

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ГЕТЕРОГЕННОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

### Анотація

Запропоновано модель інтегрованої гетерогенної мережі доступу, що дозволило проаналізувати загальносистемні показники її ефективності на основі просторо-часового підходу.

**Ключові слова:** мережа 5G, гетерогенна мережа, ймовірність блокування, завантаження системи.

### Abstract

A model of an integrated heterogeneous access network is proposed, which made it possible to analyze system-wide indicators of its effectiveness based on the spatiotemporal approach.

**Keywords:** 5G network, heterogeneous network, blocking probability, system boot.

### Вступ

Розвиток технологій 5G вимагає принципово нових підходів. Механізми мережевої дії в гетерогенних мережах 5G [1-2] дозволяє ефективно встановлювати пряме з'єднання між абонентами. Одним із методів усунення дефіциту радіо ресурсу в мережах 5G є розміщення малих комірок із більш високою густиною покриття. Це дозволяє досягти підвищити швидкість передачі даних та понизити енергетичні витрати, особливо у міських забудовах [3-6].

Метою роботи є створення методу визначення ефективності за рахунок аналізу ймовірності блокування та середньої кількості користувачів від завантаження системи у інтегральній гетерогенній мережі доступу.

### Результати дослідження

На рис. 1 подана типова топологія гетерогенної мережі, що містить ієрархічну структуру комірок різного розміру, включаючи макрокомірки, піко комірки, фемтокомірки, точки доступу WiFi, суміщені модулі LTE-WiFi. Таке обладнання доступу має більш низьку потужність передачі та вартість, що дозволяє збільшити ємність системи за рахунок скорочення відстані між мережевою інфраструктурою та абонентом у межах із високим споживання.

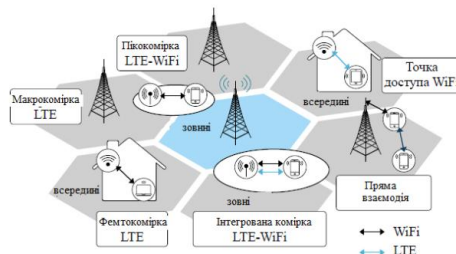


Рис. 1. Типова топологія гетерогенної мережі

Отже, розглянемо модель гетерогенної мережі доступу, що містить в собі покриття макро- та піко комірок, а також множину точок доступу WLAN, що називаються шарами. Модель (рис. 2) містить одну макрокомірку радіусу  $R$  із базовою станцією БС, що розміщені в її геометричному центрі.

Макрокомірка є макрошаром, тоді як множина пік осот ТД WLAN є піко шаром та шаром WLAN. Кожного ТД/БС може обслуговувати абонентські термінали, що передають данні по лінії в гору. Цей тип трафіка відповідає сесіям реального часу із мінімальною швидкістю передачі даних

$$r_0 = B \cdot \log(1 + A \cdot p_i),$$

де  $p_i$  – потужність сигналу на виході радіочастотного підсилювача, а  $A$  та  $B$  являють собою масштабуючі коефіцієнти.

Загальносистемна ймовірність блокування

$$p = 1 - \left[ p_a^{(1)} + (1 - p_a^{(1)}) p_a^{(2)} + (1 - p_a^{(2)}) (1 - p_a^{(1)}) p_a^{(3)} \right],$$

де  $p_a^{(1)}$  – ймовірність допуску сесії до шару WLAN,  $p_a^{(2)}$  – ймовірність допуску сесії до пікошару,  $p_a^{(3)}$  – ймовірність допуску сесії до макрошару.

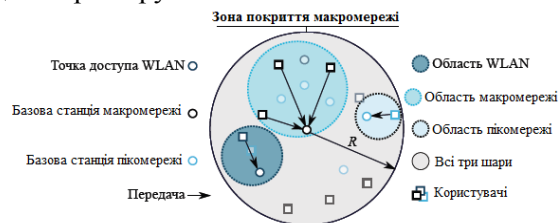


Рис. 2. Модель макрокомірки

Термінали, що передаються по лінії вгору ініціюють сесії, що надходять на обслуговування в гетерогенну мережу доступу згідно одномірному пуассонівському процесу інтенсивності  $\lambda$  у часі. Отже, нова сесія ставиться у відповідність терміналу, що знаходиться у визначеній точці, що не змінюється під час всієї сесії. Тривалість сесії розподілені за експоненціальним законом із середнім  $\mu^{-1}$ , що може відповідати мовному або відео дзвінку в реальному часі.

Отже, розглянемо комірку радіуса  $R$ , що має розмір 288 метрів, с до якої нові сесії приходять із змінною інтенсивністю. Кожна сесія має випадкову тривалість із середнім значенням  $\mu^{-1} = 3$  секунд, а також мінімальну необхідну швидкість передачі даних  $r_0 = 500$  кбіт/с. Припустима смуга пропускання шарів WLAN, піко- та макро- складає 20, 10 та 10 МГц відповідно. При цьому припустима потужність передачі абонентського терміналу обмежена значенням в 23 дБм в шарі WLAN та в макрошарі, тоді як в піко шарі це значення становить 20 дБм. Інші параметри системи встановлюємо відповідно до специфікацій 3GPP та іншими документами стандартизації.

