

*Біденко К.А., бакалавр,
Ципоренко В.В., к.т.н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»*

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕКСТРЕНОГО ОПОВІЩЕННЯ В УМОВАХ БЛЕКАУТУ

У сучасних умовах, коли інфраструктура електроенергетики може зазнавати значних пошкоджень, особливо важливо створити системи екстреного оповіщення, які можуть працювати під час тривалих відключень електроенергії. Блекаути створюють ризик для життя та безпеки населення через повну втрату зв'язку, відсутність доступу до Інтернету та традиційні канали сповіщень. Тому, для підвищення стійкості громад і окремих об'єктів важливим завданням є створення автономної, незалежної системи оповіщення.

Метою дослідження є створення системи екстреного оповіщення, здатної працювати в автономному режимі, забезпечувати передачу критичних повідомлень без доступу до електромережі та централізованих каналів зв'язку, а також гарантувати максимальну надійність і простоту використання. Основними завданнями є вибір енергоефективних модулів зв'язку, розробка автономної системи живлення, формування алгоритмів оповіщення та забезпечення захищеної передачі даних. Одним з ключових моментів є вибір технології зв'язку, яка зможе працювати без Інтернету та мобільної мережі. Для цього можуть бути використані такі протоколи зв'язку, як LoRa, яка забезпечить далекобійний радіозв'язок із низьким електроспоживанням, або ж ESP-NOW, яка дозволить створити локальні автономні мережі між мікроконтролерами ESP32/ESP8266. Ці рішення гарантуватимуть передачу оповіщень за відсутності зовнішньої інфраструктури у радіусі від кількохсот метрів до кількох кілометрів.

Ще одним критичним аспектом системи є автономне живлення. Для забезпечення довготривалої роботи застосовуватимуться акумулятори великої ємності із можливим залученням сонячних панелей або суперконденсаторів. Енергозберігаючий режим мікроконтролерів дозволить суттєво збільшити час автономності без додаткового заряджання, що робить систему ефективною в умовах блекаутів. При цьому потрібно передбачити захист акумуляторів, оптимізацію енергоспоживання та балансування заряду.

Для передачі екстрених повідомлень можуть використовуватися звукові сирени, світлові індикатори, а також невеликі локальні дисплеї або мобільні пристрої, підключені до автономної мережі.

Загальна структура зображена на рисунку 1.

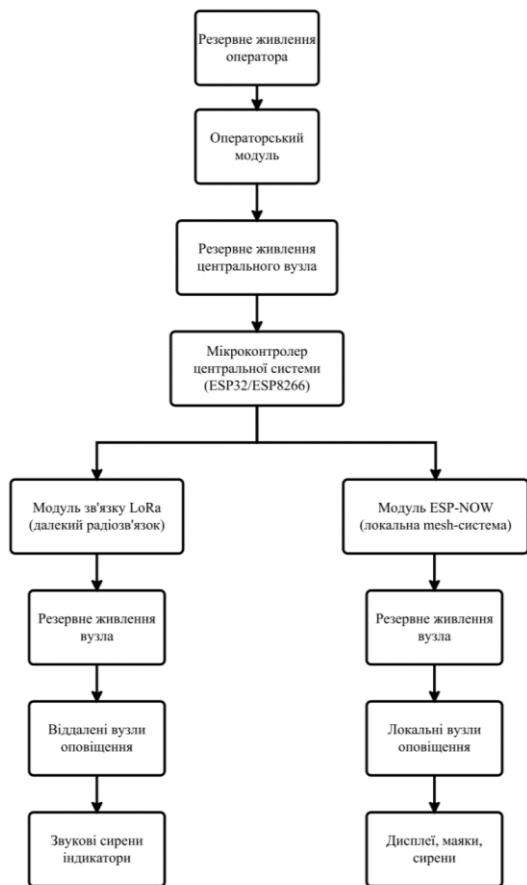


Рисунок 1 – Структурна схема системи екстреного оповіщення

Важливим є створення простого та інтуїтивного інтерфейсу для оператора, який дозволить швидко розсилати сигнали тривоги, повідомлення про небезпеку або інструкції щодо дій населення. У разі потреби система може бути інтегрована з Telegram-ботом чи SMS-шлюзом, коли зв'язок з'являється, для дублювання повідомлень.

Особливо важливо забезпечити стійкість системи до зовнішніх впливів. Необхідно враховувати низьку температуру, механічні навантаження, високий рівень вологості та електромагнітні перешкоди. Корпус пристрою має бути виконаний із захищених матеріалів, а антени

– оптимізовані для стабільного прийому навіть в умовах зниженої потужності передавача.

