

Карпенко М.І.

Національний університет харчових технологій

Чумаченко С.М.

Апарат Ради національної безпеки і оборони України

Мошенський А.О.

Національний університет харчових технологій

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

АРГУМЕНТАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ НА ПРИКЛАДІ MESHTASTIC ТА APRS

Моніторинг стану води, повітря та ґрунтів в Україні активно здійснюється з ХХ століття. Система моніторингу включає як державні, так і громадські ініціативи, які покривають широкий спектр методів і технологій. Спостереження проводяться як вручну, так і автоматично, зокрема за допомогою WiFi для передачі даних з постів спостереження. Використання WiFi значно підвищує ефективність системи моніторингу завдяки швидкості отримання та передачі інформації про стан екологічних показників. Однак цей підхід має свої обмеження, зокрема відсутність можливості передавання даних у реальному часі за межами зони покриття WiFi. Це особливо стосується віддалених територій, таких як ліси, гори або поля, де мобільний зв'язок також може бути обмеженим або відсутнім. Для вирішення цієї проблеми все більшого поширення набуває використання радіо модулів, які застосовують інші протоколи зв'язку. Такі модулі мають низьке енергоспоживання, здатні створювати мережі та обмінюватися даними між пристроями навіть на великій відстані. Це дає можливість забезпечити безперебійний моніторинг у віддалених регіонах та під час надзвичайних ситуацій, зокрема в умовах блекаутів, коли традиційні засоби зв'язку стають недоступними. Радіо модулі не потребують WiFi-покриття, що робить їх надзвичайно ефективними під час аварійних ситуацій, оскільки інформація передається автоматично в межах радіусу дії. Такі технології, як MESHTASTIC та APRS, вже сформували спільноти користувачів, які активно використовують ці системи для передачі та відображення даних. Завдяки спеціалізованим додаткам, дані можна зручно переглядати на популярних пристроях, таких як смартфони на базі Android, ПК та ноутбуки з операційними системами iOS, Windows і Mac. Це значно спрощує процес підключення до мереж та доступу до екологічної інформації. У статті розглядаються аргументи на користь використання технологій MESHTASTIC та APRS, а також демонструються практичні приклади застосування цих систем. Описуються можливості підключення пристроїв до мережі та способи налаштування моніторингового обладнання для забезпечення зручного та ефективного моніторингу довкілля, незалежно від умов та наявності традиційних каналів зв'язку.

Ключові слова: MESTASTIC, APRS, радіо модуль, IoT, моніторинг, mesh, мережа.

Постановка проблеми. Повномасштабне вторгнення російської федерації наклало на життя громадян України величезні втрати та поневіряння, які не можна компенсувати нічим. Стаття має на меті показати як вирішити ту малу технічну низку обмежень, спричинених війною. Окупанти неодноразово обстрілювали ЗАЕС, застосовують заборонені бойові отруйні речовини (БОР) проти ЗСУ, підривали Каховську ГЕС та влучають снарядами в місця зберігання хімічних речовин і заводи. Наслідки таких застосувань далекобій-

ного озброєння відображаються в довгостроковій перспективі на всьому навколишньому середовищі, зокрема на цивільному населенні.

Держава витратила чимало коштів на системи оповіщення та моніторингу екологічної ситуації. Екологічний моніторинг покладений на різні державні установи та їх дочірні підприємства. Окрім цього, свій внесок роблять громадські організації, які ведуть моніторинг менш організовано і не завжди точно (державні організації мають виконувати моніторинг, керуючись нормами та

нормативами, які прописані на законодавчому рівні, що не можна сказати про аматорські станції спостереження), але їхня перевага в економності компонентів (зазвичай аматорські пристрої більш дешеві, ніж точні апарати державного замовлення) та частоті вимірів (в основному більшість станцій моніторингу цивільних спілок надсилають дані з низькою затримкою, що стосується також і частини державних пунктів спостереження).