На рис. 3 подана залежність середньої кількості та ймовірності блокування від завантаження системи. Ці графіки характеризують ефективність обслуговування в макросі із врахуванням та без врахування вклада від ефекту повільного загасання сигналу, що здійснює вплив на роботу кожного шару гетерогенної мережі доступу.

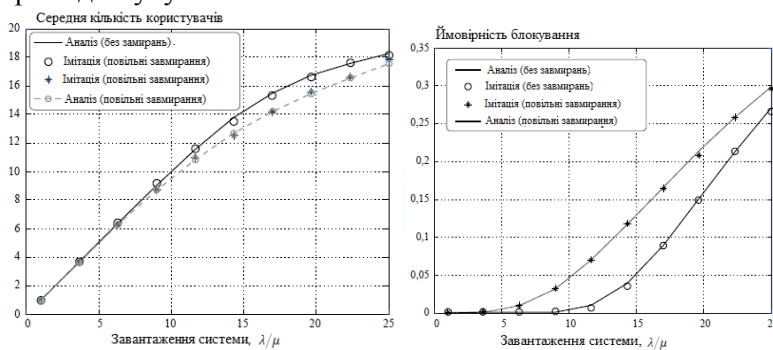


Рис. 3. Залежність середньої кількості та ймовірності блокування від завантаження системи

Із рис. 4а бачимо, що зі збільшення щільності розміщення модулів мережевої інфраструктури ефективність обслуговування також суттєво збільшується. На рис. 4б є дослідження відповідних значень ймовірності блокування в межах розглянутої інтегрованої мережі доступу, а також у кожному із його шарів. Отже, бачимо на скільки збільшується ефективність роботи гетерогенної мережі із двома додатковими шарами у порівнянні із базовою стільниковою мережею, включаючи

лише макрошар. Слід зазначити значний приріст продуктивності для невеликої кількості додаткових модулів.

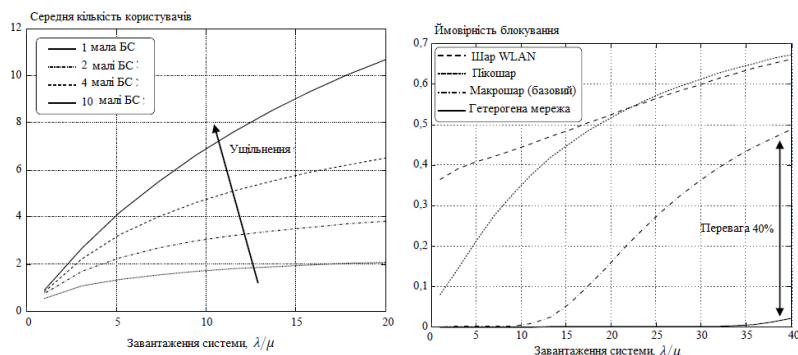


Рис. 4.

## Висновки

Таким чином, різні технології радіодоступу у сукупності з інтелектуальними технологіями вибору радіомережі є невід’ємною частиною гетерогенних мереж 5G. Узгоджене використання сукупностей мереж доступу дозволяє досягти значного приросту ефективності обслуговування абонентів як за величиною ємності системи зв’язку, так і на рівні якості користувацького з’єднання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Peng M. Self-configuration and self-optimization in LTE-advanced heterogeneous networks / M. Peng, D. Liang, Y. Wei // IEEE Communications magazine. – 2013. – Vol. 51, No.5. – pp.36-45. DOI: 10.1109/MCOM.2013.6515045.
2. Andreev S. Intelligent access network selection in converged multi-radio heterogeneous network / S. Andreev, M. Gerasimenko, O. Galinina // Wireless Communications. – 2014. – Vol. 21, No. 6. – pp. 86-96. DOI: 10.1109/MWC.2014.7000976.
3. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі MEC / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 153 – 155.
4. Демченко І.В. Перспективи розвитку технологій 5G / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // Матеріали II всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 14-16 травня 2019. – С. 31 – 33.
5. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.
6. Драган М.О. Енергетична ефективність систем M2M у стільникових мережах / М.О. Драган, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 178 –179.

**Яценко Сергій Володимирович** — студент групи РС-61, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: serg\_yachenko2020@meta.ua;

**Гнитецький Володимир Антонович** — студент групи РС-61, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ;

**Булашенко Андрій Васильович** — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ.

**Yashchenko Sergey V.** — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, email: serg\_yachenko2020@meta.ua;

**Gnitetskiy Vladimir A.** — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;

**Bulashenko Andrew V.** — senior lecture of the chair of theoretical foundations of radio engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv