

# РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ РЕФАРМІНГУ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ

Коляденко Ю.Ю., Чурсанов Н.А.

Кафедра Інфокомунікаційної інженерії  
ім. В.В. Поповського, ХНУРЕ, Україна

E-mail: [yuliia.koliadenko@nure.ua](mailto:yuliia.koliadenko@nure.ua)

## Abstract

The article analyzes the EMC during refarming using the criterion of energy equivalence. The analysis allows us to determine the conditions for maintaining the energy equivalence of the GSM network in the frequency band of the corresponding width, which was planned to create the LTE network during refarming, namely: calculate the allowable number of LTE transmitters at each GSM site when planning sectors and MIMO configurations on them; estimate (if necessary) the limitation of the radiation power of the LTE transmitters.

З розвитком сімейства технологій IMT (International Mobile Telecommunications) удосконалюються і методи оцінки умов їх електромагнітної сумісності між собою і з іншими радіоелектронними засобами (РЕЗ), які в своїй основі мають враховувати специфічні особливості кожної технології [1-4]. Використання радіочастот за принципом технологічної нейтральності вимагає визначення деякого узагальненого критерію електромагнітної сумісності (ЕМС). У зарубіжній практиці в проєкті WARECS в якості такого критерію запропоновано використовувати крайову маску блоку ВЕМ, яка є "регуляторною" спектральною маскою в блоці спектра, що виділено оператору. Рефармінг радіочастотного спектру вимагає розробки умов спільного функціонування мереж декількох стандартів в суміжних смугах частот в межах одного діапазону. Також необхідно враховувати і варіанти комбінованого використання несійних частот DC / DB (Dual Carrier / Dual Band) при агрегуванні в UMTS [4]. У [4] запропоновано критерій енергетичної еквівалентності для оцінки ЕМС при рефармінгу радіочастотного спектру. Суть рефармінгу полягає в можливості додаткового використання раніше виділених смуг радіочастот, наприклад GSM інший, більш новій технології стільникового зв'язку. В результаті такої процедури в одному частотному діапазоні можуть поєднуватися декілька технологій.

Критерій вводиться для спрощення оцінки та виконання умов ЕМС при рефармінгу. Критерій базується на еквівалентності енергетичних характеристик в мережі, що замінюється і новій мережі різних стандартів, досить тільки врахувати відмінні риси різних стандартів РЕЗ [4]. Практична значимість такого підходу полягає в тому, що умови ЕМС для більш "динамічних" радіоінтерфейсів LTE можуть бути визначені на базі вже апробованих умов для діючих мереж GSM зі значно меншими витратами. Використовуючи запропонований критерій, можна на етапі планування фрагмента мережі з новою технологією, визначити його склад за кількістю передавачів і допустимій потужності їх випромінювання. Це дозволяє виключити можливу надмірність частотно-територіального плану, що формується для фрагмента мережі, що в кінцевому підсумку може вплинути на вартість експертизи ЕМС. І, нарешті, запропонований критерій є універсальним і може бути використано по відношенню до інших потенційно несумісних РЕЗ, для цього слід лише вибрати відповідну ширину смуги пропускання його приймача.

Енергетична еквівалентність в зазначених умовах полягає в балансі енергетики, що випромінюється каналами GSM і LTE в смузі пропускання потенційно несумісного РЕЗ. Це

ствердження описується математично [10], а еквівалентність енергетики завод від мереж GSM і LTE в загальному має вигляд:

$$P_{T\Sigma LTE}(\Delta f_{PE3}) \leq P_{T\Sigma GSM}(\Delta f_{PE3}), \quad (1)$$

де  $P_{T\Sigma GSM}(\Delta f_{PE3})$ ,  $P_{T\Sigma LTE}(\Delta f_{PE3})$  - сумарні потужності передавачів базових станцій (БС) GSM і LTE в смузі пропускання  $\Delta f_{PE3}$  потенційно несумісного РЕЗ відповідно.

Ступінь можливого збільшення потужності потенційної завади від LTE щодо діючої завади від GSM в смузі частот  $\Delta f_{PE3} = a \cdot m_f \Delta f_{GSM}$  описується співвідношенням [4]:

$$\eta = \frac{P_{T\Sigma LTE}(\Delta f_{PE3})}{P_{T\Sigma GSM}(\Delta f_{PE3})} = \frac{S_{\Sigma(\Delta f_{PE3})LTE} \cdot \Delta f_{LTE}}{S_{cp(\Delta f_{PE3})GSM} \cdot \Delta f_{GSM}} = \frac{P_{TLTE}}{P_{TGSM}} (1 - \beta_{LTE}) \alpha \frac{n_{TLTE} N_{LTE}}{\sum_{i=1}^{L_f} (1 - \beta_{iGSM}) n_{GSM}(f_i)}, \quad (2)$$

