

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-30>

УДК 004.77:796.6

Салтовський Борис Григорович, ст. викладач

<https://orcid.org/0009-0006-8296-201X>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

ІНТЕРАКТИВНЕ ТАБЛО НА АДРЕСНИХ СВІТЛОДІОДАХ

Салтовський Б. Г. Інтерактивне табло на адресних світлодіодах. Стаття присвячена проблемі оперативного інформування населення про надзвичайні ситуації за допомогою сучасних IoT-технологій. Автором розглянуто недоліки традиційних систем оповіщення, зокрема механічних сирен та радіотрансляційних мереж, які мають обмежений функціонал і не забезпечують деталізованої інформації. У роботі обґрунтовано доцільність створення інтерактивного табло на основі адресних світлодіодів, здатного відображати візуальні сигнали, графічні повідомлення та супроводжувальні звукові індикатори. Апаратна частина розробки побудована на мікроконтролері ESP32 з інтегрованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє отримувати актуальні дані через API UkraineAlarm. Візуальна індикація реалізована за допомогою світлодіодної матриці WS2812B, а звукове дублювання забезпечується аудіомодулем MAX98357. У статті детально описано архітектуру програмної частини, включаючи модулі роботи з мережею, API, відображення даних та конфігурації пристрою. Автор продемонстрував результати тестування прототипу, який забезпечує швидкий час реакції (близько 2 секунд) та стабільну роботу навіть за умов перебоїв з'єднання. Отримані результати свідчать про високу ефективність інтерактивного табло як засобу цивільного захисту. У перспективі пропонується розширення функціоналу, інтеграція з мобільними застосунками та використання алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування загроз, що підвищить рівень безпеки населення.

Ключові слова: інтерактивне табло, адресні світлодіоди, ESP32, API, система оповіщення.

Saltovskiy B. Interactive scoreboard on addressable LEDs. The article addresses the urgent problem of timely public notification during emergencies using modern IoT technologies. The author analyzes the limitations of traditional alert systems, such as mechanical sirens and broadcast networks, which often lack flexibility and fail to provide detailed information. The paper substantiates the development of an interactive display board based on addressable LEDs, capable of presenting visual signals, graphical messages, and complementary audio alerts. The hardware design employs an ESP32 microcontroller with integrated Wi-Fi and Bluetooth modules, enabling real-time data retrieval through the UkraineAlarm API. Visual indication is implemented with a WS2812B LED matrix, while audio feedback is supported by the MAX98357 sound module. The article provides a detailed description of the software architecture, including modules for network management, API communication, data visualization, and device configuration. Prototype testing demonstrated fast response times of approximately two seconds and stable operation even under unstable network conditions. The obtained results confirm the effectiveness of the interactive board as a tool for civil protection and emergency communication. Future research directions include expanding functionality with autonomous power supply, integrating mobile applications, and applying artificial intelligence algorithms for multi-source data analysis and threat prediction, thereby enhancing resilience and public safety.

Keywords: interactive display board, addressable LEDs, ESP32, API, alert system.

Постановка проблеми. В умовах зростання кількості надзвичайних ситуацій, пов'язаних із військовими загрозами, техногенними аваріями та стихійними лихами, особливої актуальності набувають системи оперативного оповіщення населення. Традиційні засоби сповіщення — такі як механічні сирени чи радіотрансляційні мережі — мають обмежений функціонал, недостатню гнучкість та не завжди забезпечують своєчасне донесення інформації до всіх категорій користувачів. Крім того, ці системи часто не здатні передавати деталізовану інформацію про тип та географію загрози, що ускладнює ефективне реагування. Сучасні технології, зокрема розвиток мікроконтролерів із вбудованими модулями бездротового зв'язку, адресних світлодіодів та інтеграція з онлайн-сервісами, створюють передумови для розробки більш інформативних, автономних і масштабованих систем оповіщення. Одним із перспективних рішень є використання інтерактивних табло на основі адресних світлодіодів, які дозволяють відображати як візуальні сигнали певного кольору, так і графічні повідомлення, у тому числі карти з локалізацією тривоги. Однак, попри доступність апаратної бази та API-сервісів, відсутня комплексна методика проектування таких систем, що враховувала б одночасно технічні, ергономічні та організаційні вимоги. Необхідно вирішити наукову задачу створення інтерактивного табло з можливістю автоматичного отримання актуальних даних про тривоги через API, їх оперативної обробки та мультимодального оповіщення користувачів.

