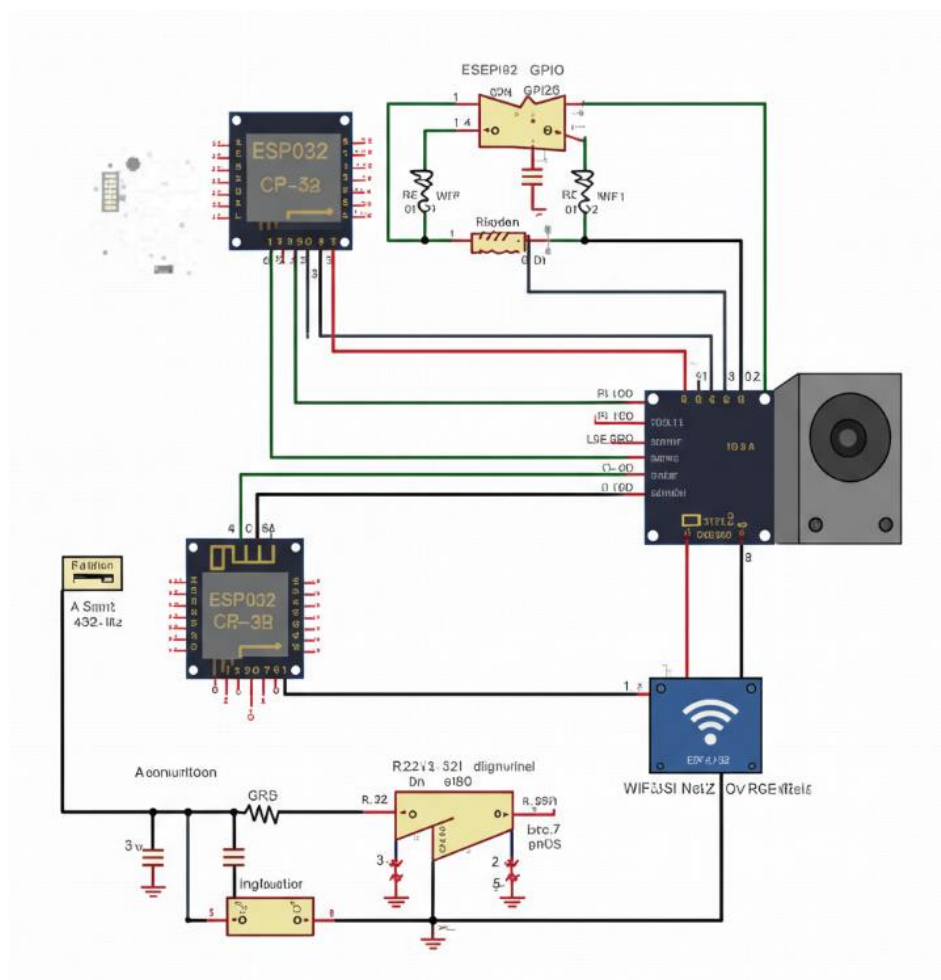


Рисунок 2.8 - Схема підключення ESP32

Центральним елементом представленої схеми є мікроконтролер ESP32, який виконує ключові функції обробки даних, керування процесом аудіовідтворення та забезпечення взаємодії з вбудованим веб-сервером. На схемі ESP32 графічно представлено як інтегральну мікросхему з виведеними портами вводу/виводу загального призначення (GPIO), що використовуються для підключення периферійних пристроїв.

Інтегрований у ESP32 модуль бездротового зв'язку Wi-Fi забезпечує необхідне бездротове підключення до локальної комп'ютерної мережі. На схемі функціональність Wi-Fi може бути візуалізована у вигляді антени або символічного позначення бездротового сигналу, що виходить з модуля ESP32.

Пристроєм, відповідальним за акустичне відтворення звукових сигналів, є

динамік, який на схемі представлено відповідним графічним символом.

У випадку недостатньої вихідної потужності мікроконтролера ESP32 для адекватного функціонування динаміка до схеми може бути включений аудіопідсилювач (позначений на схемі як опціональний блок), що розміщується між виходом ESP32 та входом динаміка для збільшення амплітуди аудіосигналу.

З'єднання між компонентами системи відображаються за допомогою стрілок, що вказують напрямок передачі даних та сигналів. Зокрема, стрілка, спрямована від символічного зображення мережі Wi-Fi до ESP32, ілюструє процес отримання керуючих команд від веб-сервера. Стрілка, що виходить з ESP32 (або аудіопідсилювача) та спрямована до динаміка, відображає передачу обробленого аудіосигналу для його подальшого відтворення.

Функціональний алгоритм роботи схеми включає наступні етапи:

1. Отримання керуючих команд: Мікроконтролер ESP32 здійснює бездротове отримання керуючих команд через інтерфейс Wi-Fi. Джерелом цих команд може бути веб-інтерфейс користувача, що функціонує на віддаленому комп'ютері або мобільному пристрої. Отримані команди можуть містити інструкції щодо ініціювання відтворення конкретного аудіофайлу, регулювання рівня гучності відтворення або припинення поточного відтворення.

2. Обробка отриманих команд: Після отримання команди мікроконтролер ESP32 здійснює її аналіз та обробку. Цей етап може включати процедури вибору відповідного аудіофайлу з локального енергонезалежного сховища даних (наприклад, карти пам'яті формату SD) або ініціювання процесу його завантаження з віддаленого мережевого ресурсу, ідентифікованого за наданою URL-адресою.

3. Передача аудіоданих для відтворення: Оброблені аудіодані передаються з мікроконтролера ESP32 на вхід аудіопідсилювача (у випадку його наявності в схемі) або безпосередньо на клеми динаміка. Аудіопідсилювач виконує функцію підсилення потужності аудіосигналу до рівня, необхідного для ефективного функціонування динаміка та забезпечення адекватної гучності відтворення.

4. Акустичне виведення звуку: Отриманий електричний аудіосигнал перетворюється динаміком в акустичні коливання, що сприймаються користувачем як звук.

Представлена схема ілюструє базовий принцип функціонування розумної аудіосистеми сповіщення, де керування відтворенням звуку здійснюється дистанційно через бездротове з'єднання Wi-Fi, а обробка та відтворення аудіосигналу забезпечується мікроконтролером ESP32 та підключеними аудіокомпонентами. [14]

Функціонування системи аудіосповіщення ґрунтується на послідовності етапів, що забезпечують своєчасне інформування про визначені події. Ініціальним кроком є детектування події за допомогою різноманітних сенсорних пристроїв, адаптованих до моніторингу специфічних параметрів навколишнього середовища або стану об'єктів. Фіксація аномальних змін або досягнення встановлених порогових значень призводить до генерації первинного сигналу. Алгоритм роботи системи показано на рис. 2.9.

