

**Зайцев Є.О.**, д-р. техн. наук, старш. наук. співр.  
Інститут електродинаміки НАН України  
Національний транспортний університет

**Закусило С.А.**, аспірант

Інститут електродинаміки НАН України

**Блінов І.В.**, д-р. техн. наук, старш. наук. співр.

Інститут електродинаміки НАН України

**Березниченко В.О.**, мол. наук. співр.

Інститут електродинаміки НАН України

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВАРІЙНИХ СТАНІВ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ

**Вступ** Сьогодні в Україні активно реалізуються процеси впровадження в сферу електроенергетики нових інформаційних технологій, які мають істотний вплив на розподільчі електричні мережі. Це дозволяє забезпечити перехід на новий якісний рівень розвитку і функціонування мереж відповідно до концепції Smart Grid.

Актуальним питанням розвитку електричних мереж у відповідності до цієї концепції є підвищення рівня моніторингу на основі засобів ідентифікації аварійних станів в розподільчих мережах.

Ефективним способом забезпечення експлуатаційної надійності електропостачання споживачів в розподіленій мережі є використання індикаторів пошкоджень. Їх використання сумісно із засобами інформаційно-комунікаційних технологій дозволяє мінімізувати час визначення та пошуку пошкодженої ділянки у розподільчих мережах, а також забезпечити підвищення якості надання послуг з електропостачання споживачів.

Такі засоби дозволяють реалізувати автоматизацію управління потоками енергії, регулювання режимів її перетоків та споживання електроенергії з планованим використанням маневрених потужностей, а також забезпечити швидке і точне визначення місця пошкодження ліній електропередачі з одночасним зменшенням транспортних витрат на обхід ліній електропередавання та мінімізацією загального часу організації ремонтно-відновлювальних робіт.

Типова структура системи моніторингу аварійних станів за концепцією Smart Grid приведена на рисунку.

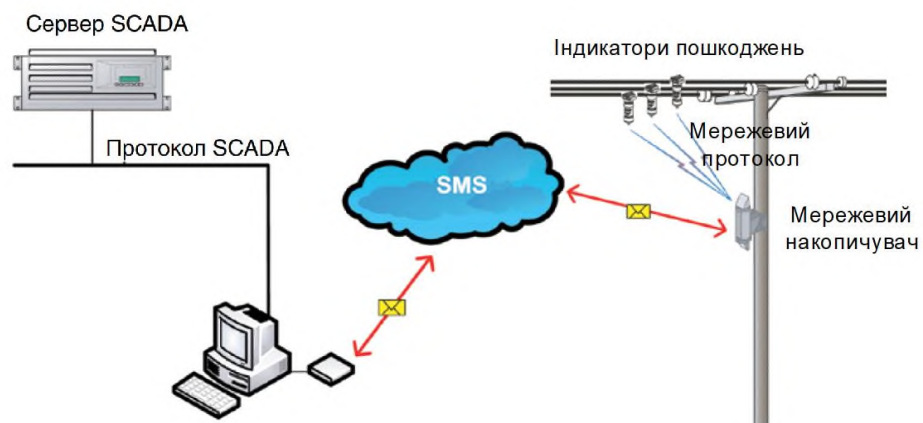


Рис. 1 Типова структура системи моніторингу аварійних станів

Стандартна структура системи моніторингу аварійних станів містить: **індикатори пошкоджень**, які з'єднуються з шлюзовими вузлами по мережевому протоколу; **мережеві накопичувачі-шлюзи**, які концентрують дані, що передаються індикаторами та ретранслюють їх через глобальну мережу на наступний рівень системи моніторингу; **системний накопичувач даних та програми обробки результатів** мережі моніторингу, який містить інструменти для накопичення та обробки отриманих

даних, такі як база даних, програми роботи з даними та інтерфейси користувачів. В якості мережевих протоколів та глобальних мереж можуть бути використані різні технології, які є актуальними. В конкретному прикладі в якості глобальної мережі використаний сервіс SMS-повідомлень. В якості мережевого протоколу може бути використана технологія радіо-зв'язку, одним з представників таких технологій є LoRa.

LoRa (Long Range) - запатентована, пропрієтарна технологія модуляції сигналів, яка дозволяє розгорнути малопотужної мережі передачі зі швидкістю 0,3-50 кб/с і дальністю від 1-2 до 10-15 км (в ідеальних умовах) в діапазоні частот, що не ліцензується.

