

ЄЛІЗАРЕНКО А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

ДЕЙНЕГА Т. С., аспірант (УкрДУЗТ),

ЄЛІЗАРЕНКО І. О., провідний інженер Північно-східної філії УДЦР



Організація поїзного радіозв'язку на ділянках зі швидкісним рухом пасажирських поїздів

Запровадження швидкісного руху пасажирських поїздів є основним напрямом розвитку залізничних пасажирських перевезень. В Україні ще в 2005 році була схвалена Державна Програма впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. Зараз забезпечена організація руху зі швидкостями до 160 км/год, що дозволено в умовах суміщеного руху вантажних і пасажирських поїздів на реконструйованих ділянках залізниць. Це дало змогу організувати швидкісний рух денних експресів між великими містами зі скороченням часу поїздки до комфортних значень.

На ділянках швидкісного руху висувують вимоги до підвищення надійності та організації безперервного зв'язку в межах диспетчерських ділянок. Мережа поїзного радіозв'язку має працювати в дуплексному режимі з використанням цифрових радіотехнологій. Для реалізації додаткових вимог у роботі розроблені технічні пропозиції з організації на діючих ділянках залізниць лінійної дуплексної цифрової радіомережі на основі стандарту DMR.

Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, швидкісний рух, надійність радіоканалу, запровадження стандарту DMR.

Вступ

Упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів є світовим трендом для залізничного транспорту. Зараз по всьому світу організовано понад 45 тис. км залізниць зі швидкісним рухом. Міжнародний союз залізниць відносить до швидкісного руху траси, на яких забезпечується швидкість руху 160-200 км/год для модернізованих ліній і більше 200 км/год – для спеціально побудованих.

В Україні на державному рівні була затверджена Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів. Метою програми є впровадження швидкісного руху на основних залізничних напрямках [1].

Сучасна інфраструктура залізниць – колії, контактна мережа, електропостачання, телекомунікаційні системи та мережі рухомого радіозв'язку – в умовах швидкісного руху потребує певної модернізації, при цьому поїзний радіозв'язок (ПРЗ) має бути дуплексним [1, 2].

Виходячи з численних публікацій останніх років [3, 4], проблематика організації швидкісного руху на залізницях України залишається актуальною. Вийшла навіть публікація з теоретичних основ впровадження швидкісного руху на залізницях України, яка певною мірою узагальнює світовий досвід [5]. Основну увагу в роботах приділено модернізації колійного господарства та питанням техніко-економічного обґрунтування модернізації залізниць для умов швидкісного руху [4, 5]. Проте недостатньо робіт із модернізації інших об'єктів інфраструктури: електропостачання, засобів автоматики і телекомунікаційних мереж. Зокрема, значної модернізації потребують засоби поїзного радіозв'язку. У сучасних системах поїзного радіозв'язку використано аналогові радіозасоби, і працюють вони в симплексному режимі. Системи рухомого радіозв'язку на ділянках зі швидкісним рухом мають бути дуплексними і цифровими [2]. Але роботи з таких питань практично відсутні.

Постановка проблеми

©ЄЛІЗАРЕНКО А. О., ДЕЙНЕГА Т. С., ЄЛІЗАРЕНКО І. О., 2025

Розроблення технічних пропозицій з організації комплексу цифрових дуплексних мереж поїзного радіозв'язку на ділянках залізниць зі швидкісним рухом пасажирських поїздів.

Основні результати

Поїзний радіозв'язок відіграє важливу роль в удосконаленні управління рухом поїздів і підвищенні безпеки. За вимогами Правил технічної експлуатації залізниць, усі ділянки залізниць мають бути обладнані лінійними і зонними симплексними мережами поїзного радіозв'язку. Лінійні мережі нині організують на основі радіозасобів гектометрового діапазону радіохвиль, які мають обмежені можливості організації зв'язку. У лінійній мережі гектометрового діапазону організують радіозв'язок поїзного диспетчера з машиністами локомотивів і черговими по станціях, які входять у диспетчерське коло.

Зонні мережі ПРЗ вирішують питання радіозв'язку з абонентами, які розосереджені вздовж перегонів (машиністи між собою, ремонтні бригади, чергові по станціях) і працюють у метровому діапазоні радіохвиль.

Зонні мережі ПРЗ можуть забезпечити лише часткове резервування каналів для зв'язку черговий по станції – машиніст. У той же час лінійна мережа диспетчерського зв'язку з машиністами локомотивів у гектометровому діапазоні залишається нерезервованою.