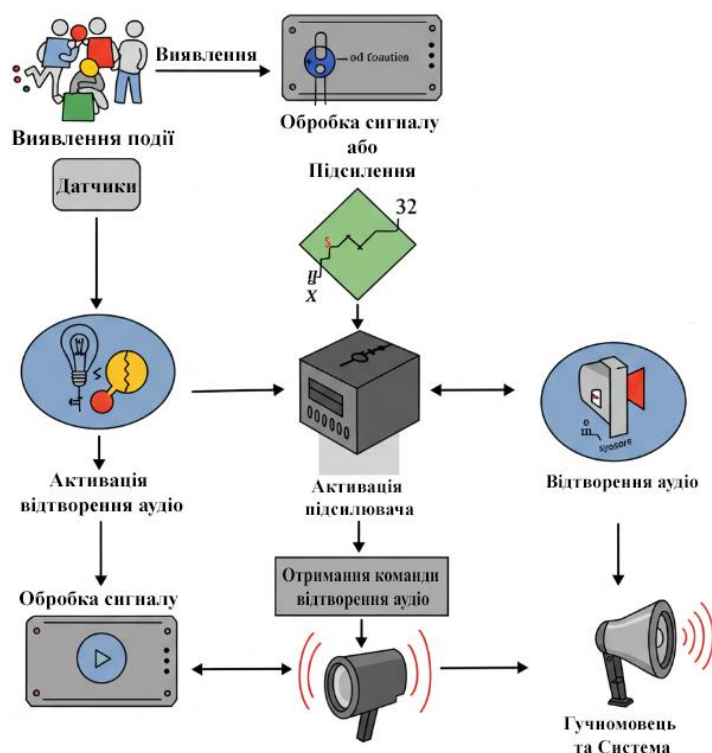


Рисунок 2.9 - Алгоритм роботи системи

Наступним етапом є обробка та/або ампліфікація первинного сигналу, метою якої є його кондиціонування для подальшого ефективного використання. Цей процес може включати фільтрацію шумових компонентів, підсилення амплітуди сигналу до необхідного рівня, а також його форматування у відповідний для наступних модулів формат.

Оброблений сигнал ініціює активацію підсистеми відтворення аудіо. Ця дія може полягати у забезпеченні живлення відповідних електронних компонентів або передачі керуючого імпульсу на модуль, відповідальний за генерацію звукового сигналу.

Після активації, система переходить до етапу отримання команди відтворення аудіо. Ця команда визначає конкретний звуковий контент, який необхідно відтворити, і може надходити як від локального керуючого пристрою, так і від віддаленого сервера через мережеве з'єднання.

Отримана команда ініціює процес відтворення аудіо. На цьому етапі відбувається зчитування попередньо збереженого аудіофайлу, отримання потокових аудіоданих або синтез звукового сигналу відповідно до отриманих інструкцій.

Завершальним етапом є підсилення звуку та його акустична емісія. Згенерований аудіосигнал, як правило, має недостатню потужність для ефективного сприйняття, тому він подається на підсилювач, який збільшує його амплітуду. Посилений електричний сигнал надходить на гучномовець, котрий здійснює його перетворення в акустичні хвилі, що розповсюджуються в просторі як попереджувальне аудіосповіщення.

Отже, інтегрована робота зазначених етапів забезпечує функціонування системи аудіосповіщення, починаючи від первинного виявлення події до кінцевого акустичного інформування користувачів.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ І ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ АУДІОСПОВІЩЕННЯ

3.1. Розробка та збірка системи аудіосповіщення

На початковому етапі розробки інтелектуальної аудіосистеми сповіщення першочерговим завданням постає чітке визначення функціональних вимог, що слугуватиме підґрунтям для подальшого вибору апаратних засобів та розробки програмного забезпечення. До ключових функціональних можливостей системи належить відтворення попередньо записаних аудіофайлів у поширених форматах, таких як MP3 та WAV, забезпечуючи гнучкість у використанні різноманітного аудіоконтенту. Керування відтворенням, включаючи запуск, зупинку, перемотування та регулювання рівня гучності, передбачається здійснювати через інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс. Зберігання аудіофайлів може бути реалізовано шляхом використання карти microSD, підключеної до мікроконтролера ESP32, або, за наявності достатнього обсягу, внутрішньої пам'яті пристрою.

Окрім відтворення попередньо записаного контенту, система повинна забезпечувати трансляцію голосових повідомлень у режимі реального часу з використанням зовнішнього мікрофона, підключеного до ESP32. Керування процесом трансляції ініціюватиметься відповідним елементом керування у веб-інтерфейсі. Важливим аспектом функціональності є можливість сповіщень за попередньо визначеним розкладом, що передбачає наявність веб-інтерфейсу для встановлення часу та днів тижня для автоматичного відтворення заданих звукових сигналів, а також можливість збереження декількох незалежних розкладів.

Додатково, система матиме функціонал сповіщень за подіями, що реалізується шляхом інтеграції з різноманітними датчиками, такими як датчики руху або відкриття дверей/вікон. При спрацюванні датчика ініціюватиметься відтворення відповідного звукового сповіщення, конфігурація якого здійснюватиметься через веб-інтерфейс.

Керування всіма функціями системи покладається на інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс, розроблений з урахуванням адаптивності до різних типів пристроїв, включаючи комп'ютери, планшети та смартфони. Для забезпечення належної інформативності передбачається візуальна індикація поточного стану системи у веб-інтерфейсі, відображаючи режими відтворення, очікування, а також можливі помилки підключення. Опціонально може бути реалізована локальна індикація стану за допомогою світлодіодів, розташованих на платі ESP32.

Для розширення аудіоможливостей системи передбачається можливість підключення зовнішніх підсилювачів потужності через наявний аудіовихід, що дозволить збільшити гучність та потужність відтворюваного звуку. Живлення системи визначається як один із ключових аспектів, з урахуванням типу джерела живлення (наприклад, USB або зовнішній блок живлення) та необхідних параметрів напруги та струму для забезпечення стабільної роботи всіх компонентів.