Державні та громадські організації впроваджують рішення на основі IoT. Станції спостереження на основі IoT передають дані в реальному часі, мають великий термін життя батарей та збирають інформацію дистанційно, що дозволяє не залучати людей до моніторингу та, відповідно, не наражати їхнє здоров'я на небезпеку (моніторинг небезпечних ділянок). Втім, громадські та державні проекти покладаються на WiFi як основний канал передачі даних, що викликає певні обмеження: неможливість моніторингу поза зоною WiFi, низької швидкості інтернет-з'єднання у віддалених від ретранслятора регіонах, високої вартості розгортання та підтримки мережі, а також високого енергоспоживання. Всі ці обмеження можуть бути вирішені за рахунок використання радіо модулів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці Patmasari та ін. [1] показано ефективність APRS як альтернативний спосіб зв'язку. Зазвичай APRS використовується в процесі моніторингу, але в статті була проведена робота зі створення станції для обміну повідомленнями з наносупутником та їх відображенням на різних пристроях з використанням програмного забезпечення AGWPE для демодуляції сигналу AFSK і UI-View32 для показу даних телеметрії. Стаття Najdarevic та ін. [2] представляє недорогу клієнт-серверну інфраструктуру APRS з використанням Raspberry Pi, APRSdroid і програмно визначеного радіо (SDR). Робота Lee та ін. [3] демонструє порівняння APRS та LoRa технологій для використання в IoT, де LoRa виявляється кращим вибором у контексті smart farm. У статті Asgi та ін. [4] показується ефективність застосування APRS на прикладі імітованої евакуації від цунамі. Праця Una та ін. [5] також присвячена застосуванню APRS під час природнього лиха з метою збереження зв'язку між людьми за відсутності мобільного зв'язку та Інтернет з'єднання. Стаття Suryadevara та ін. [6] присвячена практичній реалізації передачі даних через meshtastic мережу через веб-інтерфейс для теми IoT програми. У дипломній роботі Коорманн [7] порівнює

мережі Koopatracker, Meshtastic і Altus Metrum, відзначивши простоту налаштування Meshtastic. Cass у статті [8] відзначає популярність мережі. Del Solar та ін. у своїй роботі [9] показують можливості сітчастих мереж LoRa, зокрема надаючи як приклад Meshtastic. Freitag та ін. у статті [10] показують ефективність mesh-мереж та зручність Meshtastic для користувачів в районах з поганим або відсутнім Інтернет покриттям.

Методологія. Було проведено експериментальне дослідження, в ході якого була зібрана та проаналізована інформація з різних літературних джерел та досліджень. Першим кроком до досягнення мети дослідження був збір апаратної складової станції моніторингу APRS. Наступним було її налаштування, позиціонування та відображення даних з сенсора, що включало налаштування сенсора, опанування програми UI-view32 та Aprsdroid. Подальші дії з Meshtastic проходили схожим чином: збір компонентів апаратної складової, налаштування пристроїв, підключення до мережі Meshtastic, прошивка плат через застосунок на Android та через Web API.

Постановка завдання. Основною задачею статті є показати можливості радіо модулів та мереж на основі низькочастотних радіо хвиль (MESHTASTIC та APRS), показати їхні переваги та недоліки. Дослідити особливості мереж шляхом створення власних станцій моніторингу та під'єднавши їх до MESHTASTIC та APRS.

Виклад основного матеріалу. APRS – це не просто протокол зв'язку, а маловідома мережа з обмеженим розповсюдженням, що зумовлене кількома факторами. Перший фактор – складність використання, яка виявляється лише для пересічного користувача, який навряд чи розглядатиме можливість передачі даних на застарілій частоті. Сучасні смартфони давно витіснили радіостанції, проте саме це й надає APRS унікальних властивостей. Другий фактор – відсутність очевидної потреби: для пересічного громадянина ідея побудови метеостанції або використання APRS для зв'язку навряд чи буде актуальною. Варто зазначити, що для взаємодії з громадянською мережею APRS не обов'язково використовувати радіостанцію; існують численні можливості інтеграції, такі як TTN, LORA тощо. APRS є дуже зручним вибором для використання її як альтернативу Інтернет-мережі, оскільки APRS інтегрувалась як в мікроконтролери, так і в смартфони та ПК. Більше того, можна використовувати APRS разом з Інтернет з'єднанням. Для мобільних телефонів доступне програмне забезпечення APRSdroid,