Ділянки зі швидкісним рухом поїздів мають бути обладнані поїзним дуплексним радіозв'язком, причому дуплексні мережі слід реалізовувати на основі цифрових стандартів радіозв'язку [2].

Для реалізації вимог швидкісного руху у статті запропоновано резервування лінійної диспетчерської мережі шляхом створення додаткового дуплексного радіоканалу.

Аналіз показав, що з використанням одиночного радіоканалу неможливо забезпечити високу надійність функціонування мережі ПРЗ за вимогами відповідальних систем [6].

З дублюванням лінійної мережі ПРЗ, зважаючи на розрахункову надійність радіоканалу по полю 0,9-0,95, можна забезпечити інтегральну надійність до 0,999.

Комплексний показник безвідмовної роботи мережі включає надійність технічних засобів P_{mz} і показник надійності радіоканалу по полю P_{pc} і залежить від кратності резервування k . В умовах рухомого залізничного технологічного радіозв'язку необхідно забезпечити розрахункову надійність

безвідмовної роботи одиночного радіоканалу не гірше 0,9-0,95 [7, 8].

Імовірність безвідмовної роботи каналу радіозв'язку P_k можна розрахувати за формулою

$$P_k = 1 - (1 - P_{mz} \cdot P_{pc})^k,$$

де P_{mz} – імовірність безвідмовної роботи технічних засобів, за високої надійності сучасних радіозасобів можна прийняти 0,998;

P_{pc} – розрахункова ймовірність надійності радіоканалу по полю, може складати 0,9-0,95;

k – кратність резервування технічних засобів.

Результати розрахунку для різної надійності радіозв'язку по полю наведені в таблиці.

Надійність резервованих систем

P_{mz}	P_{pc}	P_k у разі кратності резервування $k = 1$	P_k у разі кратності резервування $k = 2$	P_k у разі кратності резервування $k = 3$
0,998	0,950	0,9481	0,9978	0,9998

Реалізація пропозицій із впровадження резервованої цифрової лінійної мережі ПРЗ на такій ділянці дасть змогу виконати вимоги до організації швидкісного руху пасажирських поїздів.

Стандарт DMR забезпечує більшу наступність і сумісність з сучасними аналоговими системами та полегшує проведення модернізації радіомереж [9, 10].

Використовуючи радіоблагоднання стандарту DMR на мережах залізничного радіозв'язку, можна досягти:

- підвищення якості і надійності каналу радіозв'язку;

- можливості переведення лінійної мережі поїзного радіозв'язку з діапазону 2 МГц у діапазон 160 МГц (зменшення рівня радіозавад, експлуатаційних витрат);

- забезпечення функціонування технологічного радіозв'язку в умовах високого рівня завад на сучасних видах залізничного рухомого складу з асинхронним приводом;

- блокування несанкціонованого виходу в ефір із можливістю встановлення місцезнаходження недозволеного радіобладнання;

- впровадження індивідуального та аварійного виклику абонентів;

- організації додаткового каналу передавання даних;

- запровадження системи керування, адміністрування та моніторингу.

На рис. 1 зображено пропонований комплекс мереж, які мають бути організовані на ділянках швидкісного руху.

В умовах суміщеного руху необхідно, щоб були чинними мережі поїзного радіозв'язку в гектометровому та метровому діапазонах. У гектометровому діапазоні стаціонарні радіостанції розташовані вздовж перегону та підключені до розпорядчої станції диспетчера проводимим каналом, а енергія радіохвиль передається за рахунок напрямних ліній уздовж перегонів.