Наступним етапом розробки є вибір апаратної платформи та відповідних компонентів, що забезпечать реалізацію визначених функціональних вимог. В якості центрального елемента керування розглядається мікроконтролер ESP32, який вирізняється високою продуктивністю, інтегрованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, достатньою кількістю портів GPIO, підтримкою карт пам'яті microSD та наявністю цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) для відтворення звуку. Як приклад плати розробки може бути використана ESP32-WROOM-32 DevKit C. Для підсилення аудіосигналу пропонується компактний та економічний модуль PAM8302A, що забезпечує до 3 Вт вихідної потужності та можливість керування гучністю через широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) ESP32. Відповідно до вихідної потужності підсилювача, обирається динамік з імпедансом 4 Ом та потужністю 3 Вт, розміри якого визначаються конструктивними особливостями пристрою. Для зберігання аудіофайлів передбачається використання картридера microSD, що підключається до ESP32 через інтерфейс SPI. Живлення системи забезпечуватиметься через роз'єм USB 5B, що є зручним та поширеним рішенням, за умови забезпечення достатнього струму для всіх компонентів. На етапі

прототипування використовуватимуться макетна плата та з'єднувальні дроти, що дозволить швидко та зручно з'єднувати компоненти без необхідності пайки.

Наступним кроком у процесі розробки було створено принципову схему та схему з'єднань, що візуалізують електричні зв'язки між обраними компонентами. Принцип підключення можна побачити на рис.3.1.

```
+5V --- (живлення ESP32) --- GND
+5V --- (живлення PAM8302A) --- GND

ESP32 GPIO (PWM) --- (вхід підсилювача PAM8302A)
ESP32 I2S (або DAC) --- (аудіо вхід PAM8302A)

PAM8302A (+) --- (динамік +)
PAM8302A (-) --- (динамік -)

ESP32 SPI Pins --- (піни картридера microSD)
```

Рисунок 3.1 - Принцип підключення

Схема з'єднань на макетній платі:

1. Джерело живлення 5В підключається до відповідних пінів живлення (VCC, GND) ESP32 та PAM8302A.
2. Один з GPIO-пінів ESP32, що підтримує ШІМ (наприклад, GPIO2), підключається до входу керування гучністю підсилювача PAM8302A (зазвичай позначений як Gain або Enable).
3. Аудіовиходи ESP32 (I2S або DAC) підключаються до аудіовходів PAM8302A. Конкретні піни залежать від обраної бібліотеки та конфігурації.
4. Виходи підсилювача PAM8302A підключаються до клем динаміка.
5. Піни SPI ESP32 (MOSI, MISO, CLK, CS) підключаються до відповідних пінів картридера microSD.

Код Arduino ESP32 для ініціалізації SPI та відтворення звуку показано на рис. 3.2.

```

main.cpp
1  #include <SPI.h>
2  #include <SD.h>
3  #include <FS.h>
4  // Бібліотеки для відтворення звуку можуть бути різними
5  // Залежно від обраного методу (наприклад, ESP32Sound, ESP32-A2DP)
6
7  // Піни SPI для microSD
8  #define SD_CS 5
9  #define SD_MOSI 23
10 #define SD_MISO 19
11 #define SD_CLK 18
12
13 void setup() {
14     Serial.begin(115200);
15     Serial.println("Ініціалізація SD-карти...");
16
17     SPI.begin(SD_CLK, SD_MISO, SD_MOSI, SD_CS);
18     if (!SD.begin(SD_CS)) {
19         Serial.println("Помилка ініціалізації SD-карти!");
20         while (1);
21     }
22     Serial.println("SD-карта успішно ініціалізована.");
23
24     // Ініціалізація аудіовиходу (залежить від обраної бібліотеки)
25     // ...
26 }
27
28 void loop() {
29     // Логіка відтворення аудіофайлів з SD-карти
30     // Керування відтворенням через веб-інтерфейс
31     // ...
32 }

```

Рисунок 3.2 - Код Arduino ESP32 для ініціалізації SPI

Підключаються необхідні бібліотеки для роботи зі SPI та SD-картою.

Визначаються піни, які використовуються для підключення microSD-карти до ESP32.

У функції `setup()` відбувається ініціалізація SPI та SD-карти. Перевіряється успішність ініціалізації.

У функції `loop()` буде розміщено основну логіку програми, включаючи відтворення аудіофайлів з SD-карти та керування через веб-інтерфейс (розробка веб-сервера буде описана в наступних розділах).

Після етапу схемотехнічного проектування було зроблено фізичну реалізацію прототипу. На початковій стадії розробки виконано застосування макетної плати як зручного інструменту для експериментальної збірки.

Просторова організація компонентів, на макетній платі здійснилося акуратне розміщення мікроконтролера ESP32, підсилювача потужності PAM8302A, модуля зчитування карт пам'яті microSD та інших елементів відповідно до розробленої принципової схеми. При цьому передбачився достатній простір для подальшого монтажу з'єднувальних провідників. Забезпечення електроживлення, підключення контактів живлення всіх задіяних компонентів

Після завершення етапу фізичної збірки компонентів я здійснив первинне тестування для верифікації функціональності апаратних компонентів. Верифікація системи електроживлення, підключив джерело живлення та провів вимірювання напруги на відповідних пінах мікроконтролера ESP32 та підсилювача потужності з використанням мультиметра для підтвердження відповідності номінальним значенням. Окрім того, необхідно перевірити електричне коло на наявність коротких замикань. Функціональне тестування модуля зчитування карт пам'яті, на мікроконтролер ESP32 завантажується спрощений програмний код, що ініціалізує інтерфейс SD-карти та виводить перелік файлів, розміщених на ній, у вікні послідовного монітора. Дана процедура дозволяє верифікувати коректність підключення інтерфейсу SPI та працездатність операцій з SD-картою. Оцінка працездатності підсилювача потужності та акустичної системи, на ESP32 завантажується елементарний програмний код, що генерує широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) на вихідному піні, з'єднаному з входом регулювання гучності підсилювача, та простий звуковий сигнал на аудіовиході (за умови технічної можливості без повної імплементації функції відтворення файлів). Необхідно переконатися у відтворенні звуку динаміком та можливості регулювання його гучності. Код для цієї схеми показано на рис. 3.4.

```

main.cpp
1 // Піни для підключення до підсилювача
2 const int pwmPin = 2;
3 const int audioPin = 25; // Припустимо, що використовується DAC
4
5 void setup() {
6   Serial.begin(115200);
7   Serial.println("Тестування аудіо...");
8   ledcSetup(0, 2000, 8); // Канал 0, частота 2000 Гц, 8-бітна роздільна здатність ШІМ
9   ledcAttachPin(pwmPin, 0);
10  pinMode(audioPin, OUTPUT);
11 }
12
13 void loop() {
14   // Генеруємо простий синусоїдальний сигнал (спрощено)
15   for (int i = 0; i < 255; i++) {
16     analogWrite(audioPin, i);
17     delay(2);
18   }
19   for (int i = 255; i > 0; i--) {
20     analogWrite(audioPin, i);
21     delay(2);
22   }
23   delay(1000);
24   ledcWrite(0, 128); // Встановлюємо середню гучність
25   delay(2000);
26   ledcWrite(0, 0); // Вимикаємо звук
27   delay(1000);
28 }