Таким чином, наукова проблема полягає у розробленні та обґрунтуванні архітектури апаратно-програмного комплексу інтерактивного табло, здатного забезпечити високу швидкість реакції, надійність та інформативність оповіщення в умовах обмежених ресурсів і можливих перебоїв у роботі комунікаційних каналів.

Аналіз існуючих рішень. Системи оповіщення про надзвичайні ситуації є невід'ємною складовою національної безпеки та цивільного захисту. Їх основна мета — своєчасне інформування населення про виникнення загроз і надання інструкцій щодо необхідних дій. Існуючі рішення можна поділити на декілька категорій:

- Традиційні аналогові системи — механічні сирени, гучномовці, радіо- та телетрансляційні мережі;
- Цифрові та мережеві системи — мобільні додатки, SMS-оповіщення, веб-портали;
- Інтегровані IoT-рішення — апаратно-програмні комплекси з бездротовою передачею даних, інтеграцією датчиків і модулів оповіщення.

Традиційні системи вирізняються простотою та автономністю, однак вони обмежені у можливості передавати деталізовану інформацію та залежні від фізичної доступності сигналу. Цифрові рішення здатні надавати розширені відомості, але їх ефективність залежить від доступності інтернет- або мобільного зв'язку. Інтегровані IoT-системи поєднують переваги обох підходів, дозволяючи передавати як короткі сигналізуючі повідомлення, так і візуалізовані дані.

Відомі методи можна умовно поділити на візуальні та звукові.

Візуальні методи:

- світлові маячки та пробіскові ліхтарі;
- LED- та OLED-індикатори;
- адресні світлодіодні матриці (WS2812B тощо), здатні відображати динамічні графічні елементи, у тому числі мапи тривог;
- інформаційні табло з текстовими повідомленнями.

Звукові методи:

- електромеханічні сирени [2];
- гучномовці з попередньо записаними повідомленнями;
- мовні автоматизовані системи (TTS);
- інтеграція із транспортними та будівельними аудіосистемами.

Використання комбінованого підходу — світло + звук — підвищує ймовірність своєчасного реагування користувачів, особливо у складних погодних умовах або за підвищеного рівня шуму.

Серед сучасних рішень можна виділити декілька цікавих прикладів:

- Мапа тривог на базі мікроконтролеру (Рис. 1) — апаратно-програмний комплекс, що отримує дані з API (наприклад, UkraineAlarm) та відображає стан тривоги для окремих регіонів України у вигляді світлових індикаторів на LED-матриці. Кожен світлодіод відповідає за певну область і змінює колір залежно від типу загрози [7].



Рис. 1. Карта України на адресних світлодіодах

- Портативний пристрій сигналізації з підключенням зовнішньої сирени (Рис. 2) — автономний модуль на базі мікроконтролеру із живленням від акумуляторів, здатний як самостійно оповіщати про тривогу, так і активувати зовнішні звукові системи [27].



Рис. 2. Сирена повітряної тривоги С- 40 К

- Мобільні застосунки та веб-платформи оповіщення — рішення, які надсилають повідомлення про початок і завершення тривоги на смартфони користувачів. Приклади: “Air Alert!” (Рис. 3), “Ukraine Alarm Map” [19].

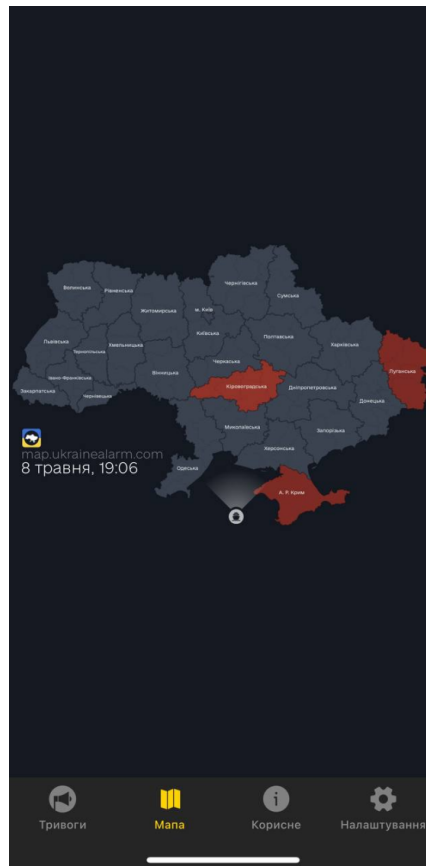


Рис 3. Застосунок Air Alert

Переваги цих прототипів полягають у гнучкості конфігурації, використанні доступних апаратних модулів і можливості інтеграції з хмарними сервісами. Основними недоліками є залежність від стабільності інтернет-з'єднання та обмеженість функціоналу у разі втрати живлення.

