

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В МЕРЕЖАХ 5G

Григоренко О.Г., Колесник Я.В.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: olenagri@ukr.net, kolesnik.y2004@gmail.com

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT METHODS IN 5G NETWORKS

The main methods of increasing energy efficiency in 5G networks are analyzed, allowing to reduce energy consumption without losing productivity and communication quality. Modern technological solutions that contribute to the optimal use of energy resources are considered.

Проаналізовано основні методи підвищення енергоефективності в мережах 5G, що дозволяють зменшити споживання енергії без втрати продуктивності та якості зв'язку. Розглянуто сучасні технологічні рішення, які сприяють оптимальному використанню енергетичних ресурсів.

Мережі п'ятого покоління (5G) стали ключовим елементом цифрової трансформації, забезпечуючи високу швидкість передачі даних, низьку затримку та підтримку масового підключення пристроїв. За прогнозами Ericsson до кінця 2025 року 2,6 мільярдів пристроїв буде підключено до 5G, а споживання трафіку зросте до 24 Гігабайт [3], що суттєво підвищить вимоги до інфраструктури. У звіті Ericsson Mobility Report за листопад 2024 року прогнозується, що до 2030 року мобільні підключення 5G становитимуть 60% від загальної кількості підключень, досягнувши 500 мільйонів на Близькому Сході та в Північній Африці [1]. Однак разом із технологічними перевагами 5G приносить проблему високого енергоспоживання. Базові станції 5G, оснащені технологією Massive MIMO та малими сотами (small cells), споживають у 2-3 рази більше енергії порівняно з мережами 4G. Це створює виклики як для операторів, які прагнуть знизити операційні витрати, так і для суспільства, що орієнтується на сталий розвиток.

Питання енергоефективності в телекомунікаціях набуває особливої актуальності в контексті глобальних екологічних ініціатив, таких як Паризька угода [2]. Тому є актуальним проаналізувати сучасні методи підвищення енергоефективності в мережах 5G, оцінити їх ефективність та визначити перспективи розвитку.

Для підвищення енергоефективності в мережах 5G застосовуються різноманітні технології, які можна поділити на апаратні, програмні, мережеві архітектурні рішення тощо.[4-6]

Технології апаратного рівня. Одним із ключових підходів є використання енергоефективних чипів, виготовлених за 7-м технологією. Такі процесори зменшують споживання енергії на 20-30% порівняно з попередніми поколіннями.

Іншим важливим рішенням є технологія Massive MIMO, яка завдяки адаптивному керуванню антенами дозволяє оптимізувати передачу сигналу, знижуючи енергоспоживання на одиницю переданих даних. Проте висока щільність антен потребує складного налаштування, що може обмежувати її масове впровадження.

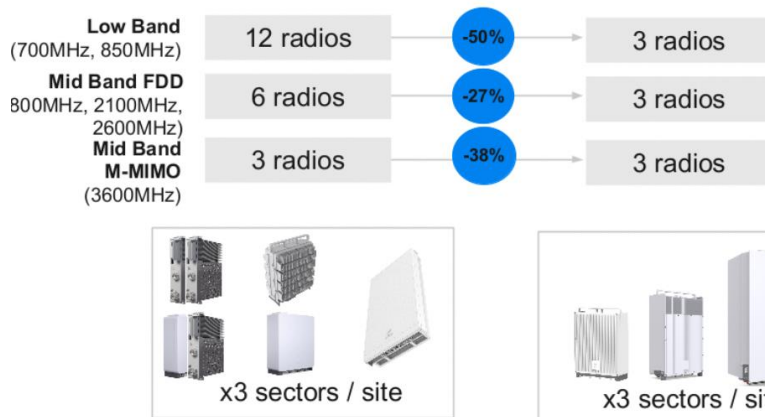


Рис.1. Приклад впровадження рішень з енергоефективності в Telstra у 2023р. Економія енергії 50, 27 та 38 % [4].