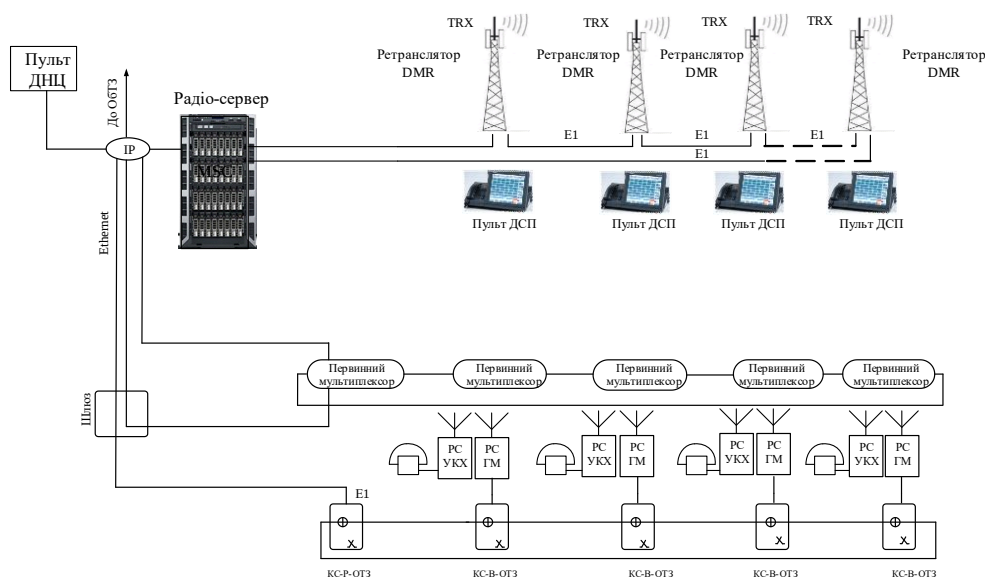


Рис. 1. Комплекс мереж технологічного радіозв'язку

У статті розроблені пропозиції з організації додаткової лінійної дуплексної мережі диспетчерського зв'язку з використанням радіотехнології DMR.

Завдяки часовому розподілу каналів у стандарті DMR можуть бути створені два канали передавання інформації на одній несівній частоті, один для передавання мови, другий для передавання даних. Через другий канал можливе передавання наказів диспетчера та приймання повідомлень від машиніста локомотива, інформації про стан рухомого складу та ін.

Суттєвим недоліком симплексної лінійної мережі ПРЗ є відсутність безперервності зв'язку з переміщенням рухомих абонентів із зони дії різних стаціонарних радіостанцій. З переходом у зону дії іншої радіостанції необхідно здійснити процедуру виклику і встановлення з'єднання. Це потребує значного часу, що недопустимо в умовах швидкісного руху.

На сьогодні у світі всі стандарти рухомого зв'язку використовують функцію Handover (з рук до рук), але з різними технічними особливостями реалізації. Таку функцію мережі рухомого радіозв'язку називають естафетним передаванням абонентського термінала, що обслуговують, або передаванням обслуговування абонентського термінала із зони в зону.

У дуплексній мережі необхідно забезпечувати функції безперервності зв'язку під час руху абонента.

У дуплексній мережі ПРЗ реалізація хендвера спрощена завдяки лінійному розташуванню обмеженої кількості стаціонарних радіостанцій. У лінійній мережі можна використовувати три робочі частоти з чергуванням каналів, як f_1 , f_2 , f_3 . Вибір робочої частоти з переміщенням локомотива, на нашу думку, можливий за ініціативи мобільної радіостанції зі зниженням рівня корисного сигналу нижче допустимого.

Для організації дуплексного режиму необхідно забезпечити значне частотне рознесення між смугами передавання та приймання. У стандарті DMR дуплексне рознесення для смуги 160 МГц не встановлене. Але в літературі вважають достатнім інтервал 4 – 5 МГц для роботи репітерів, які виконують функції стаціонарних радіостанцій цифрових мереж ПРЗ.

Чинний частотний план Технологічного радіозв'язку передбачає організацію дуплексного режиму ПРЗ за певного вибору несівних частот.

За цим планом, можна забезпечити дуплексне рознесення каналів у смугах частот 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц. Такий підхід дає змогу забезпечити впровадження цифрових радіозасобів у перехідний період, використовуючи наявні аналогові мережі.

Ураховуючи виділені смуги в метровому діапазоні радіохвиль, можна забезпечити умови електромагнітної сумісності репітерів. При цьому верхні частоти вибирають зі смуги 155,500 – 156,000 МГц. Вибираючи такі верхні робочі частоти, не утворюються інтермодуляційні завади вигляду $2f_1 - f_2 = f_{роб}$, які розташовані на більш низьких частотах. Нижні частоти вибирають зі смуги 151,725 – 152,250 МГц, оскільки, починаючи з частоти 152,275 МГц, канали використовують абоненти технологічних мереж станційного радіозв'язку.

У режимі двочастотного симплексу для стаціонарних радіостанцій вибирають частоти передавача з верхньої смуги частот, як прийнято в стільникових мережах рухомого радіозв'язку. Вozимі і носивні радіостанції передають сигнали на частотах, вибраних із нижньої смуги частот.

Необхідно врахувати одночасну роботу зонних мереж ПРЗ метрового діапазону і дуплексних лінійних мереж із використанням спільних антен.

Для підключення декількох передавачів до антени метрового діапазону необхідно використовувати комбайнери. У зв'язку з цим слід ураховувати згасання, які вносять додаткові елементи антенно-фідерних систем.