Проаналізувавши ці підходи, пропонується створення своєї реалізації інтерактивної карти на адресних світлодіодах.

Проектування апаратної частини пристрою. Проектування апаратної частини інтерактивного табло базується на виборі та інтеграції компонентів, здатних забезпечити необхідну функціональність, стабільність роботи та простоту обслуговування. Основними вимогами до апаратної частини є:

- можливість бездротового отримання даних про тривоги у режимі реального часу;
- підтримка візуального та звукового інформування;
- низьке енергоспоживання та потенційна автономна робота;
- компактність і модульність конструкції.

Вибір обчислювального модуля. В якості центрального обчислювального елемента обрано мікроконтролер ESP32 (Рис. 4), що поєднує в собі:

- двоядерний процесор з тактовою частотою до 240 МГц;
- вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth;
- достатню кількість GPIO для підключення периферійних пристроїв;
- підтримку роботи з адресними світлодіодами за протоколом One-Wire;
- енергоефективні режими сну.

Використання ESP32 дає змогу напряму інтегруватися з API UkraineAlarm та іншими сервісами без додаткових мережевих шлюзів [14, 15].

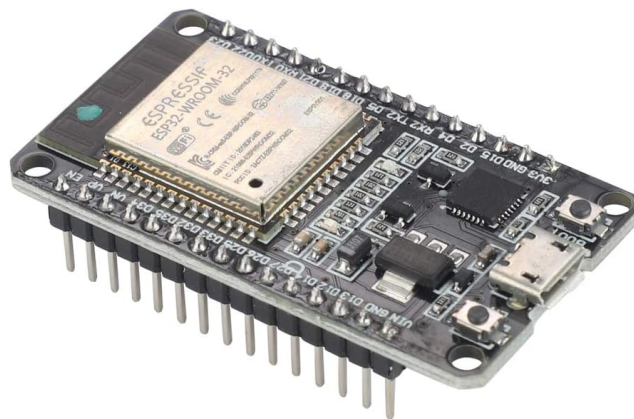


Рис. 4. ESP32 (ESP-WROOM-32)

Модуль візуальної індикації. Для відображення інформації використано адресні світлодіоди WS2812B (Рис. 5), об'єднані у світлодіодну матрицю. Кожен світлодіод можна індивідуально керувати, змінюючи його колір і яскравість. Переваги WS2812B:

- простота підключення (один сигнальний провід);
- підтримка відтворення анімацій і графічних символів;
- можливість масштабування конструкції від кількох десятків до сотень елементів.

У проєкті матриця може відображати карту регіонів України з кольоровою індикацією стану тривоги для кожного регіону.

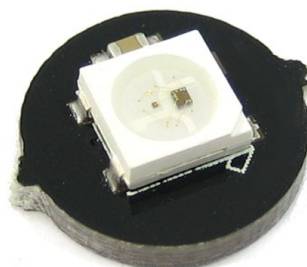


Рис. 5. Адресний світлодіод WS2812

Аудіосистема. Для дублювання візуальних сигналів інтегровано аудіомодуль MAX98357 (Рис. 6) із динаміком, що відтворює короткі звукові сигнали або мовні повідомлення. Підключення до ESP32 здійснюється через інтерфейс I2S, що забезпечує високу якість відтворення.

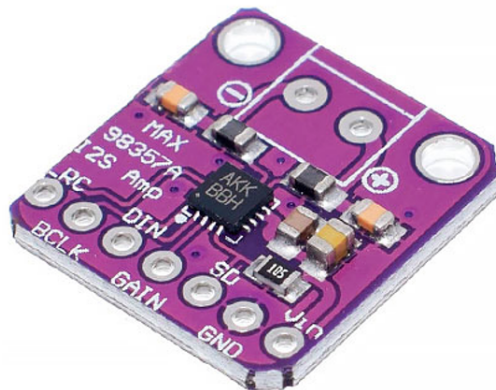


Рис. 6. Аудіомодуль MAX98357

Система живлення. Апаратна частина живиться від зовнішнього джерела постійного струму 5 В з можливістю підключення резервного акумулятора. Передбачено модуль стабілізації напруги та захист від перевантаження. При роботі у стаціонарному режимі живлення подається через адаптер, а у разі його зникнення автоматично активується резервне живлення.