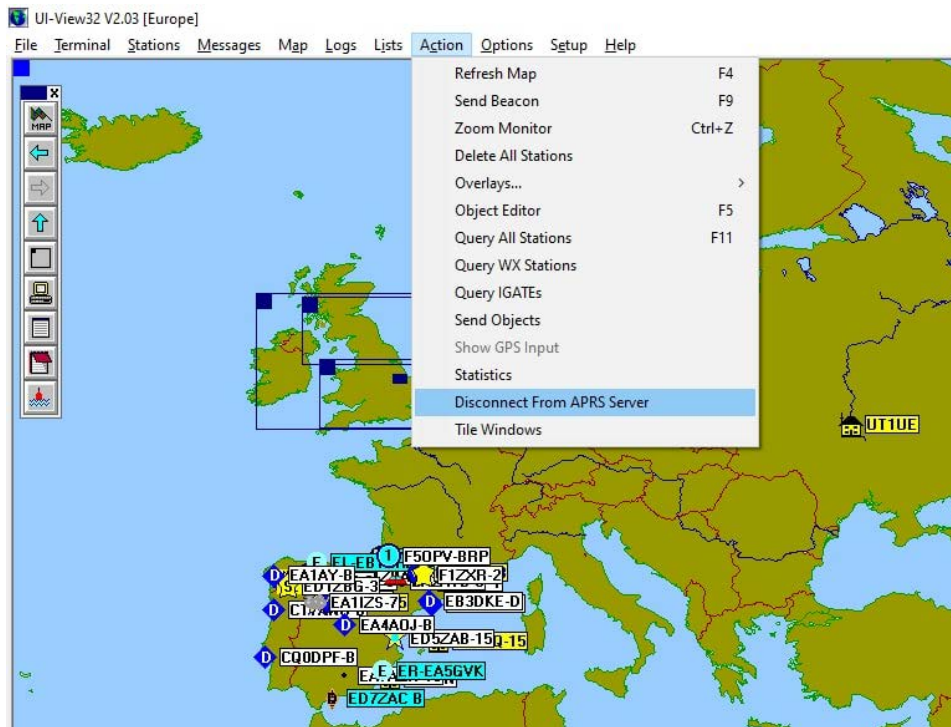


Рис. 1. Відображення станції UT1UEST на UI-view32 [11]

яке можна придбати в Google Play Market або завантажити безкоштовно з офіційного сайту розробника. Іншою можливістю є використання персонального комп'ютера. Наразі існують лише два програмні інструменти для взаємодії з APRS через ПК: UI-View32 та QAPRS.

Для створення станції було використано NodeMCU1 Esp8266 та датчик Wmp280, а також позивний університету НУХТ UT4UYF та зареєстрований власноруч UT1UEST. Окрім роботи у застосунку UI-view32 було продемонстровано роботу станції на платформі Android та на сайті aprs.fi [11].

Meshtastic – це відкритий протокол зв'язку, що використовує технологію мережевого об'єднання (mesh network) для забезпечення передачі даних у віддалених місцевостях або в умовах відсутності інфраструктури зв'язку. На відміну від радіооперацій НАМ, без необхідності отримання додаткових ліцензій чи сертифікатів. Ці радіостанції призначені для ретрансляції отриманих повідомлень, утворюючи сітчасту мережу. Це налаштування гарантує, що кожен член групи, включно з тими, хто перебуває на найвіддаленішій відстані, може отримувати повідомлення. Радіостанції Meshtastic можуть бути пов'язані з одним телефоном, що дозволяє друзям і родині надсилати повідомлення безпосередньо на вашу конкретну радіостанцію. Важливо зазначити, що кожен пристрій здатен

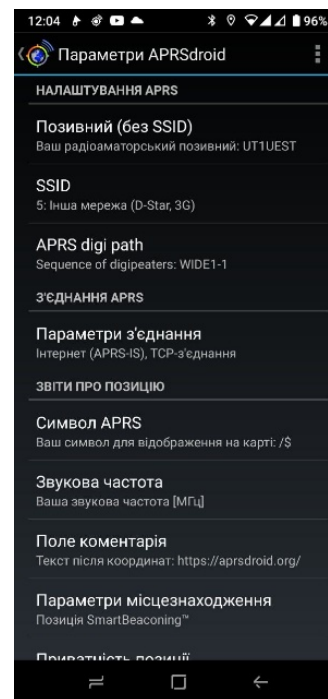


Рис. 2. Відображення станції UT1UEST на AprsDroid [11]

підтримувати одночасно з'єднання лише з одним користувачем. Окрім того, Meshtastic – це проект з відкритим кодом, доступний на GitHub.

