

УДК 621.396.946

## АНАЛІЗ СХЕМ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТ ДЛЯ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 4-5G

Бабіч М.Р., Горбачов В.О., Москалець М.В.

e-mail: [maksym.babich1@nure.ua](mailto:maksym.babich1@nure.ua), [viacheslav.horbachov@nure.ua](mailto:viacheslav.horbachov@nure.ua),

[mykola.moskalets@nure.ua](mailto:mykola.moskalets@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
каф. ІКІ ім. В.В. Поповського,  
м. Харків, Україна

The application of effective frequency allocation schemes such as reuse-1, reuse-3, soft frequency reuse (SFR), partial frequency reuse (PFR), and soft fractional frequency reuse (SFFR) in the 4-5G mobile network planning methodology is analyzed. Frequency allocation models used for resource allocation for both macrocells and femtocells are proposed to ensure the coexistence of both networks and minimize interference to the greatest extent possible.

Схеми розподілу частот визначають процеси та алгоритми, які використовуються для ефективного використання обмежених частотних ресурсів як у макростільниках, так і у фемтостільниках у системі 4G. Основною метою будь-якої схеми розподілу частот є підвищення загальної продуктивності системи та максимізація спектральної ефективності обмеженої смуги частот.

Кожна з таких схем використовує відомий метод розподілу частот, зосереджуючись на підходах, що базуються на концепції повторного дробового використання частоти (FFR), яка була вперше запропонована у мережах GSM [1]. Цей підхід вирішує проблеми поганого покриття в зоні краю, які є значущими для будь-якої мобільної стільникової системи [2].

Універсальна схема повторного використання, відома як «Повторне використання-1», передбачає призначення всіх частотних ресурсів для повторного використання усіма макростільниками та фемтостільниками в системі (рис.1а). Основною перевагою цієї схеми є здатність використовувати всі доступні частоти, що призводить до збільшення спектральної ефективності обмеженої смуги пропускання. Це, однак, може призвести до збільшення міжсистемних завад у системі, оскільки всі макрота фемтостільники одночасно використовують однакову пропускну здатність для обслуговування своїх підключених абонентів.

Застосування схеми «Повторне використання-3» продемонструвало, що воно може забезпечити кращі результати порівняно з іншими варіантами коефіцієнтів повторного використання [2]. У схемі повторного використання-3 весь частотний діапазон рівномірно розподіляється на три піддіапазони, таким чином, що кожному стільнику відводиться тільки один із доступних піддіапазонів (рис.1б). Важливою особливістю цієї схеми є те,

що частотний ресурс повторно використовується кожним третім стільником, а не кожним окремим стільником, як у випадку «Повторне використання-1».

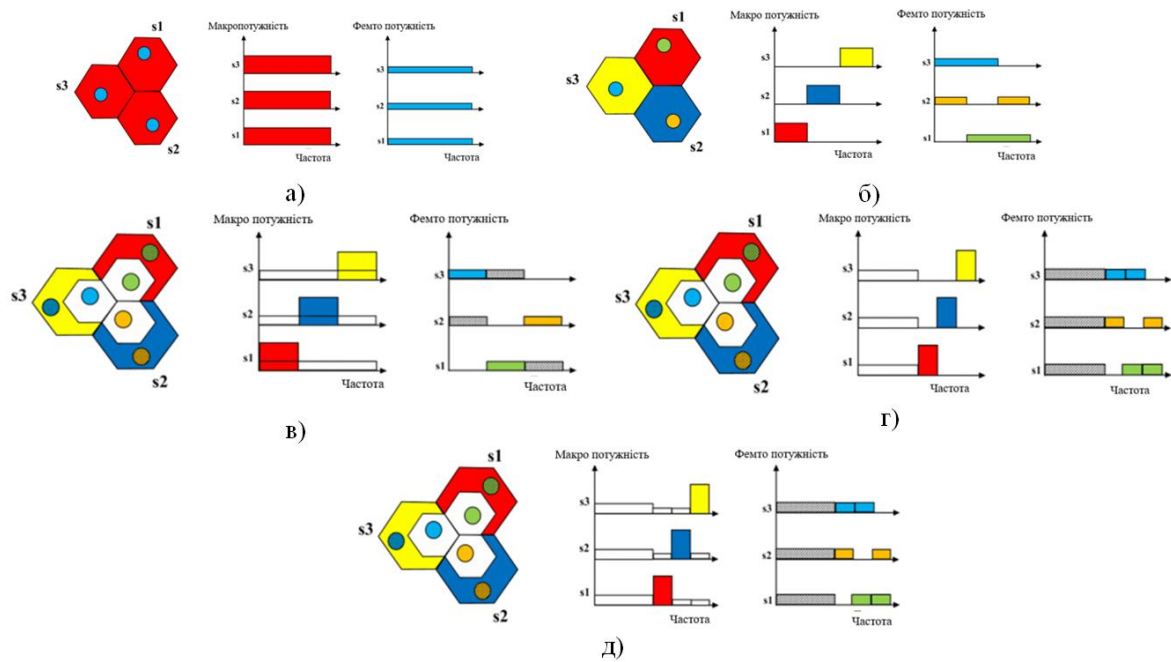


Рисунок 1 – Схеми повторного використання:

- а) повторное використання-1;
- б) повторное використання-3;
- в) м'яке повторне використання частоти – SFR;
- г) часткове повторне використання частоти – PFR;
- д) м'яке дробове повторне використання частоти – SFFR

Схема м'якого частотного повторного використання (SFR) розділяє зону покриття макростільника на дві області: внутрішню (центральну) та крайову. Фемтостільники також класифікуються на центральні та крайові відповідно до їхнього положення у макростільнику, як видно на рис.1в. Часовий інтервал розділений на дві частини. У схемі SFR перший часовий інтервал відводиться для доступу до центральних абонентських станцій, які можуть вільно використовувати всю ширину частот протягом цього періоду (аналогічне схемі «Повторне використання-1»). Другий часовий інтервал призначений для доступу до крайових абонентських станцій. Весь частотний ресурс у другому інтервалі поділяється порівну на три піддіпазони, щоб крайові абонентські станції кожного сектору макростільника могли отримати доступ тільки до одного із трьох доступних піддіпазонів частот (використання, аналогічне «Повторному використанню-3»), як видно на рис. 1в. Рівень потужності передачі для крайової області встановлюється втричі вище, ніж для центральної області.

Один з варіантів реалізації концепції повторного використання дробової частоти (FFR) відомий як часткове повторне використання частоти (PFR). Цей метод був введений як засіб розподілу ресурсів у мережах макростільників. Концепція PFR в певному сенсі подібна до SFR, оскільки вона також розділяє зону покриття макростільників на центральну і крайову області.

На рис.1г детально розглядається процес розподілу частот для макростільників у концепції часткового повторного використання частоти (PFR). У цій схемі весь ресурс пропускну здатності системи розділений на 6 піддіапазонів, які позначені як А, В, С, D, Е і F. Три з цих піддіапазонів (загальні піддіапазони) призначені для центрального макрообладнання користувача (МОК) в будь-якому секторі, в той час як залишені три піддіапазони використовуються для доступу до граничного макрообладнання користувача у трьох різних секторах. Піддіапазон D, наприклад, може бути призначений граничному МОК у секторі 1. Рівень потужності передачі у піддіапазонах, що використовуються граничним МОК, складає 2/3 загальної потужності передачі, призначеної для макро-БС, тоді як у піддіапазонах для центрального МОК він становить 1/3.

На рис 1.д зображено процес розподілу частот для макростільників, що використовується в схемі м'якого дробового повторного використання частоти (SFFR), яке представляє собою інший варіант концепції динамічного розподілу ресурсів (FFR). Схоже на SFR і PFR, SFFR розділяє зону покриття макростільниками на дві основні області: центральну та крайову. Оптимальний радіус центральної області встановлено на рівні 63% від розрахованого радіуса внутрішнього кола. Концепція SFFR схожа на PFR, за винятком деяких особливостей.

Таким чином, розглянуті варіанти структурних перетворень, дозволяють збільшувати продуктивність мережі за рахунок використання макро- і мікростільникових осередків, які ефективно застосовуються в місцях щільних кластерних груп абонентів.

#### Список використаних джерел:

1. Koliadenko, Y., Moskalets, M., Badieiev, V., Savchenko, R. Method Radio Resource Allocation in Cognitive Radio Network. In: Dovgyi, S., Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 809. Springer, Cham, pp 102–115. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_7)
2. Muliar B, Koliadenko YU., Moskalets M., Loshakov V., Martynchuk O., Ageyev D. Interaction Model and Phase States at Frequency Resource Allocation in a Grouping of Radio-Electronic Equipment of 5G Mobile Communication Network. 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2022, pp. 1-7.

3. Mohammed Kassim Ahmed, Samah Fakhri Aziz, Naors Y. Anad Alsaleem, K. Sielivanov, M.Moskalets. Method for determining responses from a non-linear system using the volterra series/ Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. №4/9 (106) P. 34-44. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210754. .