Конструктивне виконання. Усі компоненти розміщені на монтажній платі в корпусі з ударостійкого пластику. Внутрішнє компонування забезпечує простий доступ до модулів для технічного обслуговування або модернізації.

Запропонована апаратна архітектура поєднує доступні та енергоефективні компоненти, забезпечує високу швидкість реакції на зміну станів тривоги та може бути масштабована для використання в різних типах приміщень — від невеликих укриттів до великих громадських об'єктів.

Проектування програмної частини пристрою. Програмна частина інтерактивного табло відповідає за отримання даних про тривоги, їх обробку та відображення на візуальних і звукових модулях. Основними вимогами до програмного забезпечення є:

- стабільна робота в умовах нестабільного інтернет-з'єднання;
- мінімальний час реакції від моменту надходження сигналу до його індикації;
- можливість конфігурації параметрів без фізичного доступу до пристрою;
- оптимізація використання пам'яті та енергоспоживання.

Матеріали та методи. В основі пристрою використано мікроконтролер ESP32 з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth. Візуальна індикація реалізована на адресних світлодіодах WS2812B, які дозволяють індивідуально керувати кольором кожного світлодіода. Звукове оповіщення здійснюється за допомогою аудіоплати з динаміком. Система отримує дані про тривоги через API UkraineAlarm, що забезпечує актуальну інформацію для конкретного регіону.

Архітектура програмного забезпечення. Програмна логіка реалізована на основі мови програмування C++ з використанням *Arduino Core for ESP32* [18], що забезпечує сумісність із великою кількістю бібліотек та прикладів. Структура програмного забезпечення складається з наступних модулів:

- Модуль мережевої взаємодії — встановлює з'єднання з точкою доступу Wi-Fi, контролює його стан, виконує повторні спроби підключення у разі збоїв.
- Модуль роботи з API — здійснює періодичні HTTP(S)-запити до UkraineAlarm API, отримує дані у форматі JSON та виконує їх синтаксичний розбір.
- Модуль відображення інформації — інтерпретує отримані дані та формує світлові сценарії на адресних світлодіодах, а також вмикає відповідні звукові сигнали.
- Модуль конфігурації — зберігає налаштування пристрою (SSID, пароль Wi-Fi, регіон моніторингу, яскравість індикації) у енергонезалежній пам'яті (NVS).
- Системний модуль — відповідає за обробку виключних ситуацій, керування живленням і переведення пристрою у режим сну.

Обмін даними з API. Отримання актуальної інформації здійснюється через протокол HTTPS для забезпечення безпеки переданих даних. Дані приходять у форматі JSON, де для кожного регіону вказано [20]:

- стан тривоги (активна/завершена);
- тип загрози (повітряна, артилерійська, ракетна тощо);
- час початку та завершення.

Модуль розбору даних використовує бібліотеку *ArduinoJson*, що забезпечує ефективну роботу з обмеженими ресурсами мікроконтролера.

Логіка візуалізації. Кожен регіон України відображається на LED-матриці у вигляді окремого світлодіода або групи світлодіодів. Колір індикації відповідає типу тривоги:

- червоний — повітряна тривога;
- жовтий — артилерійський обстріл;
- фіолетовий — ракетна загроза;
- зелений — відсутність тривоги.

Динамічні ефекти (пульсація, миготіння) застосовуються для привернення уваги у критичних ситуаціях.

Звукове оповіщення. При отриманні сигналу тривоги активується звуковий модуль. Для генерації звуків використовується бібліотека *ESP8266Audio* (сумісна з *ESP32*), що дозволяє відтворювати як прості сигнали, так і заздалегідь записані голосові повідомлення. Гучність регулюється програмно, а мелодії можуть змінюватися залежно від типу загрози.

Веб-інтерфейс керування. Для зручності конфігурації реалізовано вбудований веб-сервер, що дозволяє змінювати налаштування через браузер без перепрошивки пристрою. Інтерфейс побудований на HTML/CSS/JavaScript та доступний у локальній мережі.

Оптимізація та безпека. Програмне забезпечення оптимізовано для мінімізації затримок у роботі системи. Використання неблокуючих функцій та асинхронних запитів дозволяє уникати «зависань» при втраті з'єднання. Для захисту від несанкціонованого доступу реалізовано просту систему аутентифікації користувачів у веб-інтерфейсі.

Проектування програмної частини забезпечує гнучке, надійне та масштабоване рішення для інтерактивного табло. Вона дозволяє не лише оперативно отримувати й відображати дані про тривоги, а й адаптувати роботу пристрою під різні умови експлуатації та сценарії використання.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Прототип пристрою успішно пройшов тестування, показавши здатність коректно отримувати дані з API та відображати їх на світлодіодному табло. Час реакції системи на зміну стану тривоги становить близько 2 секунд. Аудіосигнал супроводжує візуальну індикацію, підвищуючи ймовірність своєчасного реагування користувачів. Розроблений пристрій може бути ефективно використаний у захисних сховищах та інших об'єктах для оперативного інформування про надзвичайні ситуації. Подальший розвиток системи може включати додавання автономного живлення, розширення функцій та інтеграцію з іншими системами безпеки. Розширене тестування у реальних умовах експлуатації підтвердило високу надійність запропонованого рішення. Система продемонструвала стабільну роботу протягом тривалого часу, не виявивши критичних збоїв навіть за наявності зовнішніх перешкод, таких як коливання напруги чи тимчасові збої в мережевому з'єднанні. Це робить її придатною для використання у критично важливих об'єктах, де безперебійність оповіщення має ключове значення. Під час подальших експериментів було розглянуто різні конфігурації адресних світлодіодів, зокрема варіанти з лінійним та матричним розташуванням елементів. Матрична структура дозволила значно підвищити інформативність табло, оскільки з'явилася можливість відображення графічних символів та динамічних анімацій, що привертають увагу користувачів у стресових ситуаціях. Окрему увагу було приділено оптимізації алгоритмів оновлення зображення на табло, що дало змогу знизити затримку від моменту отримання сигналу до його візуалізації. Під час тестування в умовах моделювання втрати мережевого підключення пристрій переходив у автономний режим, відтворюючи останні отримані дані та вмикаючи попередньо запрограмовані візуальні та звукові сигнали. Серед додаткових напрямів дослідження було розглянуто можливість інтеграції пристрою з мобільними додатками, що забезпечить віддалене керування та моніторинг стану табло. Реалізація такої функції передбачає використання захищених каналів передачі даних та автентифікації користувачів, що підвищить загальний рівень безпеки системи. Також перспективним є впровадження алгоритмів штучного інтелекту для аналізу даних з кількох джерел

і прогнозування потенційних загроз. Це дозволить автоматично змінювати сценарії роботи табло відповідно до характеру ситуації.