Meshtastic працює на різних частотах 433,868,915MHz. Meshtastic забезпечує шифру-

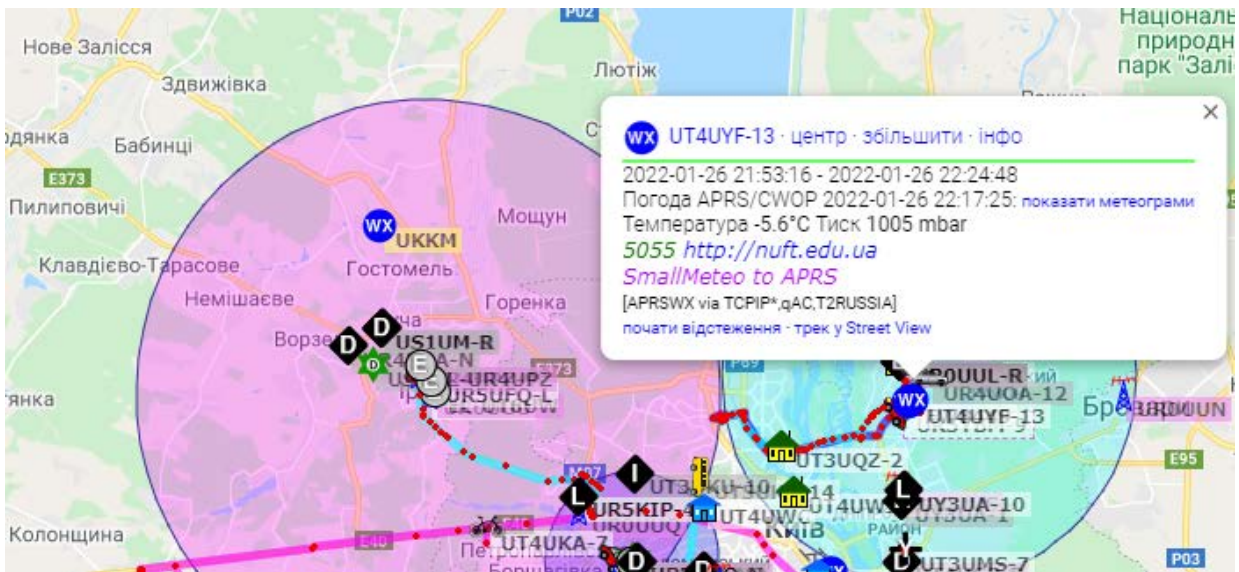


Рис. 3. Відображення станції UT4UYF на платформі aprs.fi [11]