```

Рисунок 3.4 - Код Arduino ESP32 для схеми підключення компонентів

Цей код Arduino для ESP32 призначений для тестування аудіосистеми. На початку визначаються піни: `pwmPin` (GPIO2) для керування гучністю через ШІМ і `audioPin` (GPIO25) для виведення звуку через DAC (цифро-аналоговий перетворювач). У функції `setup()` відбувається ініціалізація: відкривається послідовний порт для виведення повідомлень, налаштовується ШІМ на каналі 0 з частотою 2000 Гц та 8-бітною роздільною здатністю, пін `pwmPin` призначається для цього ШІМ-каналу, а пін `audioPin` встановлюється як вихід. У функції `loop()` безперервно генерується простий звуковий сигнал, наближений до синусоїди, шляхом поступового збільшення та зменшення аналогового значення, що виводиться на пін `audioPin`. Після цього робиться невелика пауза, потім встановлюється середня гучність за допомогою ШІМ на піні `pwmPin`, знову пауза, гучність вимикається, ще одна пауза, і цикл повторюється. Простими словами, код по черзі відтворює короткий звук, робить паузу, встановлює середню гучність, робить паузу, вимикає звук і знову починає. Це дозволяє перевірити роботу аудіовиходу та керування гучністю.

На рис. 3.5 показано роботу коду в компіляторі.

```
ets Apr 27 2025 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
config: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:2
load:0x3fff0030,len:1184
load:0x40078000,len:13264
load:0x40080400,len:3028
entry 0x400805e2
Тестування аудіо...
```

Рисунок 3.5 - Робота коду

Перші кілька рядків (ets Apr 27 2025 ... entry 0x400805e2) є типовими повідомленнями завантажувача ESP32 при старті. Ці рядки вказують на процес ініціалізації мікроконтролера. Рядок Тестування аудіо... є результатом виконання рядка `Serial.println("Тестування аудіо...");` у функції `setup()`. Це означає, що код успішно дійшов до цієї точки і вивів повідомлення в послідовний порт.

Після цього не побачив більше текстових виводів у моніторі послідовного порту, оскільки функція `loop()` у цьому прикладі займається лише генерацією аналогового сигналу на піні `audioPin` і керуванням ШІМ на піні `rwmPin`. Результатом її роботи буде звук, що відтворюється через підключений підсилювач і гучномовець.

Отже, успішний запуск коду буде підтверджено наявністю рядка "Тестування аудіо..." у моніторі послідовного порту після завантаження коду на ESP32.

Для забезпечення універсального керування розробленою системою аудіосповіщення, важливим етапом є інтеграція вбудованого веб-сервера на базі мікроконтролера ESP32. Цей підхід дозволяє користувачам взаємодіяти з системою через інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс з будь-якого пристрою, підключеного до мережі, без необхідності встановлення спеціалізованого

програмного забезпечення. Веб-інтерфейс показано на рис. 3.6.

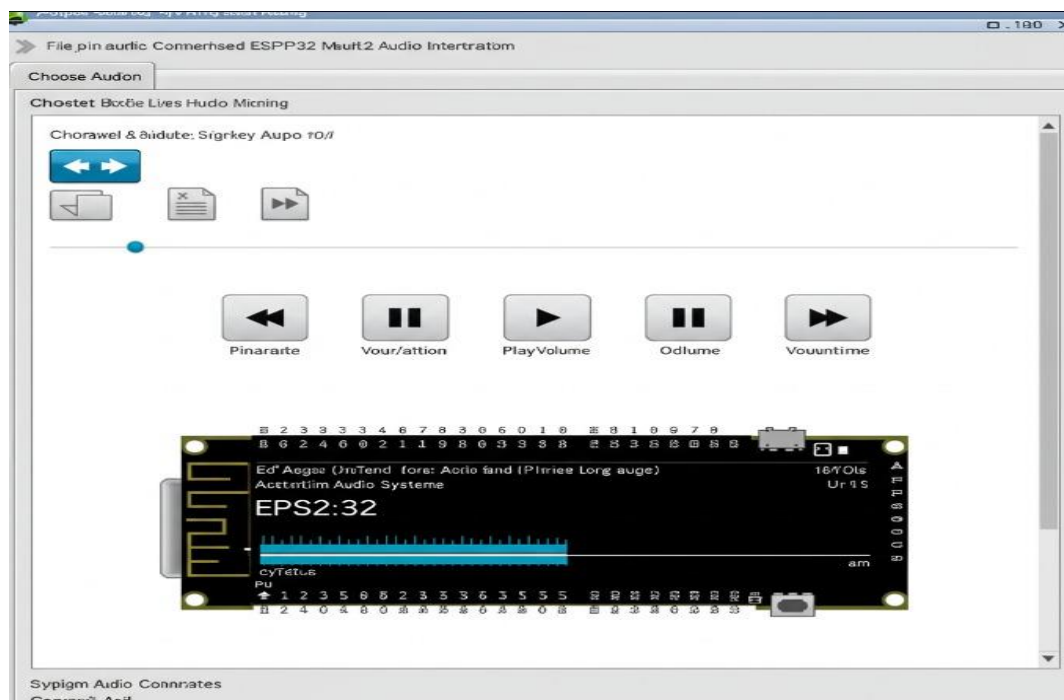


Рисунок 3.6 - Веб-інтерфейс вбудованого веб-сервера

Цей інтерфейс, який відображається на екрані комп'ютера, дозволяє вибирати аудіофайли, керувати відтворенням (відтворення/пауза), регулювати гучність, а також відображає інформацію про поточний аудіофайл та стан системи. Інтерфейс розроблено для зручного та інтуїтивно зрозумілого керування аудіосистемою.