Список бібліографічного опису

1. Led display and method for operating an led display : patent WO/2020/053137 Germany : G09G 3/3225 2016.1 G09G 3/20 2006.1. No. PCT/EP2019/073974 ; applied on 09.09.2019 ; published on 19.03.2020. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2020053137&cid=P11-LVZGF9-70963-1>.
2. Alarm siren : patent 89114069 eu : G10K 7/06. No. 0411168 ; applied on 29.07.1989 ; published on 06.02.1991, Bulletin no. 89114069. 7 p. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP12116422&cid=P11-LVZFUN-57913-1>.
3. Led light address emitter, vehicle networking system and electronic map drawing method : patent 103400506 China : G08G 1/13 H04L 29/08. No. 201310325601.5 ; applied on 30.07.2013 ; published on 10.02.2016. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN97898734&cid=P11-LVZGZZ-82941-1>.
4. Riley T. M. Multiple images as a function of leds viewed during vibratio. *Sage journals*. 1977. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1177/00187208770190010>.
5. Meng M. Application programming interface documentation: what do software developers want?. *Sage journals*. 2017. Vol. 48, no. 3. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0047281617721853>.
6. Defensebridge. Anti-Aircraft warfare: safeguarding the skies from aerial threats | defensebridge. *Homepage | Defensebridge*. URL: <https://defensebridge.com/article/anti-aircraft-warfare-safeguarding-the-skies-from-aerial-threats.html>.
7. Дмитро. Мапа тривоги своїми руками на базі esp32! *Друкярня*. URL: <https://drukarnia.com.ua/articles/mapa-trivogi-svoimi-rukami-na-bazi-esp32-gaid-dlya-novachkiv-NW25#heading-2-1523>.
8. Neil Cameron. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices. December 18, 2020, p. 723.
9. Craig Hunt. TCP/IP Network Administration (3rd Edition; O'Reilly Networking). April 1, 2002, p. 746.
10. Cuno Pfister. Getting Started with the Internet of Things: Connecting Sensors And Microcontrollers To The Cloud. June 21, 2011, p. 194.
11. Sayak Boral. Article: What is ESP32 and Why Is It Best for IoT Projects? May 25, 2020. URL: <https://www.iottectrends.com/what-is-esp32/>.
12. A New Dimension of Air-Based Threats | DGAP. *German Council on Foreign Relations | DGAP*. URL: <https://dgap.org/en/research/publications/new-dimension-air-based-threats>.
13. Cameron N. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32. Berkeley, CA : Apress, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6336-5>.
14. The complete ESP32 projects guide | espressif systems. *Wireless SoCs, Software, Cloud and AIoT Solutions | Espressif Systems*. URL: <https://www.espressif.com/en/news/complete-esp32-projects-guide>.
15. 160+ ESP32 projects, tutorials and guides with arduino IDE | random nerd tutorials. *Random Nerd Tutorials*. URL: <https://randomnerdtutorials.com/projects-esp32/>.
16. Bielicki T. Install software on computer : arduino ide: stm32 arduino ide. Independently Published, 2021.
17. Marco Schwartz. Internet of Things with ESP8266. 2016, 226p
18. Офіційний сайт Arduino. URL: <https://www.arduino.cc>. (дата звернення: 21.03.2022).
19. Головна | повітряна тривога. *Повітряна Тривога*. URL: <https://www.ukrainealarm.com/>.
20. Запит на доступ до API. *UkraineAlarm*. URL: <https://api.ukrainealarm.com/>.
21. Design of remote alarm system for gas detection in living room based on ESP32. *Computer science and application*. 2019. Vol. 09, no. 11. P. 2010–2019. URL: <https://doi.org/10.12677/csa.2019.911226>.
22. Hazard warning. *Anaesthesia*. 1983. Vol. 38, no. 3. P. 310. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1983.tb14022.x>.
23. 48 × 48 pixelated addressable full-color micro display based on flip-chip micro LEDs / Y. Li et al. *Applied optics*. 2019. Vol. 58, no. 31. P. 8383. URL: <https://doi.org/10.1364/ao.58.008383>.
24. Volders L. ESP32 simplified. Lulu Press, Inc., 2020.
25. Cameron N. ESP32 formats and communication. Berkeley, CA : Apress, 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9376-8>.
26. Abed I., Naser H. ESP32 microcontroller based smart power meter system design and implementation. *Al-Rafidain engineering journal (AREJ)*. 2020. Vol. 25, no. 2. P. 137–145. URL: <https://doi.org/10.33899/rengj.2020.127111.1038>.
27. Mini alarm siren. *Elderly care*. 1995. Vol. 7, no. 5. P. 30. URL: <https://doi.org/10.7748/elcd.7.5.30.s41>.
28. Visualizing air raid sirens in ukraine. *Observable*. URL: <https://observablehq.com/@mourner/sirens>.
29. DIY Portable Air Raid Alert – портативний пристрій для сигналізації повітряної тривоги, який можна під'єднати до зовнішньої сирени. *DOU*. URL: <https://dou.ua/forums/topic/48082/>.

References

1. Led display and method for operating an led display : patent WO/2020/053137 Germany : G09G 3/3225 2016.1 G09G 3/20 2006.1. No. PCT/EP2019/073974 ; applied on 09.09.2019 ; published on 19.03.2020. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2020053137&cid=P11-LVZGF9-70963-1>.
2. Alarm siren : patent 89114069 eu : G10K 7/06. No. 0411168 ; applied on 29.07.1989 ; published on 06.02.1991, Bulletin no. 89114069. 7 p. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP12116422&cid=P11-LVZFUN-57913-1>.