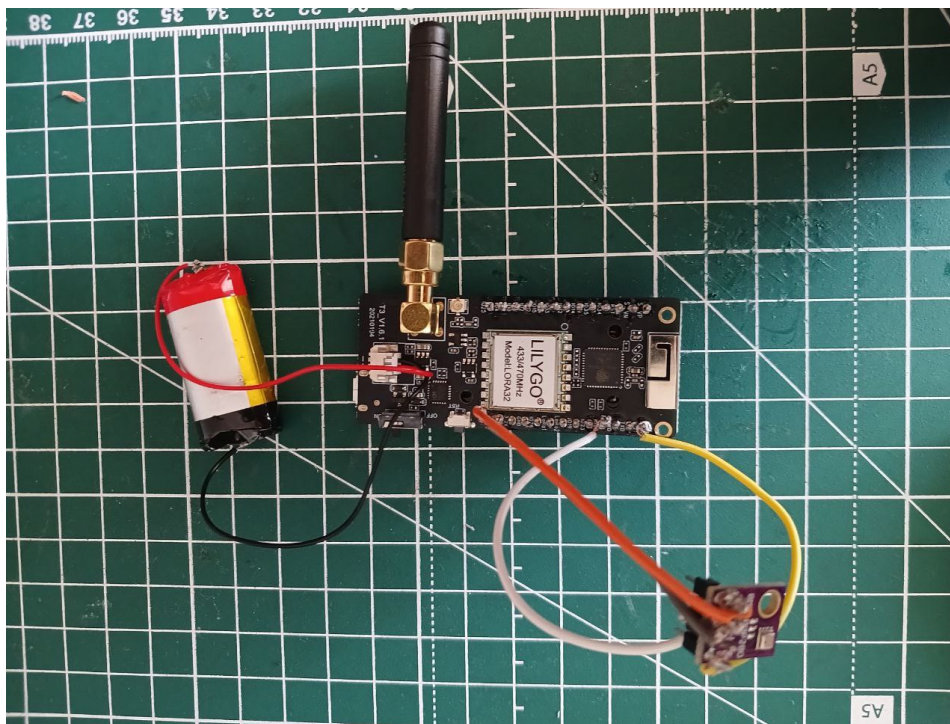


Рис. 4. Комплектація станції

вання AES256-CTR для корисного навантаження кожного пакета під час надсилання через LoRa з окремим ключем для кожного каналу. Заголовок пакету завжди надсилається незашифрованим, що дозволяє вузлам ретранслювати пакети, які вони не можуть розшифрувати. Усі періодичні трансляції (положення, телеметрія тощо), які надсилає сам пристрій, надсилаються через основний канал і таким чином шифруються цим ключем. Пристрій розшифрує корисне навантаження перед тим, як надсилати його клієнтській програмі через

BLE, послідовний порт, Wi-Fi/Ethernet. Наземні тести дальності показують рекордні 254 км [12]. Окрім того, Meshtastic має велику спільноту і було створено низку громадських проектів, щоб відповідати потребам різних людей, наприклад: Meshtasticator (Simulator) – Meshtasticator – це інтерактивний симулятор із дискретними подіями, який імітує радіорозділ програмного забезпечення пристрою. Meshtastic Web API – Meshtastic Web API надає інтерфейс RESTful для взаємодії з вузлом Meshtastic через послідовне з'єднання.