У локомотивних радіостанціях складніше забезпечити умови ЕМС, тому вони можуть працювати в режимі двочастотного симплексу. Фактично можна використовувати напівдуплексний режим роботи диспетчерської мережі поїзного радіозв'язку: стаціонарні радіостанції працюють у дуплексному режимі, а возимі – режимі двочастотного симплексу.

Необхідна величина рознесення залежить від типу використовуваних фільтруючих пристроїв (дуплексних фільтрів). На одній стаціонарній (базовій) станції номінали частот, що використовують, визначені виходячи з умови забезпечення ЕМС.

Отже, на ділянці зі швидкісним рухом пасажирських поїздів мають бути організовані три мережі поїзного радіозв'язку: основна дуплексна цифрова лінійна мережа на основі радіозасобів стандарту DMR в метровому діапазоні радіохвиль; резервна симплексна лінійна мережа гектометрового діапазону; зонна мережа поїзного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль.

За таких умов локомотивні радіостанції мають бути тримодовими. Пропонована структурна схема локомотивної радіостанції наведена на рис. 2.

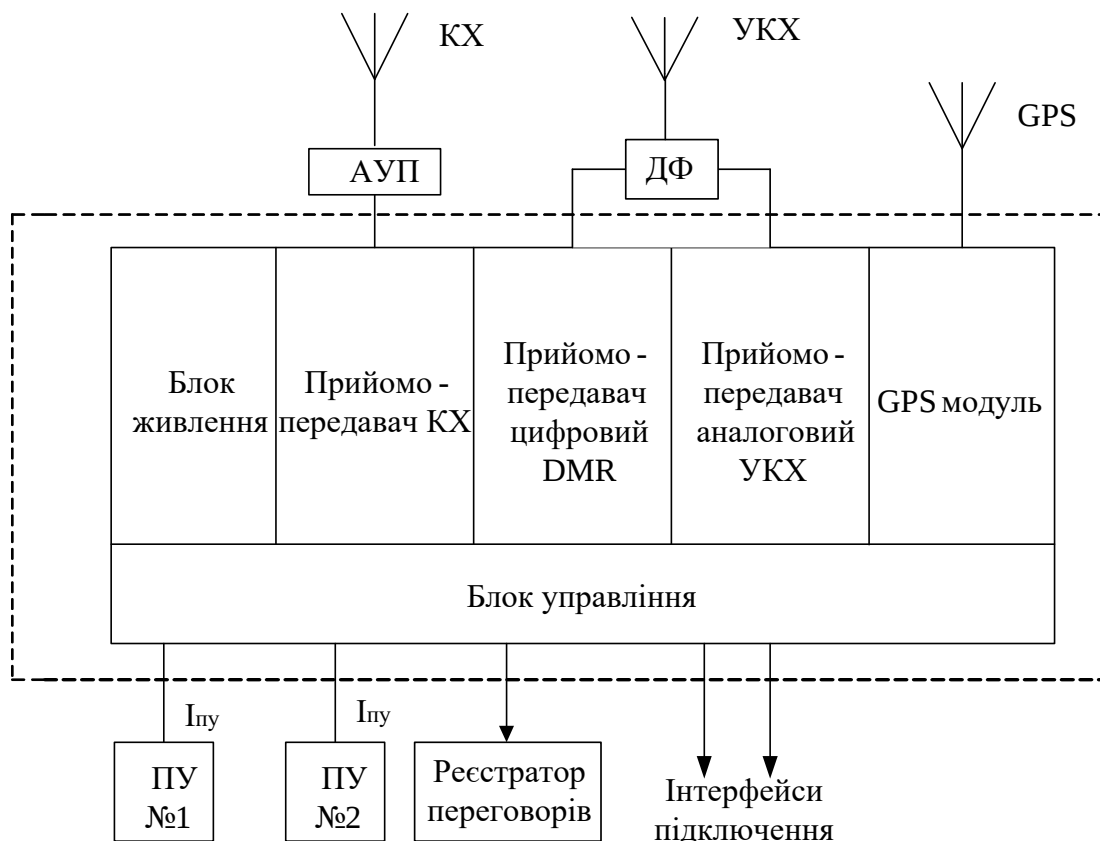


Рис. 2. Структурна схема локомотивної радіостанції ПРЗ

Структурна схема містить три прийомопередавачі з відповідними антенно-фідерними пристроями. При цьому передавач гектометрового діапазону працює як резервний у лінійній мережі ПРЗ. Основний дуплексний лінійний канал організовано на базі радіозасобів стандарту DMR.