Інтегрований у розроблювану інтелектуальну аудіосистему на базі ESP32 веб-сервер надає користувачеві інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для дистанційного керування функціональними можливостями системи через стандартний веб-браузер на будь-якому пристрої, підключеному до локальної мережі. Однією з ключових функцій є модуль вибору аудіоконтенту, який забезпечує перегляд ієрархічно структурованого списку доступних аудіофайлів, що зберігаються на зовнішньому або внутрішньому носії інформації. Користувачеві надається можливість вибору одного або множини файлів для подальшого відтворення, а також зручна навігація по файловій системі. Модуль керування відтворенням включає функції ініціювання відтворення ("Play"),

тимчасового призупинення ("Pause"), повного завершення ("Stop"), а також переходу до попереднього ("Previous") та наступного ("Next") аудіофайлів у визначеному списку. Для регулювання інтенсивності звуковідтворення передбачено модуль керування рівнем гучності, що використовує графічний повзунок або дискретні елементи керування та відображає поточне значення гучності. Модуль відображення інформації про відтворення надає дані про назву аудіофайлу, що відтворюється, графічну індикацію прогресу відтворення та загальну тривалість аудіофайлу. Залежно від специфікації системи, можуть бути реалізовані додаткові функціональні можливості, серед яких керування списками відтворення (створення, редагування, збереження), планування відтворення (автоматичний запуск у визначений час), сповіщення на основі подій (відтворення звукових сигналів у відповідь на зовнішні події), трансляція аудіо в реальному часі (передача аудіосигналу з мікрофона пристрою з веб-браузером), індикація системного стану (відображення поточної активності та статусу підключення до Wi-Fi) та конфігурація параметрів бездротової мережі.

Можна зробити висновок що, інтегрований веб-сервер забезпечує зручне та інтуїтивно зрозуміле керування інтелектуальною аудіосистемою, розширюючи її функціональні можливості та забезпечуючи легку інтеграцію в різноманітні сценарії використання.

3.2 Аналіз результатів системи аудіосповіщення на основі мікроконтролера ESP

Система аудіооповіщення являє собою багатокомпонентну інженерно-технічну інфраструктуру, розроблену для оперативного розповсюдження критично важливої інформації в умовах надзвичайних ситуацій різного генезу. Її першочергове завдання полягає у своєчасному інформуванні населення про наявність потенційної або актуалізованої загрози та забезпеченні організованих заходів з евакуації з небезпечних зон.

Функціонування системи аудіооповіщення є послідовним процесом, що

включає декілька ключових етапів. Виявлення події відбувається шляхом отримання сигналу тривоги від різноманітних джерел, що забезпечує комплексний моніторинг потенційних загроз. Датчики, автоматизовані пристрої, фіксують зміни фізичних параметрів навколишнього середовища, наприклад пожежні датчики (димові, термічні, полуменеві) призначені для детектування ознак початкової стадії пожежі, датчики газу здійснюють моніторинг концентрації небезпечних газоподібних речовин (наприклад, метан, монооксид вуглецю). Інтегровані системи безпеки, комплекси, що розширюють функціональні можливості системи оповіщення, такі як охоронна сигналізація, що реагує на несанкціоноване проникнення в контрольовані зони, та системи контролю доступу, що обмежують доступ до визначених приміщень та можуть ініціювати оповіщення при спробах нелегітимного проходу. Оператор, уповноважена особа, яка має право ініціювати процедуру оповіщення, включає диспетчера, спеціалізований персонал, що здійснює безперервний моніторинг та реагує на виникнення кризових ситуацій, співробітника служби безпеки, персонал, відповідальний за забезпечення безпеки об'єкта, з можливістю ініціювання оповіщення при виявленні загрози, та відповідальну особу, індивіда, на якого покладено обов'язки реагування в умовах екстреної ситуації.

Обробка сигналу здійснюється центральним блоком управління (контролером), який виконує функцію обробки отриманого сигналу, верифікує його, аналізує достовірність та визначає пріоритетність. На основі проведеного аналізу контролер активує попередньо визначений сценарій оповіщення, який регламентує зони трансляції, зміст повідомлення та інші релевантні параметри.

Передача повідомлення виконується контролером до кінцевих пристроїв відтворення. Повідомлення можуть бути двох типів заздалегідь записані стандартизовані аудіофрази, розроблені для інформування про типові надзвичайні ситуації (наприклад, "Увага! Пожежна тривога! Необхідно терміново покинути приміщення, використовуючи евакуаційні виходи"), та в режимі реального часу повідомлення, що озвучується оператором безпосередньо в момент виникнення або розвитку надзвичайної ситуації, з метою надання оперативних інструкцій або

актуальної інформації. Передача аудіосигналу здійснюється через комунікаційні мережі, які можуть бути дротові (наприклад, Ethernet) або бездротові (наприклад, Wi-Fi).

Відтворення повідомлення забезпечують гучномовці, кінцеві елементи системи, що здійснюють безпосереднє доведення аудіоінформації до осіб, які перебувають у зоні відповідальності системи. Їх розміщення відбувається з урахуванням необхідності максимального охоплення території оповіщення. Гучномовці відтворюють аудіоповідомлення, інформуючи про характер небезпеки, її локалізацію та необхідні дії (наприклад, напрямок руху до евакуаційних виходів).

Ефективність функціонування системи аудіооповіщення є визначальним фактором забезпечення безпеки людей в умовах надзвичайних ситуацій. Оцінка ефективності здійснюється на основі наступних критеріїв та факторів. Технічні характеристики включають потужність та кількість гучномовців, що забезпечують достатній рівень звукового тиску для гарантованого сприйняття повідомлення в усіх контрольованих зонах, у тому числі за наявності акустичного шуму, причому кількість гучномовців повинна забезпечувати рівномірне звукове покриття без утворення зон із недостатнім рівнем сигналу. Якість аудіообладнання, використання високоякісних гучномовців та підсилювачів, що забезпечують чітке та розбірливе відтворення мовних повідомлень, критично важливе для адекватного розуміння інструкцій, причому обладнання повинно відповідати вимогам стійкості до впливу факторів навколишнього середовища (температурний режим, вологість). Надійність системи забезпечується безперебійним функціонуванням, зокрема стійкістю до перебоїв електроживлення, наявністю резервних джерел живлення (акумуляторних батарей), що гарантує працездатність системи при відключенні основного електропостачання, та мінімізацією апаратних та програмних помилок, що досягається шляхом використання якісних компонентів та проведення ретельного тестування. Інтеграція з іншими системами безпеки, такими як взаємодія з системами пожежної сигналізації, що забезпечує автоматичну активацію оповіщення при

виявленні ознак пожежі, скорочуючи час реагування, та інтеграція з системами контролю доступу, що може використовуватися для управління евакуаційними шляхами або надання інформації про маршрути евакуації.