Рис. 5. Результат отримання погодних даних

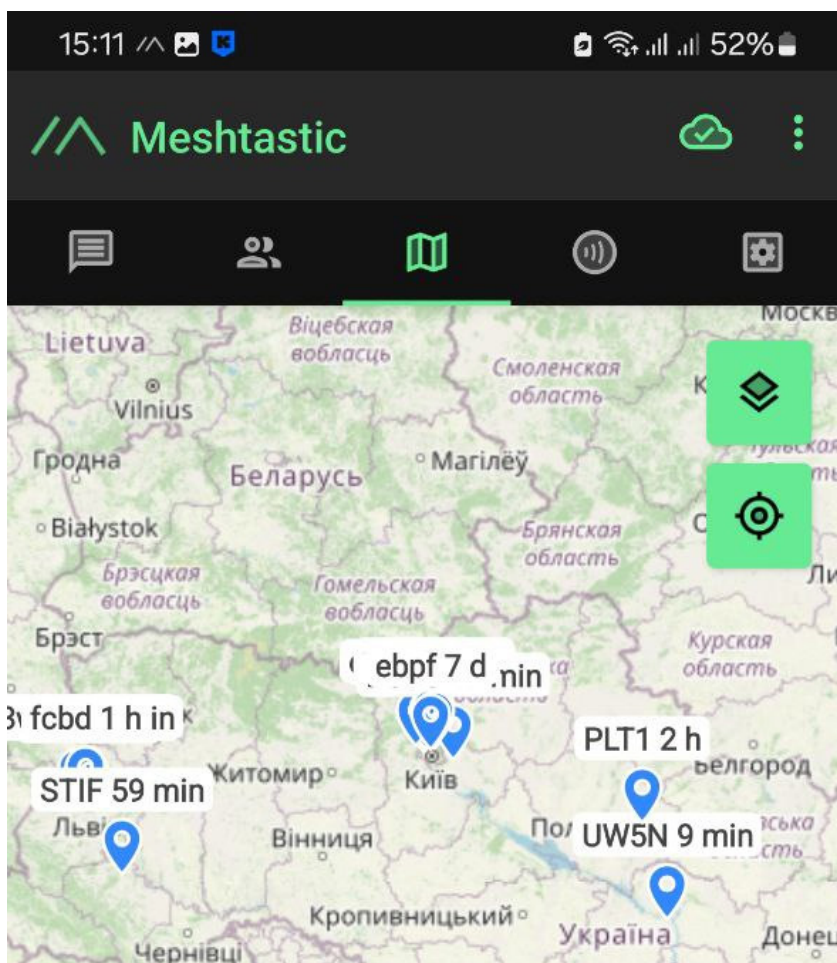


Рис. 6. Вигляд Meshtastic Android

Mesh-metrics – скребок метрик повторювача Meshtastic, який використовує meshtastic-cli, щоб отримати його node_exporter для використання в базі даних часових рядів Metrics Prometheus або Victoria з інформаційною панеллю Grafana та зразками правил попередження. Node-RED Messages Node – вузол Node-RED для надсилання та отримання пакетів / текстових повідомлень від пристрою, підключеного через HTTP.

Велика перевага Meshtastic у підтримці сенсорів (BMP085, BMP180, BMP280, BME280, BME680, MCP9808, INA260, INA219, INA3221, LPS22, SHTC3, SHT31, PMSA003I, PMSA003I, DFROBOT_LARK), які підключені до шини I2C пристрою, будуть автоматично виявлені під час запуску [12].

Для реалізації станції було обрано модуль LoRa32 V2.1_1.6 433MHz та сенсор Bme280. Meshtastic має зручний додаток на Android, як було вказано вище. Для тестів було прийнято рішення використовувати саме зв'язок з телефоном через Bluetooth. Результати роботи та комплектації можна побачити на рис. 4, 5, 6. Оскільки Meshtastic не передбачає обов'язкового використання позивного та надає можливість зміни назви пристрою, було використано довільні назви станцій.

Висновки. У ході дослідження було успішно вирішено завдання підключення моніторингових станцій до мереж Meshtastic та APRS, що продемонструвало ефективність використання низько-частотних радіо модулів у контексті екологічного моніторингу. Розроблені пристрої забезпечують надійну передачу даних в реальному часі, незалежно від покриття WiFi, та функціонують на значних відстанях із низьким енергоспоживанням. Впровадження даного підходу дозволяє усунути недоліки традиційних методів передачі даних, таких як залежність від інфраструктури WiFi, обмеження в покритті та високе енергоспоживання. Використання радіо модулів Meshtastic та APRS підвищує доступність та точність моніторингу, особливо у віддалених та важкодоступних регіонах, що є критично важливим в умовах поточної військової ситуації. Отримані результати підтверджують, що обрана методологія ефективно задовольняє потреби населення в екологічній інформації та підтримує сталість роботи моніторингових систем навіть під час екстремальних умов, таких як блекаут. Мета дослідження досягнута, а запропоноване рішення показало свою практичну цінність та технічну доцільність для подальшого розвитку систем екологічного моніторингу в Україні.

Список літератури:

