

УДК 004.77

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ LPWAN ЗА КРИТЕРІЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОКАНАЛУ

Бондаренко Н.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Турген Нурлибек

Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Сучасний етап розвитку комунальних підприємств України характеризується переходом від традиційних методів обліку ресурсів до впровадження концепцій Smart Water. В умовах зростання вартості енергоносіїв та необхідності мінімізації комерційних втрат води, автоматизація збору показників стає критично важливою [1].

Проте специфіка водопровідних мереж (розташування вузлів обліку у затоплених колодязях, підвалах, залізобетонних екранованих приміщеннях) робить неможливим використання дротових з'єднань або стандартних мобільних мереж (GSM/3G) через їх високе енергоспоживання. Вирішенням проблеми є застосування енергоефективних мереж далекого радіуса дії — LPWAN [2].

Помилка на етапі вибору технічних засобів може призвести до критичних фінансових втрат через необхідність частої заміни елементів живлення (що нівелює економічний ефект автоматизації) або вразливість системи до кібератак, оскільки водопостачання відноситься до критичної інфраструктури держави.

Мета роботи – підвищити ефективність комунального підприємства за рахунок порівняльного аналізу технологій LPWAN за критеріями енергоефективності та інформаційної безпеки для систем водоканалу

Забезпечення сталого водопостачання вимагає надійного та оперативного контролю за станом мережі та споживанням. Технічні засоби

віддаленого контролю повинні відповідати жорстким вимогам: працювати автономно від однієї батареї протягом 5–10 років, забезпечувати передачу даних з важкодоступних місць та гарантувати цілісність і конфіденційність інформації [3-4].

У цій роботі проводиться порівняльний аналіз двох найбільш перспективних стандартів передачі даних:

- LoRaWAN — технологія, що працює у неліцензованому частотному спектрі та дозволяє будувати власні незалежні мережі;

- NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) — стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії, що використовує ліцензовані частоти мобільних операторів.

У межах дослідження було здійснено порівняльний аналіз технологій LoRaWAN та NB-IoT за чотирма ключовими критеріями, що визначають ефективність функціонування систем дистанційного моніторингу для комунальних підприємств. До таких критеріїв належать енергоефективність, надійність передачі даних, інформаційна безпека та економічна доцільність. Їх вибір зумовлений практичними особливостями експлуатації вузлів обліку, які часто працюють у складних умовах та потребують довготривалої автономної роботи.

Порівняння показало, що питання енергоефективності є одним із найважливіших для водоканалів, оскільки саме тривалість роботи від батареї визначає масштаби сервісного навантаження. LoRaWAN демонструє високу автономність завдяки асинхронному режиму передачі, коли пристрій активується лише для надсилання даних і одразу переходить у режим сну. Такий підхід забезпечує ресурс батареї понад десять років. На відміну від цього, NB-IoT вимагає регулярної синхронізації з базовою станцією мобільного оператора. Навіть за наявності режимів енергозбереження часті повторні передачі в умовах ослабленого сигналу (наприклад, у підвалах чи колодязях) скорочують термін служби джерел живлення.

Другим важливим параметром є надійність зв'язку у складних умовах експлуатації. Вузли обліку води здебільшого встановлюються у бетонних колодязях або на підземних рівнях будівель, що створює значні перешкоди для бездротової передачі даних. NB-ІоТ, який працює у ліцензованому спектрі з підвищеною потужністю сигналу та розширеним рівнем покриття, забезпечує стабільний зв'язок навіть у глибоких підвалах. LoRaWAN також може працювати на складних об'єктах, однак зашумленість неліцензованого спектра та обмежена проникність сигналу інколи потребують встановлення додаткових шлюзів, що підвищує вимоги до інфраструктури.

Аспект інформаційної безпеки виявив значні відмінності між технологіями. NB-ІоТ інтегрований у стандарти стільникових мереж і використовує механізми аутентифікації та шифрування на рівні оператора, що відповідає вимогам телекомунікаційного класу захисту. LoRaWAN також забезпечує високий рівень безпеки за рахунок двошарового AES-шифрування, хоча ефективність цього підходу значною мірою залежить від грамотного управління ключами всередині підприємства, що збільшує вимоги до організації процесів.

Економічний аналіз продемонстрував різні моделі формування вартості володіння мережами. LoRaWAN передбачає суттєві початкові інвестиції у створення власної інфраструктури, проте в подальшому практично не потребує витрат на обслуговування трафіку. Натомість NB-ІоТ позбавляє підприємство необхідності будувати мережу самостійно, але формує регулярні операційні витрати через щомісячні платежі мобільному оператору за кожен пристрій. На довгостроковому горизонті це може суттєво вплинути на загальну структуру витрат.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що ефективний вибір технології бездротової передачі даних для систем комунального моніторингу неможливо звести до одного універсального рішення — він повинен враховувати специфіку розміщення вузлів обліку, вимоги до енергоефективності, безпеки та довгострокових витрат. Водночас

аналіз показав наявність суттєвого потенціалу для подальшого поглиблення теми. Зокрема, перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення цілісної інформаційної технології та формальної моделі вибору технічних засобів дистанційного моніторингу систем водопостачання. Така модель дозволить систематизувати критерії, формалізувати процес прийняття рішень та забезпечити об'єктивний вибір оптимальної технології в кожному конкретному випадку, що є ключовим для підвищення ефективності та надійності цифрових інфраструктур комунальних підприємств.

Література:

1. Milovanov, Nikolay. (2024). Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. 173-179. 10.1145/3674912.3674945.
2. Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1-7.
3. Кононихін О.С., Прачик В.А., Щепетільников С.Ю. Модель вибору мережевого обладнання логістичного підприємства в умовах інтервальної інформації // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. No 1(29) 2024. С. 718-726.
4. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783