3. Led light address emitter, vehicle networking system and electronic map drawing method : patent 103400506 China : G08G 1/13 H04L 29/08. No. 201310325601.5 ; applied on 30.07.2013 ; published on 10.02.2016. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN97898734&cid=P11-LVZGZZ-82941-1>.
4. Riley T. M. Multiple images as a function of leds viewed during vibratio. *Sage journals*. 1977. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1177/00187208770190010>.
5. Meng M. Application programming interface documentation: what do software developers want?. *Sage journals*. 2017. Vol. 48, no. 3. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0047281617721853>.
6. Defensebridge. Anti-Aircraft warfare: safeguarding the skies from aerial threats | defensebridge. *Homepage | Defensebridge*. URL: <https://defensebridge.com/article/anti-aircraft-warfare-safeguarding-the-skies-from-aerial-threats.html>.
7. Dmitry. DIY alarm map based on esp32! Printing house. URL: <https://drukarnia.com.ua/articles/mapa-trivog-svoyimi-rukami-na-bazi-esp32-gaid-dlya-novachkiv-NW25t#heading-2-1523>.
8. Neil Cameron. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices. December 18, 2020, p. 723.
9. Craig Hunt. TCP/IP Network Administration (3rd Edition; O'Reilly Networking). April 1, 2002, p. 746.
10. Cuno Pfister. Getting Started with the Internet of Things: Connecting Sensors And Microcontrollers To The Cloud. June 21, 2011, p. 194.
11. Sayak Boral. Article: What is ESP32 and Why Is It Best for IoT Projects? May 25, 2020. URL: <https://www.iottechtrends.com/what-is-esp32/>.
12. A New Dimension of Air-Based Threats | DGAP. *German Council on Foreign Relations | DGAP*. URL: <https://dgap.org/en/research/publications/new-dimension-air-based-threats>.
13. Cameron N. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32. Berkeley, CA : Apress, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6336-5>.
14. The complete ESP32 projects guide | espressif systems. *Wireless SoCs, Software, Cloud and AIoT Solutions | Espressif Systems*. URL: <https://www.espressif.com/en/news/complete-esp32-projects-guide>.
15. 160+ ESP32 projects, tutorials and guides with arduino IDE | random nerd tutorials. *Random Nerd Tutorials*. URL: <https://randomnerdtutorials.com/projects-esp32/>.
16. Bielicki T. Install software on computer : arduino ide. stm32 arduino ide. Independently Published, 2021.
17. Marco Schwartz. Internet of Things with ESP8266. 2016, 226p
18. Official Arduino website. URL: <https://www.arduino.cc>. (дата звернення: 21.03.2022).
19. Main page | air alert. *Air Alert*. URL: <https://www.ukrainealarm.com/>.
20. Request access to API. *UkraineAlarm*. URL: <https://api.ukrainealarm.com/>.
21. Design of remote alarm system for gas detection in living room based on ESP32. *Computer science and application*. 2019. Vol. 09, no. 11. P. 2010–2019. URL: <https://doi.org/10.12677/csa.2019.911226>.
22. Hazard warning. *Anaesthesia*. 1983. Vol. 38, no. 3. P. 310. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1983.tb14022.x>.
23. 48 × 48 pixelated addressable full-color micro display based on flip-chip micro LEDs / Y. Li et al. *Applied optics*. 2019. Vol. 58, no. 31. P. 8383. URL: <https://doi.org/10.1364/ao.58.008383>.
24. Volders L. ESP32 simplified. Lulu Press, Inc., 2020.
25. Cameron N. ESP32 formats and communication. Berkeley, CA : Apress, 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9376-8>.
26. Abed I., Naser H. ESP32 microcontroller based smart power meter system design and implementation. *Al-Rafidain engineering journal (AREJ)*. 2020. Vol. 25, no. 2. P. 137–145. URL: <https://doi.org/10.33899/rengj.2020.127111.1038>.
27. Mini alarm siren. *Elderly care*. 1995. Vol. 7, no. 5. P. 30. URL: <https://doi.org/10.7748/eldc.7.5.30.s41>.
28. Visualizing air raid sirens in ukraine. *Observable*. URL: <https://observablehq.com/@mourner/sirens>.
29. DIY Portable Air Raid Alert – portable air alarm signaling device that can be connected to an external siren. *DOU*. URL: <https://dou.ua/forums/topic/48082/>