1. Design and Realization of Automatic Packet Reporting System (APRS) for Sending Telemetry Data in Nano Satellite Communication System. R. Patmasari et al. *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*. 2018. Vol. 4, no. 1. P. 1. URL: <https://doi.org/10.25124/jmecs.v4i1.1692> (date of access: 15.10.2024).
2. Hajdarevic K., Konjicija S., Abdulhamit S. A Low Energy APRS-IS Client-Server Infrastructure Implementation using Raspberry Pi. *Conference: 22nd Telecommunications Forum (TELFOR)*. 2014. P. 296–299. URL: <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2014.7034409>.
3. Feasibility of networking technology for smart farm: LoRa vs APRS. H. Lee et al. *2020 International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS)*. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/COINS49042.2020.9191428>.
4. Dual Mitigation System: Database System Combination of EWS and APRS for Disaster Management (Case Study: Malang Southern Coast). A. K. Asri et al. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 227. P. 435–441. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.098> (date of access: 15.10.2024).
5. Communication Back-up for Natural Disaster by Emergency Amateur Radio Operator and Implemented using APRS as Location Tracker / S. O. UN et al. *The ESSD 2022 Conference*. 2022. P. 87–92. URL: https://www.researchgate.net/profile/Channareth-Srun/publication/366894210_Communication_Back-up_for_Natural_Disaster_by_Emergency_Amateur_Radio_Operator_and_Implemented_using_APRS_as_Location_Tracker/links/63b6f12fa03100368a565d1b/Communication-Back-up-for-Natural-Disaster-by-Emergency-Amateur-Radio-Operator-and-Implemented-using-APRS-as-Location-Tracker.pdf.
6. Suryadevara N., Dutta A. Meshtastic Infrastructure-less Networks for Reliable Data Transmission to Augment Internet of Things Applications. *Wireless and Satellite Systems*. 2022. P. 622–640. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93398-2_55.
7. Koopmann B. Koopatracker Development and Performance Comparative Study : A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science In the field of Electrical and Computer Engineering. Southern Illinois, 2023. 81 p. URL: <https://www.proquest.com/openview/b00e1b224d03c1be9fcc52746660bb2c/1?pq-origsite=gscholar&cb=18750&diss=y>.
8. Cass S. It's Meshtastic! > LoRa-based Tech Brings Mesh Radio to Makers. *IEEE Spectrum*. 2024. Vol. 61, no. 6. P. 16–18. URL: <https://doi.org/10.1109/mspec.2024.10551793> (date of access: 15.10.2024).

9. Del Solar A. J. C., Solé J. M., Freitag F. Towards a Monitoring System for a LoRa Mesh Network. *2022 IEEE 42nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*. 2022. P. 1294–1295. URL: <https://doi.org/10.1109/ICDCS54860.2022.00139>.

10. Freitag F., Miquel Solé J., Meseguer Pallarès R. LoRa mesh networks for enabling distributed intelligence on tiny IoT nodes. *Workshop Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent Environments (IE2023) : International Conference*, 27–30 June 2023. 2023. P. 165–170. URL: <https://doi.org/10.3233/AISE230026>.

11. Карпенко, М. І. (2022). Розробка інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України. Національний університет харчових технологій. Київ, Україна.

12. Range Tests. *meshtastic.org*. URL: <https://meshtastic.org/docs/overview/range-tests/> (date of access: 25.08.2024).

Karpenko M.I., Chumachenko S.M., Moshenskyi A.O., Guida O.H. ARGUMENTATION OF THE EFFICIENCY OF ALTERNATIVE MONITORING MEANS USING MESHTASTIC AND APRS

Since the 20th century, Ukraine has been conducting monitoring of water, air, and soil. This monitoring is carried out through observation posts, both manually and automatically. There are state monitoring systems as well as public ones, each of which uses WiFi to some extent for data transmission. This method significantly improves the efficiency of monitoring by speeding up the delivery of information about the state of the environment. However, it also has its drawbacks, such as the inability to transmit real-time data outside the WiFi coverage area, particularly in remote areas like forests, mountains, or fields.

This problem is solved by using radio modules that rely on different communication protocols, have low energy consumption, and are capable of forming networks. These modules, along with the communities and tools that display monitoring data, offer a viable solution. Moreover, the use of radio modules fully meets the population's need for information during blackouts since radio does not require WiFi coverage, is energy-efficient, and data is transmitted automatically within the module's range. Additionally, the MESHTASTIC and APRS communities have developed tools for easy connection and convenient data display via apps compatible with widely-used devices such as smartphones (Android), PCs, and laptops (iOS, Windows, MAC). This article argues for the use of MESHTASTIC and APRS technologies and demonstrates methods and tools for their application using connected, configured devices within these networks. By adopting these technologies, it becomes possible to ensure continuous monitoring, even in remote or blackout-affected regions, providing crucial environmental data to both governmental and public monitoring initiatives.

Key words: MESHTASTIC, APRS, radio module, IoT, monitoring, mesh, network.