

ПРИХОДЬКО С. І., д.т.н., професор,
ЄЛІЗАРЕНКО А. О., к.т.н., доцент
(Український державний університет залізничного транспорту)

Особливості спільної роботи радіостанцій з різним частотним рознесенням каналів

Ураховуючи систему організації радіозв'язку, що склалася на залізницях, і актуальність питань впровадження більш сучасних технічних засобів, у статті розглянуто основні аспекти спільної експлуатації радіозасобів з різним канальним рознесенням.

У перехідний період будуть одночасно функціонувати радіозасоби з різними смугами випромінювання і приймання. Розроблено рекомендації з упорядкування нумерації, присвоєння та вибору частот. Розглянуто особливості роботи радіостанцій з різним частотним рознесенням і усуненням недопустимих взаємних завад.

Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, частотне рознесення каналів, електричні характеристик радіозасобів, умови спільної роботи.

Вступ

На залізницях України склалася розгалужена система мереж радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль з кроком канальної сітки 25 кГц. Розроблені нормативні документи з організації радіомереж, розподілу робочих частот між різними службами та розрахунку каналів [1, 2].

У роботі [3] розглянуто основні організаційно-технічні заходи, що безпосередньо впливають з прийнятого рішення про запровадження канальної сітки частот 12,5 кГц для радіозасобів УКХ діапазону, за роботою [4]. Розглянуто принципи визначення номіналів робочих частот, нумерації каналів і поетапність переходу.

Таке рішення відповідає світовому тренду розвитку рухомого радіозв'язку: зменшенню частотного рознесення між сусідніми каналами та поступовій заміні аналогових радіозасобів. При цьому електричні параметри радіостанцій мають задовольняти вимоги ДСТУ 4184:2003 [5], що одночасно нормує параметри радіозасобів з кроком сітки частот 25 і 12,5 кГц.

Зараз актуальні завдання модернізації існуючих мереж за рахунок впровадження сучасних цифрових технічних засобів [6, 7]. Зростання кількості каналів дає змогу запровадити використання цифрових стандартів, що працюють у дуплексному та двочастотному симплексному режимах.

Радіозасоби цифрового стандарту DMR працюють у смугах частот, відведених для залізниць з рознесенням каналів 12,5 кГц [8].

Вітчизняна промисловість вже освоїла випуск радіозасобів з рознесенням каналів 12,5 кГц, що мають поліпшені техніко-експлуатаційні характеристики, насамперед зменшення маси габаритних показників, енергоспоживання та підвищення надійності [5, 9].

Отже, запровадження сучасних радіозасобів з канальною сіткою 12,5 кГц можна розглядати як перший етап модернізації радіозасобів.

Дозволи на експлуатацію радіозасобів подовжено до закінчення терміну їхньої дії, тому в перехідний період будуть спільно експлуатуватись радіозасоби з різним частотним рознесенням каналів, у яких відрізняються параметри випромінюваних сигналів і характеристики вибіркості, що створює певні проблеми.

Постановка проблеми

Аналіз різних аспектів сумісної роботи радіозасобів з різним частотним рознесенням канальної сітки частот у мережі залізничного технологічного радіозв'язку.

Основні результати

Існуючі мережі залізничного технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль побудовані на основі радіозасобів з рознесенням сусідніх каналів 25 кГц. Були розроблені рекомендації з використання конкретних каналів між різними службами, підрозділами і видами радіозв'язку для організації радіомереж певного призначення [2, 6].

У перехідний період при запровадженні радіозасобів з кроком каналної сітки частот 12,5 кГц слід забезпечити спільну експлуатацію різних радіозасобів. Необхідне розроблення нового частотного плану, який би впорядкував спільну експлуатацію радіозасобів з кроком сітки частот 12,5 кГц і радіозасобів з рознесенням каналів 25 кГц з урахуванням системи нормативно-технічного забезпечення, що склалася.