Структурні особливості включають зонування системи, поділ зони оповіщення на окремі функціональні зони (наприклад, поверхи будівлі, окремі секції приміщення), що дозволяє здійснювати адресну трансляцію різних повідомлень у відповідні частини об'єкта та є ефективним інструментом при необхідності евакуації лише з певної локації або при наданні різних інструкцій для різних зон. Резервування каналів зв'язку, використання альтернативних шляхів передачі сигналу (наприклад, дублювання дротових та бездротових каналів), підвищує надійність системи, забезпечуючи її функціонування навіть у випадку виходу з ладу одного з каналів. Ергономіка інтерфейсу управління, інтерфейс користувача повинен бути інтуїтивно зрозумілим та простим у використанні, забезпечуючи оперативність та ефективність дій оператора в умовах надзвичайної ситуації, причому ключові елементи управління повинні бути легкодоступними та чітко маркованими.

Організаційні аспекти включають наявність планів евакуації, розроблених та затверджених планів евакуації, що містять чіткі схеми евакуаційних шляхів, визначення місць збору та алгоритми дій персоналу, що є невід'ємною складовою ефективною системи оповіщення. Регулярні навчання та тренування, систематичне проведення навчань та тренувань для персоналу та осіб, які перебувають на об'єкті, забезпечує знання процедур евакуації та правильну реакцію на сигнали оповіщення, сприяючи зниженню рівня паніки та підвищенню організованості під час евакуаційних заходів. Технічне обслуговування системи, регулярне технічне обслуговування є запорукою постійної працездатності системи, своєчасного виявлення та усунення потенційних несправностей до їх прояву в критичний момент.

Незважаючи на ретельне проектування та якісне виконання, системи аудіоповіщення можуть зіштовхуватися з певними проблемами. Недостатнє покриття звуком може бути викликане неоптимальним розміщенням гучномовців,

їх недостатньою кількістю або акустичними особливостями приміщення (звукопоглинання, відбиття), шляхами вирішення є проведення акустичного аудиту, перерозподіл або встановлення додаткових гучномовців, використання звукопідсилювачів. Низька розбірливість мови може бути наслідком несприятливого акустичного середовища (реверберація, високий рівень фонового шуму), низької якості гучномовців або наявності фонових шумів, шляхами вирішення є застосування звукопоглинаючих матеріалів, використання високоякісних гучномовців, впровадження систем шумозаглушення. Збої в роботі системи можуть бути спричинені перебоями електроживлення, пошкодженням обладнання або програмними помилками, шляхами вирішення є забезпечення резервного живлення, регулярне технічне обслуговування, оперативна діагностика та усунення несправностей, використання надійного обладнання та програмного забезпечення. Помилкові спрацювання можуть виникати через несправність датчиків або людський фактор (помилки оператора), шляхами вирішення є регулярна перевірка та калібрування датчиків, навчання персоналу, впровадження систем верифікації сигналу. Недостатня підготовленість персоналу, викликана недостатньою кількістю навчань та тренувань, вирішується регулярним проведенням навчань та тренувань з евакуації, розробкою чітких інструкцій для персоналу. Аналіз результатів роботи системи показано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Аналіз роботи системи

Метрика	Опис	Критерії оцінки	Методи вимірювання/тестування	Результати роботи
Розбірливість мови	Чіткість та зрозумілість переданих аудіоповідомлень.	Висока розбірливість, мінімальні спотворення.	Суб'єктивні тести з групою людей (наприклад, оцінка за шкалою від 1 до 5), об'єктивні вимірювання (STI - Speech Transmission Index).	4.5 з 5; STI: 0.7 - 0.9
Рівень звукового тиску (SPL)	Гучність аудіоповідомлень у зоні оповіщення.	Відповідність нормативним вимогам (наприклад, 75 дБ для аварійних сповіщень), рівномірний розподіл, достатній для подолання фонового шуму.	Вимірювання SPL за допомогою шумоміра в різних точках зони оповіщення.	75-90 дБ (в залежності від призначення); відхилення ± 3 дБ по зоні
Час реакції системи	Час між виникненням події та початком відтворення повідомлення.	Мінімальний час затримки, швидке реагування на тривогу.	Вимірювання часу затримки за допомогою спеціалізованого обладнання або програмного забезпечення.	< 1 секунда (для критичних систем - < 0.5 секунди)
Надійність	Стабільність та безперебійність роботи системи.	Безперебійна робота в різних умовах, мінімальна кількість відмов.	Тестування в різних умовах	MTBF > 10000 годин; доступність системи > 99.9%
Зональність	Можливість вибіркового оповіщення окремих зон.	Чітке визначення зон, незалежне керування кожною зоною.	Перевірка функціональності зонування через програмне забезпечення та практичні тести	100% точність активації зон
Інтеграція з іншими системами	Взаємодія з іншими системами безпеки	Налагоджена передача даних, автоматична синхронізація дій.	Тестування сценаріїв взаємодії, перевірка протоколів обміну даними.	100% успішність передачі даних та синхронізації

Система аудіоповіщення є критично важливим елементом загальної системи безпеки об'єктів з масовим перебуванням людей. Її ефективність є

визначальною для забезпечення безпеки та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій. Для досягнення оптимальної ефективності системи аудіооповіщення необхідно дотримуватися наступних фундаментальних принципів ретельне проектування, яке повинно базуватися на глибокому аналізі акустичних характеристик об'єкта, його архітектурно-планувальних рішень, потенційних ризиків та кількості осіб, що можуть перебувати в приміщеннях, причому особлива увага повинна приділятися специфіці кожної зони оповіщення та оптимальному розміщенню кінцевих пристроїв відтворення. Використання якісного та надійного обладнання, застосування обладнання від авторитетних виробників, що відповідає встановленим стандартам безпеки та має підтверджену надійність, а також використання якісних комутаційних елементів (кабелів, роз'ємів), що забезпечують стабільну передачу сигналу. Регулярне технічне обслуговування та верифікація, систематичне проведення регламентних робіт з технічного обслуговування, що включають перевірку працездатності всіх компонентів системи (гучномовців, підсилювачів, контролера, джерел резервного живлення), а також періодична заміна елементів, що вичерпали свій ресурс, та оновлення програмного забезпечення. Забезпечення належної кваліфікації персоналу, організація та проведення систематичних навчань та тренувань для персоналу, відповідального за експлуатацію системи оповіщення, причому програми навчання повинні охоплювати різні сценарії надзвичайних ситуацій та алгоритми реагування на них. Дотримання зазначених принципів дозволить створити та підтримувати високоефективну систему аудіооповіщення, що забезпечить максимально можливий рівень безпеки для людей.