Дана технологія заснована на методах модуляції з розширеним спектром, отриманих на основі технології chirp spread spectrum (CSS) (англ.), яка була розроблена Cysleo з Гренобля, та придбана компанією Semtech, членом-засновником LoRa Alliance.

LoRa використовує безліцензійні радіочастотні діапазони нижчі 1 ГГц:

- EU433 (433,05-434,79 МГц) та EU863-870 (863-870 / 873 МГц) в Європі

LoRa забезпечує передачу сигналів на великі відстані з низьким енергоспоживанням. Технологія охоплює фізичний рівень, у той час як інші технології та протоколи, такі як LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), покривають верхні рівні. Він може досягати швидкості передачі даних від 0,3 кбіт/сек до 27 кбіт/сек залежно від коефіцієнта розширення.

Технологія має свій логотип, наведений на рис. 2. Сигнал, який модулюється повідомленням має вигляд наведений на рис. 3.



Рис. 2 Логотип технології

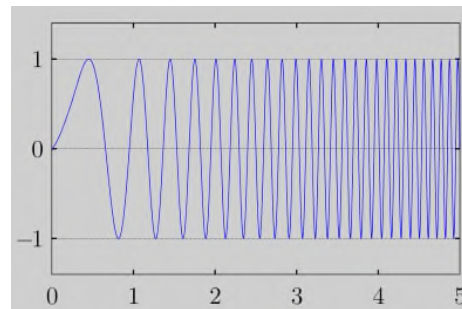


Рис. 3 Сигнал, який модулюється повідомленням LoRa

### Характеристики технології LoRa

Технологія LoRa є представником класу бездротових мереж передачі даних, до основних переваг якої можна віднести:

- великий радіус покриття;
- низьке енергоспоживання;
- використання неліцензійних частот;
- високу захищеність від перешкод;
- сучасний захист змісту повідомлень.

Технологія LoRa WAN розширює використання технології LoRa для інтеграції її шлюзів з глобальними мережами.

Інші представники даного класу мереж:

- мережі мобільного зв'язку (3G, 4G),
- бездротові комп'ютерні мережі (WiFi),
- мережі технологій IoT (інтернет речей).

На рис. 4 окреслені сфери застосування безпроводних мереж, стільникових мереж та LoRa мереж.

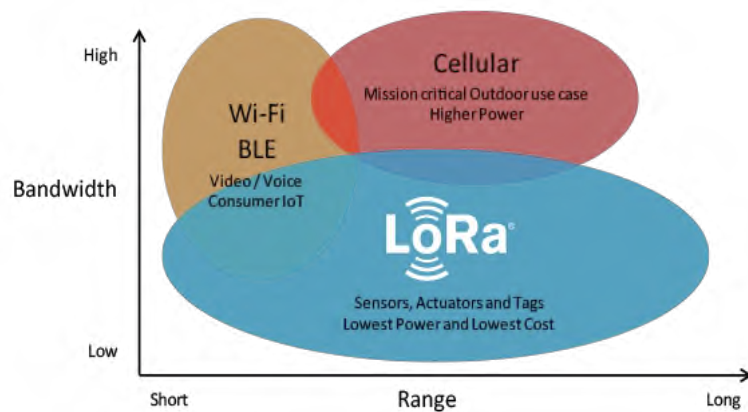


Рис. 4 Сфери застосування безпроводних мереж

З рисунку видно, що стільникові мережі використовуються в сферах, де потрібна висока швидкість з'єднання та великі відстані. Бездротові мережі типів WiFi та Bluetooth використовуються на малих відстанях, де потрібна висока швидкість з'єднання. Технологія LoRa може працювати як на малих так і на великих відстанях, але не може забезпечити високу швидкість передачі інформації.

Загальна структуру розгортання мережі LoRa WAN. Така структура приведена на рис. 5. Така мережа містить: кінцеві вузли; базові станції; сервер додатків; базу даних. Слід відмітити, що технологія LoRa WAN на рівні радіомережі та на рівні глобальної мережі використовує шифрування повідомлень за технологією AES 64 або 128 біт, що задовольняє безпековим вимогам сучасних інформаційних мереж.