де  $S_{\Sigma(\Delta f_{PE3})LTE}$  - сумарна спектральна густина потужності випромінювання передавачів БС LTE, близька до рівномірної в смузі  $\Delta f_{PE3}$ ;  $S_{cp(\Delta f_{PE3})GSM}$  - середня сумарна спектральна густина потужності випромінювання передавачів БС GSM в смузі частот  $\Delta f_{PE3}$  (усереднена по смузі  $\Delta f_{PE3}$ );  $\Delta f_{GSM}$ ,  $\Delta f_{LTE}$  - смуги частот (ширина каналу) GSM і LTE відповідно;  $m_f$  - параметр, що характеризує кількість можливих частотних каналів GSM в смузі LTE,  $1 \leq m_f \leq \left\lceil \frac{\Delta f_{LTE}}{\Delta f_{GSM}} \right\rceil$ ,  $[x]$  - ціла частина числа;  $n_{TGSM}(f_i)$  - число передавачів GSM, що випромінюють на одній заводовій ("активній") частоті  $f_i$ ;  $n_{TLTE}$  - кількість передавачів на площадці LTE (з урахуванням MIMO);  $N_{LTE}$  - кількість площадок, на яких планується установка передавачів LTE;  $\beta_{GSM}$  - показник, що враховує чинні обмеження потужності БС GSM, ( $0 < \beta_{GSM} < 1$ );  $\beta_{LTE}$  - ступінь можливого обмеження потужності передавачів LTE за умовами EMC з РЕЗ ( $0 < \beta_{LTE} < 1$ );  $L_f$  - кількість "активних" частот, які не повторюються (частотних каналів) GSM в смузі приймача РЕЗ;  $\alpha$  - параметр, який показує, наскільки смуга РЕЗ більше (менше) смуги LTE:

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\Delta f_{PE3}}{\Delta f_{LTE}}, & \Delta f_{LTE} > \Delta f_{PE3}, \\ 1, & \Delta f_{LTE} \leq \Delta f_{PE3}. \end{cases} \quad (3)$$

Коли канал LTE  $\Delta f_{LTE}$  ширше смуги пропускання РЕЗ  $\Delta f_{PE3}$ , енергетика LTE потрапляє в неї частково в залежності від співвідношення цих смуг (параметра  $\alpha$ ). В іншому випадку, коли  $\Delta f_{LTE} \leq \Delta f_{PE3}$ , енергетика LTE повністю зосереджена в смузі РЕЗ, незалежно від зазначеного співвідношення (тому  $\alpha = 1$ ).

Очевидно, що умовою збереження EMC за критерієм енергетичної еквівалентності є співвідношення, яке має вигляд:

$$\eta = \frac{P_{TLTE}}{P_{TGSM}} (1 - \beta_{LTE}) \alpha \frac{n_{TLTE} N_{LTE}}{\sum_{i=1}^{L_f} (1 - \beta_{iGSM}) n_{GSM}(f_i)} \leq 1, \quad (4)$$

відповідно до якого сумарна потужність завади в смузі частот  $\Delta f_{PE3}$  від мережі LTE не перевищуватиме еквівалентну потужність завади, яка створювалась раніше в цій смузі мережею GSM.

Отримано залежності показника енергетичної еквівалентності від кількості частот, які не повторюються в смузі приймача РЕЗ при різних значеннях ширини каналу LTE (рис.1).

Для проведення аналізу ЕМС при рефармінгу радіочастотного спектру було взято наступні вихідні дані: потужності випромінювання  $P_{LTE} = 80$  Вт,  $P_{TGSM} = 20$  Вт; показники, що враховують чинні обмеження потужності БС  $\beta_{GSM} = 0,3$ ;  $\beta_{LTE} = 0,3$ ; ширина каналу  $\Delta f_{GSM} = 0,2$  МГц,  $\Delta f_{PE3} = 14$  МГц;  $\Delta f_{LTE}$  приймала значення 10, 20 та 30 МГц; кількість передавачів  $n_{LTE} = 12$ ;  $n_{TGSM} = 12$ ; кількість площадок на яких планується установка передавачів LTE  $N_{LTE} = 1$ ; кількість частот, які не повторюються в смузі приймача РЕЗ  $L_f$  приймала значення від 1 до 20.

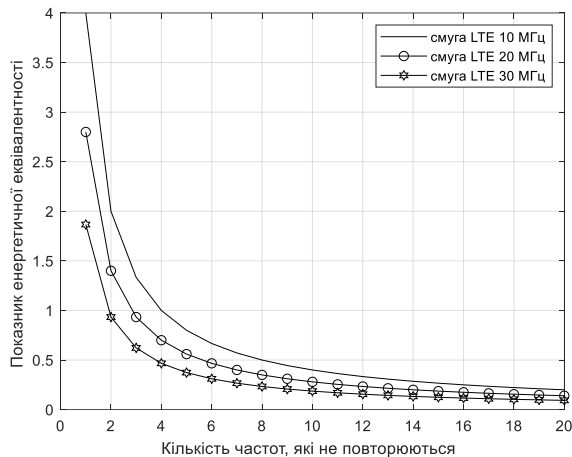


Рис. 1. Залежності показника енергетичної еквівалентності від кількості частот, які не повторюються в смузі приймача РЕЗ при різних значеннях ширини каналу LTE