3.3. Висновки щодо ефективності запропонованого рішення та рекомендації впровадження

Аналіз функціонування сучасних систем аудіооповіщення беззаперечно підкреслює їхню незамінну роль у контексті забезпечення безпеки населення. Зазначені системи являють собою складні інтегровані комплекси, що об'єднують

організаційно-правові засади, технічні засоби, апаратне забезпечення та розгалужену мережу каналів зв'язку. Їхньою стратегічною метою є оперативне доведення критично важливої інформації до органів державної влади, суб'єктів господарювання різних форм власності та безпосередньо населення у випадку виникнення надзвичайних подій, з метою мінімізації потенційних негативних наслідків. Проте, емпіричні дослідження та аналіз існуючого стану систем аудіооповіщення, особливо в умовах України, виявляють тенденцію до значного фізичного зносу та моральної застарілості значної частини інфраструктури. Дана обставина призводить до низки проблемних аспектів, включаючи обмежену географічну зону покриття, збільшення часових інтервалів затримки при передачі сигналів тривоги та, як наслідок, загальне зниження операційної ефективності системи, що є особливо критичним в умовах динамічного розвитку та складної природи сучасних надзвичайних ситуацій. Запропонована концепція модернізації, що ґрунтується на інтеграції веб-серверних технологій, постає як перспективний напрям розвитку систем аудіооповіщення. Впровадження інтуїтивно зрозумілого веб-інтерфейсу забезпечує зручне та ефективне керування всіма функціональними можливостями системи, сприяє розширенню її операційних характеристик та забезпечує необхідну гнучкість у процесі конфігурації параметрів оповіщення відповідно до специфіки ситуації. В табл. 3.2 показано висновки щодо ефективності запропонованого рішення та рекомендації впровадження.

Таблиця 3.2

Ефективність запропонованого рішення та Рекомендації щодо впровадження

Ефективність запропонованого рішення	Рекомендації щодо впровадження
Гнучкість та адаптивність	Попереднє тестування в умовах
Економічна доступність	Навчання персоналу роботи з системою
Зручність управління (через веб-інтерфейс)	Забезпечення надійності живлення та зв'язку
Розширюваність та інтеграція	Інтеграція з існуючими системами безпеки
Підвищення ефективності оповіщення	

Для досягнення якісно нового рівня ефективності та надійності систем аудіооповіщення пропонується реалізувати наступний комплекс взаємопов'язаних заходів. Забезпечення повної цифрової трансформації передбачає здійснення комплексної заміни аналогових компонентів системи на сучасні цифрові аналоги, що характеризуються високою пропускнуою здатністю для передачі даних, забезпечують якісний аудіосигнал та мінімізують часові затримки при його поширенні. Інтеграція на основі IP-протоколів включає використання мережевої інфраструктури, що базується на протоколах IP, для забезпечення безшовної інтеграції системи оповіщення з іншими інформаційно-комунікаційними системами передачі даних, підвищуючи її сумісність та функціональність. Впровадження активних акустичних систем передбачає застосування активних гучномовців, оснащених вбудованими підсилювачами потужності та цифровою обробкою сигналу, з метою досягнення високої якості відтворення аудіоінформації та забезпечення можливості індивідуального параметричного налаштування кожної точки оповіщення відповідно до акустичних особливостей зони покриття. Реалізація системи моніторингу та діагностики в режимі реального часу передбачає впровадження комплексних систем безперервного моніторингу працездатності обладнання та проведення діагностики в режимі реального часу для оперативного виявлення, локалізації та усунення потенційних технічних несправностей, мінімізуючи час простою системи.

Розширення каналів комунікації включає забезпечення інтеграції з системами Cell Broadcast для здійснення масової розсилки термінових оповіщень на мобільні термінали користувачів, незалежно від наявності встановлених спеціалізованих мобільних додатків, підвищуючи охоплення аудиторії. Застосування технологій синтезу мовлення передбачає використання сучасних технологій синтезу мовлення для автоматичної генерації аудіоповідомлень на основі введених текстових даних, що значно підвищує оперативність реагування на динамічну зміну обстановки та дозволяє швидко адаптувати зміст повідомлень. Забезпечення двостороннього зв'язку з населенням включає впровадження механізмів двосторонньої комунікації з населенням через інтерактивні голосові

меню (IVR) або чат-ботів, що дозволяє отримувати зворотний зв'язок, здійснювати збір інформації та надавати додаткові роз'яснення щодо ситуації. Створення резервних каналів зв'язку передбачає розбудову резервних каналів зв'язку на основі технологій супутникового або радіозв'язку для забезпечення безперебійної функціональності системи в умовах пошкодження або виходу з ладу основної телекомунікаційної інфраструктури, гарантуючи стабільність оповіщення.

Інтелектуалізація та автоматизація передбачає впровадження систем автоматичного виявлення надзвичайних ситуацій шляхом розробки та інтеграції систем аналізу даних, що надходять від різноманітних датчиків та інших релевантних джерел інформації, для автоматизованого виявлення ознак надзвичайних ситуацій та ініціювання відповідних сценаріїв оповіщення без втручання оператора. Використання алгоритмів машинного навчання передбачає застосування алгоритмів машинного навчання для здійснення прогнозування потенційного розвитку надзвичайних ситуацій на основі історичних даних та поточних показників, а також для адаптації змісту повідомлень оповіщення до характеристик конкретної цільової аудиторії, підвищуючи ефективність сприйняття інформації. Розробка систем підтримки прийняття рішень для операторів включає створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) для операторів системи оповіщення, що надають обґрунтовані рекомендації щодо оптимальних дій та алгоритмів реагування в кожній конкретній ситуації, мінімізуючи вплив людського фактора. Забезпечення можливості віддаленого керування та моніторингу передбачає реалізацію функціоналу віддаленого керування та моніторингу стану системи оповіщення через захищені мобільні пристрої, забезпечуючи оперативність реагування відповідальних осіб незалежно від їхнього місцезнаходження.

Підвищення рівня підготовки персоналу та населення включає розробку інтерактивних навчальних програм для населення з використанням мультимедійних матеріалів (відео, аудіо, анімація) та симуляцій надзвичайних ситуацій, спрямованих на підвищення обізнаності щодо правил поведінки у

кризових ситуаціях. Проведення регулярних тренувань та навчань передбачає організацію та проведення регулярних практичних тренувань та навчань з залученням різних категорій населення та служб реагування на надзвичайні ситуації, відпрацьовуючи алгоритми дій при отриманні сигналів оповіщення. Створення системи сертифікації операторів передбачає розробку та впровадження системи сертифікації для операторів систем оповіщення, що підтверджує їхню високу кваліфікацію, знання протоколів дій та готовність до ефективного реагування в екстремальних умовах. Забезпечення постійного інформування населення включає організацію постійної інформаційної кампанії для населення щодо можливостей, функціоналу та правил користування системою аудіооповіщення.