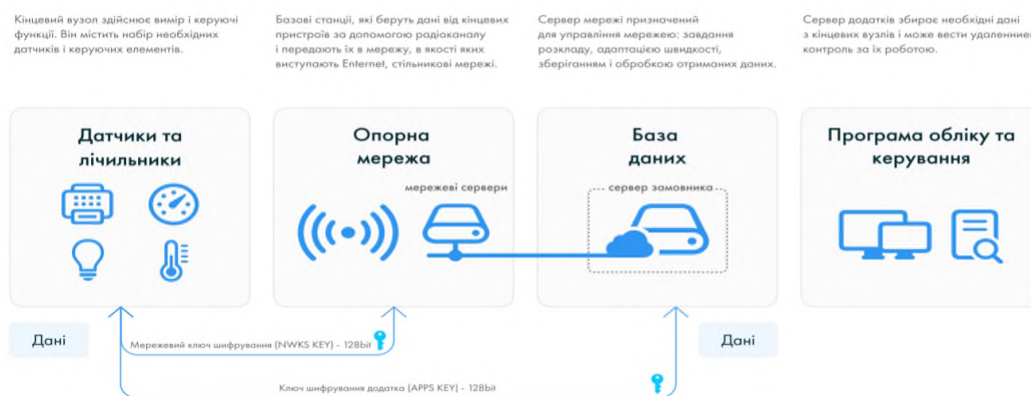


Рис. 5 Структура мережі сенсорів в мережі LoRa WAN

### Характеристики та властивості (+переваги до існуючої) запропонованої системи

Актуальні системи часто мають структуру, яка складається з датчиків/ лічильників, які або заведені на централізований пульт через кабельну мережу, або потребують обходу інспекторами.

Якщо побудувати систему моніторингових датчиків з використанням технології LoRa в якості комунікаційного середовища, то така система буде мати наступні властивості:

- великий час роботи автономного сенсора на одному елементі живлення, або можливість забезпечення такого датчика автономним джерелом живлення;
- малий час використання людських ресурсів для збору інформації;
- можливість масштабувати систему в разі розгортання мережі датчиків;
- гнучкість адміністрування системи.

### Оптимізація функціонування

При проектуванні мережі датчиків на основі технології LoRa в якості оптимізаційних параметрів можна використовувати:

- максимізація часу автономної роботи датчика;
- гарантоване надання даних на пульт;
- мінімізація втрат даних при передачі.

Для першого пункту слід визначити інтервал часу, в який датчик буде передавати показники (при

інтенсивності 1 сеанс / годину автономна робота датчика приблизно 1 рік).

Другий критерій дає обмеження на мінімальну кількість концентраторів опорної мережі сітки (приблизно 1000 датчиків на 1 базовий шлюз)

Втрата даних при передачі може виникати при колізії передачі даних від кількох сенсорів одночасно. Запобігати цьому можна або збільшуючи кількість шлюзів опорної мережі, зменшуючи частоту передач від сенсорів, реалізацією в протоколах обміну механізми підтвердження передачі, комбінуванням сенсорів в групи, які використовують один пакет передачі для посилення даних кількох сенсорів .

### **Висновки**

Використання технології LoRa для організації інформаційного обміну в системах контролю цілісності ліній розподілених мереж дозволить отримати енергоефективну сітку автономних датчиків з можливістю розташування їх на великих (мінімум 700 м) відстанях від базових шлюзових станцій мережі з малими затратами на розгортання, адміністрування, обслуговування та масштабування.

### **Список використаних джерел:**

1. Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.Є. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах. Технічна електродинаміка. 2012. № 3. С. 47 – 48.
2. Зайцев Є.О., Березниченко В.О., Щербань А.П. Засоби ідентифікації аварійних станів в розподільчих мережах ОЕС України. Приладобудування: стан і перспективи: Матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції, 17–18 травня 2022 р. м. Київ, Україна, С.265-267.
2. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під заг. Ред. Акад. НАН України Кириленко О.В.. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
3. Baranov G., Komisarenko O., Zaitsev I.O., Chernytska I. SMART technologies for transport tests networks, exploitation and repair tools. In Proc. of the International Conference Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS). 25-27, March 2021, Pichanur (India), 2021. pp. 621-625. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9396055>
4. Егорова О.Ю., Егоров О.Б., Карова Т.А. Порівняльний аналіз методів визначення місця пошкодження ПЛЕП. Системи озброєння і військова техніка. 2009. № 2. С. 141-144. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2009\\_2\\_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2009_2_36).
5. Griffel D., Leitloff V., Harmand Y., Bergeal J., A new deal for safety and quality on MV networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1997. Vol. 12, №. 4, pp. 1428–1433.