В усіх нормативно-технічних документах використовують умовну нумерацію каналів, призначених для організації мереж від першого 1 (151,725 МГц) до 133 (156,000 МГц), а відповідні їм робочі частоти можна визначити за сіткою частот.

Для нової сітки частот, на відміну від чинної, пропонується вести нумерацію починаючи з 201 каналу для частоти 151,725 МГц. В обох системах нумерація частот непарних каналів збігаються.

У табл. 1 наведено фрагмент відповідності номерів каналів для сітки з кроком частот 25 і 12,5 кГц. При подальшому впровадженні нових радіозасобів буде розширюватись використання каналів відповідно до сітки частот 12,5 кГц.

У подальшому частотний план буде містити тільки частотні присвоєння з номерами каналів 201 – 464. На наш погляд, використовувати умовні номери каналів зручніше, ніж семизначну цифру несучої частоти.

Таблиця 1

Відповідність номіналів частот і номерів каналів для сітки з рознесенням частот каналів 25 і 12,5 кГц

Частота, МГц	Номер каналу, 25 кГц	Номер каналу, 12,5 кГц	Частота, МГц	Номер каналу, 25 кГц	Номер каналу	Частота, МГц	Номер каналу, 25 кГц	Номер каналу
151,7250	1	201	152,2750	23	245	152,8250	45	289
151,7375		202	152,2875		246	152,8375		290
151,7500	2	203	152,3000	24	247	152,8500	46	291
151,7625		204	152,3125		248	152,8625		292
151,7750	3	205	152,3250	25	249	152,8750	47	293

Окрему проблему при впровадженні нових радіозасобів створюють питання забезпечення електромагнітної сумісності. При розробленні частотно-територіального плану мереж вирішуються питання забезпечення необхідних зон обслуговування та електромагнітної сумісності. Умови уникнення взаємних завад вирішуються за рахунок частотного і територіального рознесення стаціонарних радіостанцій за умов виключення блокування та інтермодуляційних завад.

Найбільш ефективним методом виключення інтермодуляційних завад, особливо на станціях, є підбір інтермодуляційно сумісних частот. Тобто мають бути виключені набори частот, що викликають інтермодуляційні впливи вигляду $2f_1 - f_2 = f_{роб}$. Для кожної категорії абонентів сформовані таблиці рекомендованих частот. При розподілі каналних частот використано груповий підхід. До однієї групи включаються абоненти, пов'язані з територіальним розташуванням або технологічним процесом роботи. Для кожної з радіомереж необхідно використовувати

окрему робочу частоту. При цьому частоти мереж мають бути інтермодуляційно сумісними.

У табл. 2 наведено фрагмент комплексу інтермодуляційно сумісних частот для технологічних абонентів станцій. Показано категорії абонентів, частотні присвоєння та номери каналів у різних системах нумерації.

Це дозволяє використовувати всі чинні нормативні документи з розподілу каналів між різними службами, підбору інтермодуляційно сумісних частот для мереж різного призначення на основі таблиці відповідності каналів.

Для роботи діючих аналогових систем і мереж радіозв'язку в перехідний період може використовуватися крок сітки частот 25 кГц, а при модернізації та будівництві нових аналогових систем і мереж – 12,5 кГц. Аналогові радіозасоби систем і мереж радіозв'язку до модернізації мають працювати в симплексному режимі з використанням однієї і тієї самої частоти для приймання і передачі. Цифрові радіозасоби систем і мереж радіозв'язку мають працювати в режимі двочастотного симплексу або дуплексу.

Фрагмент комплексу інтермодуляційно сумісних частот для технологічних абонентів станцій

Призначення частот		Номер групи каналів					
		1 група			2 група		
		Частота, МГц	Номер каналу 25 кГц	Номер каналу 12,5 кГц	Частота, МГц	Номер каналу 25 кГц	Номер каналу 12,5 кГц
Мережі станційного радіозв'язку для технологічних абонентів	Пункт технічного огляду	151,950	10	219	152,375	27	253
	Станційний технологічний центр	152,025	13	225	152,400	28	255
	Охорона	152,125	17	233	152,800	44	287
	Пункт комерційного огляду	152,175	19	237	152,475	31	261
	Працівники ШЧ	152,500	32	263	152,675	39	277
	Вантажний двір	152,700	40	279	152,625	37	273

Відмінності в параметрах передачі радіостанцій з різним частотним рознесенням каналів призводять до погіршення якості приймання в спільному каналі. Неузгодженість амплітудно-частотної характеристики приймача радіостанцій з характеристиками випромінюваного сигналу призводить до порушення нормальних амплітудних і фазових співвідношень у спектрі сигналу, що приймають. У цьому випадку

яка визначає ступінь асиметрії спектру на вході детектора.

Зменшення девіації частоти сигналів, що надходять від передавачів радіостанцій з рознесенням 12,5 кГц, знижує вихідну потужність сигналу приймача радіостанції з рознесенням 25 кГц.

Відповідно до ДСТУ 4184:2003 розрізняються характеристики випромінюваного сигналу. У табл. 3

приймання сигналів у приймачах з вузькою смугою пропускання може супроводжуватися появою нелінійних спотворень. А це викликає не тільки зниження розбірливості мови, але і при певних рівнях припинення приймання інформації через вимикання шумоподавлювачем тракту низької частоти, що реагує на зростання рівня шумів у каналі. Характер спотворень залежить від різниці між частотами f_0 и f_p , наведено основні характеристики випромінювання і вибіркості радіозасобів. Номінальне значення ширини смуги пропускання приймачів приймається на рівні мінус 6 дБ і має бути встановлено в ТУ на радіостанції конкретного типу в межах від 14,5 до 22 кГц, тобто не унормовано так жорстко, як характеристики випромінювання.

Основні характеристики випромінювання і вибіркості радіозасобів

Основні електричні параметри передавача			
Параметр	Значення параметра при номінальній частотній рознесеності між сусідніми каналами, кГц		
	12,5	20	25
1. Максимально допустима девіація частоти, кГц, у межах ¹⁾	±2,50	±4,00	±5,00
2. Відхилення частоти передавача від номінального значення, кГц, у межах, у смузі частот:			
до 47 МГц	±0,600	±0,600	±0,600
від 47 до 137 МГц	±1,00	±1,35	±1,35
від 137 до 300 МГц	±1,00 (Б) +1,50	±2,00	±2,00
від 300 до 500 МГц	±1,00 (Б) ±2,00 (М)	±2,00	±2,00
від 500 до 1000 МГц	±2,5	±3,00 (М)	±3,00 (М)
3. Ширина смуги частот випромінювання передавача, кГц, не більше, для смуги модульованих частот від 300 до 3000 Гц (від 300 до 3400 Гц) на рівнях:			
мінус 30 дБ - контрольне	11,8 (12,2)	16,00 (16,80)	
мінус 40 дБ	12,1 (12,6)	21,90 (23,10)	
мінус 50 дБ	17,2 (18,1)	27,10 (28,80)	
мінус 60 дБ	22,6 (23,9)	32,90 (35,20)	
Основні електричні параметри приймача			
1. Вибірковість приймача за сусідніми каналами, дБ, не менше	50,00 (60,00) ¹⁾	60,00 (70,00) ¹⁾	60,00 (70,00) ¹⁾
2. Вибірковість приймача за побічними каналами, дБ, не менше	65,00(700,00) ¹⁾		
3. Максимальна чутливість приймача, мкВ, не більше:			
- для мови	4 (2) ¹⁾		
- даних	2,8 (1,4) ¹⁾		
4. Інтермодуляційна вибірковість приймача від завад, дБ, не менше:			
- для базових (Б) станцій	65,00 (70,00) ¹⁾		
- рухомих станцій (М)	60,00 (65,00) ¹⁾		
5. Погіршення чутливості в дуплексному режимі, дБ, не більше	3,0		
6. Коефіцієнт помилок за бітами	10 ⁻⁴		

Примітка. ¹⁾ При нормальних кліматичних умовах і номінальній напрузі живлення.