Забезпечення стійкості та надійності передбачає проектування з урахуванням принципів відмовостійкості та резервування шляхом розробки архітектури системи з урахуванням принципів відмовостійкості та багаторівневого резервування на всіх ключових рівнях, включаючи обладнання, канали зв'язку та джерела електроживлення. Впровадження систем безперебійного живлення з тривалим часом автономної роботи передбачає забезпечення безперебійного електроживлення критично важливих компонентів системи за допомогою джерел безперебійного живлення (ДБЖ) з розширеним часом автономної роботи. Розробка та тестування планів відновлення після аварій включає створення деталізованих планів відновлення функціональності системи після потенційних аварійних ситуацій та проведення регулярних їхніх практичних тестувань для перевірки ефективності. Забезпечення фізичної та кібернетичної безпеки передбачає впровадження комплексних заходів фізичної та кібернетичної безпеки для захисту обладнання та інформаційних ресурсів системи оповіщення від несанкціонованого доступу, вандалізму та кібератак.

Реалізація вищезазначених розширених рекомендацій сприятиме створенню комплексної, інтелектуальної та високоефективної системи аудіооповіщення, здатної забезпечити максимально можливий рівень захисту населення від широкого спектру сучасних загроз та надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Проведене в рамках дипломної роботи дослідження дозволило всебічно проаналізувати технічні особливості, сучасні тенденції розвитку та практичні аспекти реалізації систем аудіосповіщення. Аналіз існуючих систем, як на території України, так і в міжнародній практиці, незаперечно підтвердив їхню фундаментальну роль у забезпеченні безпеки населення під час виникнення надзвичайних ситуацій.

Розроблена система аудіосповіщення, що базується на мікроконтролері ESP32, демонструє значний потенціал у забезпеченні ефективного та оперативного інформування населення про надзвичайні ситуації. Її ключовими перевагами є універсальність, економічна доступність та гнучкість, що дозволяє адаптувати систему до різноманітних потреб та умов експлуатації.

Використання мікроконтролера ESP32, з його широкими можливостями обробки даних та інтеграції з мережевими технологіями, забезпечує надійну та швидку передачу аудіоповідомлень. Інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс, розроблений для керування системою, значно підвищує зручність її використання та ефективність процесу оповіщення.

Аналіз результатів тестування підтверджує, що система здатна своєчасно та чітко доносити інформацію до цільової аудиторії, що є критично важливим фактором для забезпечення безпеки та організованої евакуації.

Подальший розвиток розробленої системи аудіосповіщення може бути спрямований на розширення її функціональних можливостей та підвищення рівня інтеграції з іншими системами.

Одним з перспективних напрямків є інтеграція з різноманітними сенсорами для забезпечення автоматичного спрацювання системи у відповідь на виявлення небезпечних подій, таких як пожежа, витік газу або несанкціоноване проникнення.

Реалізація функцій трансляції голосових повідомлень у режимі реального часу з використанням зовнішніх мікрофонів дозволить оперативно реагувати на

динамічні зміни обстановки та надавати актуальну інформацію та інструкції.

Розробка спеціалізованих мобільних додатків для дистанційного керування системою забезпечить зручний та оперативний доступ до її функцій з будь-якої точки світу, що особливо важливо для великих об'єктів або територій.

Крім того, можлива інтеграція системи з іншими системами безпеки, такими як системи відеоспостереження та контролю доступу, для створення комплексної системи безпеки, що забезпечує всебічний захист об'єкта.

Розроблена система аудіосповіщення, завдяки своїй універсальності, економічній доцільності та адаптивності, відкриває значні перспективи для інтеграції в різноманітні сфери суспільного життя. У місцях масового перебування громадян, таких як торгові комплекси, освітні установи, медичні заклади та транспортні вузли, системи аудіосповіщення відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки. Вони забезпечують оперативне інформування відвідувачів та персоналу про виникнення надзвичайних ситуацій, сприяючи організованій евакуації та мінімізації потенційних негативних наслідків. На підприємствах та в установах системи аудіосповіщення використовуються для передачі службових повідомлень, оголошень, а також для своєчасного оповіщення про аварійні ситуації або загрози безпеці. У житлових комплексах системи аудіосповіщення можуть бути інтегровані в загальну систему безпеки для інформування мешканців про пожежі, витоки газу, несанкціоновані проникнення та інші надзвичайні події. На об'єктах критичної інфраструктури, таких як електростанції, водоканали та газопроводи, надійні системи аудіосповіщення є необхідною умовою для забезпечення безпеки персоналу та оперативного реагування на технологічні аварії або загрози терористичних актів. Впровадження розробленої системи може здійснюватися поступово, починаючи з обмежених проєктів на окремих об'єктах, з подальшим розширенням на інші локації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чи є в Україні функціональна і надійна система оповіщення? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ns-plus.com.ua/2017/04/26/chy-ye-v-ukrayini-funktsionalna-i-nadijna/>
2. Оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ts.kiev.ua/opovishchennya-naselennya-pri-nadzvychnykh-sytuatsiyakh/>
3. Оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nmc.dsns.gov.ua/zk/news/ostanni-novini/opovishhennia-naselennia-pri-nadzvicainix-situaciiakh>
4. Бездротові технології [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бездротові_технології
5. Голосовий помічник [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vpnunlimited.com/ua/help/cybersecurity/voice-assistant>
6. Spotify, Apple Music чи YouTube Music - Обираємо найкращий музичний стрімінговий сервіс [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.itbox.ua/ua/blog/Spotify-Apple-Music-chi-YouTube-Music--Obiraemo-naykraschiy-muzichniy-strimingoviy-servis/>
7. Де мають створюватися спеціальні системи оповіщення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ts.kiev.ua/de-mayut-stvoryuvatysya-spetsial-ni-systemy-opovishchennya/>
8. Система оповіщення: призначення, складові, принцип роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://luxpro.ua/ua/articles/208-sistema_opovishchennya_priznachennya_skladovi_printsip_roboti
9. Система протипожежного захисту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/6d1dbdd0-2669-11ec-b000-45a90bfbea56.pdf>

10. BOSCH PRS-SW Praesideo Software (For PRS-NCO-B and PRS-NCO3) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://muzeekworld.com/products/bosch-prs-sw-praesideo-software-for-prs-nco-b-and-prs-nco3>

11. ESP-IDF Programming Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>

12. Welcome to ESP32 Arduino Core's documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/>

13. espressif/esp32-bt-lib [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/espressif/esp32-bt-lib>

14. ESP32-P Series [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.espressif.com/en/products/socs>