Важливою частиною побудови такої системи є правильне розміщення звукових джерел оповіщення. Від цього залежить, чи буде сигнал добре чути на всій території. Для цього використовують спеціальні алгоритми, які враховують рельєф, щільність забудови та можливі перешкоди. Такі розрахунки дозволяють визначити оптимальні точки встановлення сирен, уникнути «мертвих зон» та забезпечити рівномірне покриття звуку. Завдяки цьому можна зменшити кількість обладнання та енергоспоживання, що є особливо важливим під час блекаутів.

Крім того, оптимізоване розташування звукових модулів спрощує планування маршрутів евакуації та дій рятувальних служб. Чітке охоплення території забезпечить одночасне отримання повідомлень, із мінімальними затримками та достатнім рівнем гучності, що дозволить уникнути паніки та підвищує ефективність реагування на надзвичайні ситуації.

Також слід приділити увагу організації маршрутизації повідомлень між вузлами. Важливо забезпечити автоматичний пошук альтернативного шляху передачі сигналу в разі збою одного з вузлів або пошкодження частини мережі. У цьому випадку доцільно використовувати топологію мережі, властиву протоколам ESP-NOW або LoRa Mesh, оскільки це дозволяє вузлам працювати як ретранслятори. Такий принцип підвищує відмовостійкість системи та дозволяє надсилати важливі сповіщення навіть у інфраструктурах, які частково зруйновані.

Ще одним важливим аспектом є шифрування та автентифікація переданих сигналів. Під час надзвичайних ситуацій існує ризик перехоплення або навмисного блокування каналу зв'язку. Унеможливлення несанкціонованого втручання в роботу системи забезпечується за допомогою алгоритмів симетричного шифрування (AES-128/256), а також окремих ключів для кожного вузла. Це особливо важливо в ситуаціях, коли система оповіщення використовується в місцях масового скупчення людей, на об'єктах критичної інфраструктури або на стратегічних територіях.

Також важливо врахувати необхідність зворотнього зв'язку для діагностики та контролю працездатності вузлів. Автономні модулі надсилатимуть службові пакети контролеру, це дозволить відстежити якість сигналу, рівень заряду акумуляторів, стан датчиків і працездатність сирен. Такі регулярні перевірки дозволять системі швидко повідомити оператора про проблеми та автоматично перейти в

режим економії енергії, якщо вузол не використовується протягом тривалого часу.

Для підвищення ефективності використання енергії важливо оптимізувати режими роботи вузлів. Система може працювати в режимі «сну» під час неактивності, включаючись лише для перевірки каналу або при отриманні сигналу. Такий метод значно збільшує термін служби батареї, що дуже важливо у разі тривалих блеаутів, коли підзарядка батареї обмежена або взагалі відсутня.

Окремим напрямом удосконалення системи є інтеграція датчиків навколишнього середовища, зокрема температури, диму, газу або вібрацій. Такі датчики перетворюють систему оповіщення на багатофункціональний комплекс. Вони зможуть автоматично визначати потенційно небезпечні ситуації й генерувати сигнал тривоги без участі оператора. Наприклад, виявлення диму або підвищеної температури може викликати сценарій «пожежної тривоги», а датчики вибухових газів можуть повідомити про потенційну аварію на промислових об'єктах.

Результатом роботи є автономна система екстреного оповіщення, здатна працювати в умовах повного знеструмлення, забезпечувати передачу важливої інформації на значні відстані та підтримувати зв'язок між декількома вузлами. Така система може застосовуватися для цивільної безпеки, інформування населення, роботи критичної інфраструктури та забезпечення стійкого функціонування місцевих громад під час надзвичайних ситуацій.

Список використаних джерел:

1. Пасічник А. М., Ріпа М. Ю. Алгоритм побудови та оптимізації територіального розміщення звукових джерел системи екстреного оповіщення населення. *Systems and Technologies*. 2024. Т. 67, № 1. С. 25–29. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.4>
2. Технології бездротового зв'язку ESP-NOW. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://randomnerdtutorials.com>
3. LoRa й LoRaWAN: як навчити пристрої спілкуватися з людиною. – Режим доступу: <https://jooby.eu/uk/blog/radiotekhnolohiya-lora>
4. Sistem Enkripsi Dokumen Digital Melalui Kombinasi AES-128 dan Hashing SHA-256 Berbasis Salt / F. M. Kaaffah та ін. *Jurnal Ilmiah FIFO*. 2025. Т. 17, № 1. С. 78. URL: <https://doi.org/10.22441/fifo.2025.v17i1.009>.