Програмні рішення. Алгоритми "сплячого режиму" (Sleep Mode) для базових станцій дають змогу вимикати окремі компоненти під час низького мережевого навантаження. За оцінками, це знижує енергоспоживання до 40% у нічні години. Динамічне управління ресурсами (Dynamic Resource Allocation) також відіграє важливу роль, дозволяючи адаптувати потужність передачі до поточного трафіку. Такі методи прості у впровадженні, але їхня ефективність залежить від стабільності навантаження.

Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії. Усе більше операторів експериментують із живленням базових станцій від сонячних панелей і вітрових турбін. Наприклад, у сільських регіонах Індії вже реалізовано проекти, де до 60% енергії для 5G-станцій надходить із зелених джерел. Це не лише знижує вуглецевий слід, а й зменшує залежність від традиційних енергоносіїв [6].

Мережева архітектура. Технологія Cloud RAN (Centralized Radio Access Network) переносить обчислення з периферійних вузлів до централізованих дата-центрів, що скорочує енергоспоживання малих сот. Водночас впровадження штучного інтелекту (AI) для управління мережею дозволяє прогнозувати пікові навантаження та автоматично оптимізувати ресурси.

Для оцінки ефективності розглянутих методів [4-6] використано такі критерії як енергоефективність (Вт/біт), вартість впровадження, складність інтеграції та вплив на якість сервісу (QoS).

Massive MIMO демонструє високу енергоефективність (до 10 Мбіт/Вт у порівнянні з 5 Мбіт/Вт у 4G), але потребує значних інвестицій у модернізацію обладнання та складного калібрування. Вплив на QoS позитивний завдяки кращій пропускній здатності, але затримки можуть зростати при неправильному налаштуванні.

Sleep Mode є економічно вигідним рішенням із низькою вартістю впровадження. Енергоефективність зростає на 30-40% у періоди низького трафіку,

однак у пікові години метод втрачає актуальність, а перемикання режимів може тимчасово погіршувати QoS.

Відновлювані джерела енергії знижують операційні витрати в довгостроковій перспективі, але потребують значних початкових інвестицій і залежать від кліматичних умов. Їхній вплив на QoS нейтральний, якщо мережа має резервне живлення.

Cloud RAN забезпечує енергоефективність на рівні 15 Мбіт/Вт у великих мережах, але висока складність інтеграції та потреба в потужних оптичних каналах роблять його дорогим. AI-оптимізація додатково підвищує ефективність на 10-15%, зберігаючи стабільний QoS.

Аналіз показав, що найбільш перспективними є комбіновані підходи, які поєднують апаратні інновації (Massive MIMO, енергоефективні чипи) з програмними рішеннями (Sleep Mode, AI-управління). Такі стратегії дозволяють досягти балансу між енергоефективністю, вартістю та якістю сервісу. Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії є важливим кроком до екологічної стійкості, особливо в регіонах із високим сонячним або вітровим потенціалом.

Рекомендується зосередити подальші дослідження на розвитку AI-технологій для автоматичної оптимізації енергоспоживання та на стандартизації гібридних енергетичних систем. У 2025 році енергоефективність може стати конкурентною перевагою для операторів, які прагнуть відповідати екологічним стандартам і знижувати витрати. Таким чином, мережі 5G не лише забезпечать технологічний прогрес, а й сприятимуть сталому розвитку телекомунікаційної галузі.

Література

1. Ericsson Mobility Report: 5G will outpace 4G in 2027/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://www.ericsson.com/en/press-releases/5/2024/ericsson-mobility-report-5g-will-outpace-4g-in-2027>
2. Паризька угода/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text
3. 2025 рік/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://epravda.com.ua/news/2019/11/25/654105/>
4. S.Kinney. A three-step approach to 5G sustainability/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://www.rcrwireless.com/2023/12/08/5g/a-three-step-approach-to-5g-sustainability>
5. A.Ichimescu, N.Popescu, E.C.Popovici, A.Toma. Energy Efficiency for 5G and Beyond 5G: Potential, Limitations, and Future Direction. – Sensors 2024, 24(22), 7402/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/22/7402>
6. GSMA. (2023). The Mobile Economy 2023. London: GSMA Intelligence/ [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/wp-content/uploads/2023/03/270223-The-Mobile-Economy-2023.pdf>