На графіках рисунка показано характеристики випромінювання сигналів з різними параметрами девіації частоти і каналного рознесення сигналів. Крива 1 відповідає характеристиці випромінювання при рознесенні каналів 12,5 кГц, а крива 2 – при

рознесенні каналів 25 кГц. Для порівняння показано характеристики випромінювання при рознесенні між робочими частотами 12,5 кГц.

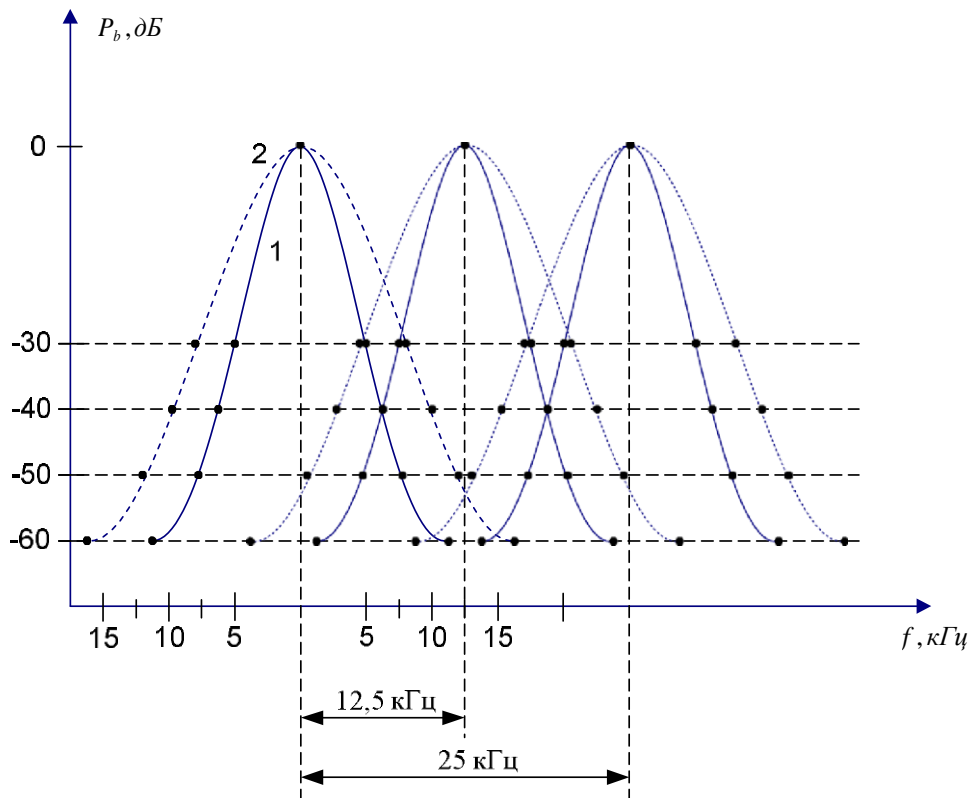


Рис. Характеристики випромінювання радіозасобів з різним частотним рознесенням каналів

Безпосередньо з аналізу випромінюваних сигналів на рисунку впливає можливість перекриття спектрів випромінюваних сигналів з кроком 25 і 12,5 кГц на сусідніх каналах. Для мінімізації взаємних впливів, що заважають між мережами різного призначення, не рекомендується використовувати номінали частот сусідніх радіочастотних каналів при кроці сітки частот 12,5.