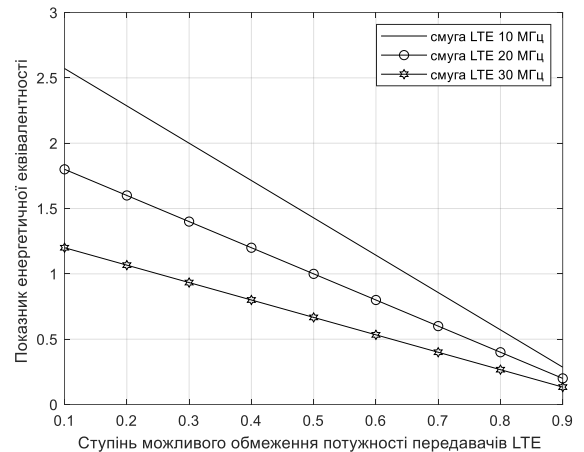


Рис. 2. Залежності показника енергетичної еквівалентності від ступеня можливого обмеження потужності передавачів LTE при різних значеннях ширини каналу LTE

На рис.1 показано залежності показника енергетичної еквівалентності від кількості частот, які не повторюються в смузі приймача РЕЗ при різних значеннях ширини каналу LTE. Отримані залежності показують зменшення показника енергетичної еквівалентності при збільшенні кількості частот, які не повторюються. Верхня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 10$  МГц, середня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 20$  МГц та нижня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 30$  МГц. З даних графіків видно, що для того, щоб не порушувались умови забезпечення ЕМС при смузі LTE  $\Delta f_{LTE} = 10$  МГц кількість частот, які не повторюються повинна бути не менше 4-х, так як показник енергетичної еквівалентності повинен бути менший одиниці. При смузі частот LTE  $\Delta f_{LTE} = 20$  МГц кількість частот, які не повторюються повинна бути не менше 3-х. Та при смузі частот LTE  $\Delta f_{LTE} = 30$  МГц кількість частот, які не повторюються повинна бути не менше 2-х.

Отримано залежності показника енергетичної еквівалентності від ступеня можливого обмеження потужності передавачів LTE при різних значеннях ширини каналу LTE (рис.2).

Для проведення цього експерименту на вдміну від попереднього було взято наступні вихідні дані:  $\beta_{LTE}$  змінювався від 0,1 до 0,9;  $L_f = 2$ .

Отримані залежності показують зменшення показника енергетичної еквівалентності при збільшенні ступеня можливого обмеження потужності передавачів LTE. Верхня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 10$  МГц, середня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 20$  МГц та нижня крива отримана при ширині каналу LTE  $\Delta f_{LTE} = 30$  МГц. З даних графіків видно, що для того, щоб не порушувались умови забезпечення ЕМС при смузі LTE  $\Delta f_{LTE} = 10$  МГц ступінь обмеження потужності передавачів LTE повинна бути не менше 0,65. При смузі частот LTE  $\Delta f_{LTE} = 20$  МГц ступінь обмеження потужності передавачів LTE повинна бути не менше 0,5. Та при смузі частот LTE  $\Delta f_{LTE} = 30$  МГц ступінь обмеження потужності передавачів LTE повинна бути не менше 0,25.

## Висновки

Проаналізований критерій енергетичної еквівалентності, який запропоновано використовувати при рефармінгу радіочастотного спектру. Проведений аналіз дозволяє визначити умови збереження енергетичної еквівалентності мережі GSM в смузі частот відповідної ширини, що планується для створення мережі LTE при рефармінгу.

Отримано залежності показника енергетичної еквівалентності від кількості частот, які не повторюються в смузі приймача РЕЗ при різних значеннях ширини каналу LTE. Отримані залежності показують зменшення показника енергетичної еквівалентності при збільшенні кількості частот, які не повторюються.

Отримано залежності показника енергетичної еквівалентності від ступеня можливого обмеження потужності передавачів LTE при різних значеннях ширини каналу LTE. Ці залежності показують зменшення показника енергетичної еквівалентності при збільшенні ступеня можливого обмеження потужності передавачів LTE.

## Література

1. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
2. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук / — М.: Эко-Трендз, 2010. — 284 с.
3. Москалец Н.В. Повышение эффективности использования радиочастотного ресурса при внедрении систем широкополосного беспроводного доступа WiMAX / Н.В. Москалец, И. Наорс Анад / Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2008. Вып.155. С. 186–190.
4. Скрынников В.Г. Новый критерий для оценки условий ЭМС при рефарминге радиочастотного спектра / В.Г. Скрынников / Ежемесячный научный журнал Международного союза ученых "Наука. Технологии. Производство". — № 3 (7). — 2015. С. 45-58.