Графіки дають уявлення про різницю характеристик випромінюваних сигналів при різній девіації частоти. При прийманні сигналів з більшою девіацією в приймачах з рознесенням 12,5 кГц нелінійні спотворення сильно залежать від відповідності частоти сигналу центральній частоті смуги пропускання тракту проміжної частоти. Ця обставина накладає більш жорсткі вимоги щодо точності установлення частот передавачів і приймачів і зобов'язує постійно контролювати їх у процесі сумісної експлуатації.

У цілому спостерігається високий рівень розбірливості мови при роботі радіозасобів з різним частотним рознесенням, що можна пояснити двома причинами. По-перше, реальні мовні сигнали створюють девіацію частоти в передавачі істотно менше допустимої, тому спотворення сигналу будуть незначні. По-друге, збільшення коефіцієнта гармонік у

певних межах не має значного впливу на розбірливість мови, лише дещо підвищує поріг чутності внаслідок маскування, створюваного гармоніками корисного колювання.

При прийманні сигналів від радіостанцій з меншою девіацією частоти зниження вихідної напруги в цілому незначне, і вихідна потужність приймача зменшується не більш ніж на 15 %.

Для забезпечення електромагнітної сумісності радіомереж необхідно, щоб на вході приймачів рівні сигналів від радіостанцій, що заважають, не перевищували допустимого значення для цього виду впливів

$$U_{2зав} \leq U_{2зав.доп} \quad (1)$$

Блокування нормується в параметрах вибірконості, хоча є динамічним діапазоном співвідношення заважаючого та корисного сигналів. При збільшенні корисного сигналу може зрости і заважаючий. Тому допустимий рівень заважаючого сигналу в цьому випадку визначають як

$$U_{2зав.доп.(Бл)} = S_{n2} + \Delta S_2(\Delta f) + U_{2мін} \quad (2)$$

де $U_{2зав.дон(Бл)}$ – допустимий рівень заважаючого сигналу;

$S_{н2}$ – нормативне значення двосигнальної вибіркості по сусідньому каналу, дБ;

$\Delta S_2(\Delta f)$ – додаткове збільшення двосигнальної вибіркості при збільшенні частотного рознесення між каналами, дБ;

U_{2min} – мінімальний рівень корисного сигналу, прийнятий у радімережі, дБ.

За нормативними показниками стандарту [5], дещо погіршується забезпечення умов ЕМС для радіозасобів з рознесенням 12,5 кГц. Вибірковість по сусідньому каналу при кроці сітки частот 12,5 кГц складає 50 дБ, а для кроку 25 кГц – 60 дБ. Зменшення вибіркості по сусідньому каналу потребує збільшення територіального та частотного рознесення між антенами радіостанцій. Збільшення показника двосигнальної вибіркості на 10 дБ досягається приблизно при збільшенні частотного рознесення каналів на 150 – 200 кГц.

Для ділянок змінного струму просторове рознесення антен стаціонарних радіостанцій при роботі на сусідніх каналах при $U_{2min} = 14 \text{ дБмкВ}$ становить $r_{np} = 570 \text{ м}$, а на ділянках з постійним струмом у результаті зменшення прийнятого рівня корисного сигналу $U_{2min} = 8 \text{ дБмкВ}$ просторове рознесення зростає до $r_{np} = 850 \text{ м}$.

При конкретному частотно-територіальному плануванні вирішення питань забезпечення електромагнітної сумісності між радіостанціями з різним частотним рознесенням каналів може бути здійснено на основі розрахунків умов ЕМС за методикою [1] при відповідних параметрах вибіркості.

Висновки

1. Запровадження каналної сітки частот з рознесенням 12,5 кГц створює низку організаційно-технічних питань розподілу, створення та спільної роботи радіозасобів.

2. Розроблено пропозиції з нумерації, розподілу та використання радіочастот у скорегованому частотному плані.

3. Запропоновано накладений метод присвоєння радіочастот, при якому всі значення номіналів непарних частот каналів збігаються, що дає змогу в перехідний період зберегти нормативні документи з призначення робочих частот каналів і спростити забезпечення електромагнітної сумісності. При цьому забезпечується збереження умов ЕМС при відповідному виборі робочих частот і дальності

радіозв'язку при частковому використанні існуючої інфраструктури.

4. Робота в спільному каналі радіостанцій з різною дев'ятию частоти може бути врегульована за рахунок корегування амплітудно-частотних характеристик тракту приймання.

Список використаних джерел

1. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058. Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.
2. План використання радіочастотного ресурсу України: затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.2006 р. № 815. Бюлетень Національної комісії з питань регулювання зв'язку України. Київ, 2006. № 6. 174 с.
3. Приходько С. І., Єлизаренко А. О. Перехід залізничного технологічного радіозв'язку на каналну сітку частот з кроком 12,5 кГц. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДУЗТ, 2021. № 3 (додаток). С. 2-3.
4. Про впровадження каналної сітки радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону: рішення НКРЗІ № 411 від 19.10.2006 р. URL: <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=122&id=3876&language=uk>.
5. ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. Київ, 2003. 50 с.
6. Гончаренко В. І., Карлін В., Медведєв Я. Єдина платформа для організації цифрового технологічного радіозв'язку стандарту DMR. *Українська залізниця*. 2018. № 1-2. С. 20-26.
7. Ваванов К. Ю. Вибір перспективної технології для побудови мереж цифрового радіозв'язку. *Українська залізниця*. 2018. № 1-2. С. 16-19.
8. Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part 1. DMR AIR Interfase hrotocol – France. ETSI, 2007. 172 с.
9. Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Оріон РВ-4», «Оріон РС-6». Київ, 2008. 207 с.

Prykhodko Sergii, Yelizarenko Andrii.
Peculiarities of joint operation of radio stations with different frequency diversity of the channel frequency grid.

Abstract. The existing networks of railway technological radio communication of the meter range of radio waves are built on the basis of radio equipment with a diversity of adjacent channels of 25 kHz. In the transition period, it is

necessary to ensure the joint operation of various radio equipment when introducing radio equipment with a frequency channel grid step of 12.5 kHz.

The paper proposes a unified numbering of channel assignments of radio networks based on the principle of superimposed frequency grid. This allows you to use all current regulatory documents on the distribution of channels between different services, the selection of intermodulation compatible frequencies for networks of various purposes based on the channel compatibility table. At the same time, the frequencies of all odd channel numbers in different numbering systems will match.

In radio communication channels, when transmitting signals with a maximum deviation of 5 kHz and in receivers with a frequency difference of 12.5 kHz, there is a discrepancy between the radiation parameters and the bandwidth of the receiver. When the nominal frequencies of transmission and reception differ, nonlinear distortions increase, which leads to a decrease in speech intelligibility. When transmitting signals in the reverse direction, the reception volume deteriorates in receivers with a channel separation of 25 kHz. Studies have shown that when radio stations with different frequency deviations work together, satisfactory conditions can be ensured by adjusting the amplitude-frequency characteristics of the transmission and reception paths.

When using radio stations with a channel spacing of 12.5 kHz, the conditions for ensuring electromagnetic compatibility deteriorate somewhat. But with the appropriate choice of operating frequencies, the preservation of the conditions of electromagnetic

compatibility and radio communication range is ensured, with partial use of the existing infrastructure.

Keywords: railway technological radio communication, frequency diversity of channels, electrical characteristics of radio equipment, conditions of joint work.

Надійшла 06.04.2023 р.

Приходько Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: tz@kart.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>.

Єлізаренко Андрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: elizarenko1@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>.

Prykhodko Sergii, Doctor of sciences (engineering), Professor, chief of department of transport communication, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv. E-mail: tz@kart.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>.

Yelizarenko Andriy, Associate Professor of transport communication department, Candidate of Techn. Sciences, PhD, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: elizarenko1@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>.