Впровадження цифрової дуплексної мережі поїзного диспетчера дає змогу:

1. Підвищити надійність поїзного радіозв'язку за рахунок дублюючої лінійної системи ПРЗ.
2. Створити додатковий канал передавання даних у системі поїзного радіозв'язку за рахунок наявності другого часового інтервалу в системі DMR.
3. Підвищити оперативність передавання інформації за рахунок забезпечення безперервності зв'язку в лінійному каналі.
4. Підвищити якість зв'язку в цифровому каналі з кодуванням мови.
5. Підвищити адресність передавання інформації за рахунок індивідуального і аварійного викликів.

Отже, реалізація пропозицій із впровадження резервованої цифрової лінійної мережі ПРЗ на такій ділянці дає змогу виконати вимоги щодо організації швидкісного руху пасажирських поїздів.

Висновки

1. Цифровий стандарт DMR спеціально адаптований для поступової модернізації сучасних аналогових мереж.
2. Може бути забезпечена можливість поетапного впровадження, що вирішує першочергові завдання і дасть змогу набути досвіду експлуатації цифрових радіозасобів.
3. Можна покращити якість зв'язку в цифровому радіоканалі за великих рівнів індустриальних радіозавод на локомотиві.
4. Використовуючи одиночні радіоканали поїзного радіозв'язку, не можна забезпечити високу надійність на рівні вимог до відповідальних систем, тому запропоновано дублювання лінійних мереж на основі впровадження цифрових радіозасобів.
5. Для забезпечення дуплексного режиму роботи запропоновано вибір пар частот із необхідним дуплексним рознесенням.

6. Упровадження систем стандарту DMR дасть змогу розширити функціональні можливості ПРЗ за рахунок використання другого часового інтервалу для передавання інформації з адміністрування, моніторингу, діагностування мереж.

Yelizarenko Andriy, Deineha Taras, Yelizarenko Ihor. Organization of train radio communication on sections with high-speed passenger train traffic

Список використаних джерел

1. Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2004-2015 роках. Державна адміністрація залізничного транспорту України. Київ, 2004. 43 с.
2. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку: затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 24.09.2007 р. № 452-Ц. Київ, 2007. 45 с.
3. Оцінювання перспектив впровадження швидкісного руху на залізничних магістралях України / А. О. Ковальов, О. О. Шапатіна, К. В. Кім та ін. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2023. Вип. 205. С. 122-131.
4. Лук'янова О. М. Сучасний стан та перспективи розвитку мережі швидкісних залізничних магістралей в Україні в умовах Євроінтеграції. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2018. № 20. С. 107-110.
5. Дейнека О. Г., Юрченко Є. Теоретико-концептуальні засади формування інфраструктурної системи швидкісних залізничних магістралей. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2017. № 59. С. 52-61.
6. Єлізаренко А. О., Єлізаренко І. О. Особливості впровадження сучасних цифрових радіотехнологій на мережах зв'язку залізниць. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 1. С. 10-16.
7. Єлізаренко А. О. Забезпечення необхідної надійності функціонування каналів залізничного технологічного радіозв'язку. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 1. С. 41-47.
8. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058. Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.
9. Гончаренко В. І., Карлин В., Медведев Я. Єдина платформа для організації цифрового технологічного радіозв'язку стандарту DMR. *Українська залізниця*. 2018. № 1-2. С. 20-26.
10. Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part1. DMR AIR Interface protocol. France. ETSI, 2007. 172 с.

Abstract. The introduction of high-speed passenger trains is the main direction of development of railway passenger transportation. In Ukraine, the State Program for the Introduction of High-Speed Passenger Trains was approved back in 2005. The first stage of implementation is now being implemented, the organization of traffic at speeds up to 160 km/h, which is allowed in the conditions of combined traffic of freight and passenger trains on reconstructed railway sections. This made it possible to organize high-speed daytime express traffic between large cities while reducing travel time to comfortable values.

On high-speed sections, requirements are imposed for increasing reliability and organizing continuous communication within dispatching sections. The train radio communication network must operate in duplex mode using digital radio technologies. To implement additional requirements, technical proposals have been developed in the work on the organization of a linear duplex digital radio network on operating railway sections based on the DMR standard.

The DMR digital standard is specially adapted for the gradual modernization of existing analog networks. It is possible to gradually introduce systems that solve the priority tasks and will allow to gain experience in the operation of digital radio equipment. Improving the quality of communication in a digital radio channel, with high levels of industrial radio interference on the locomotive

When using single radio channels of train radio communication, it is impossible to ensure high reliability at the level of requirements for high-responsibility systems, therefore, duplication of linear networks based on the introduction of digital radio equipment is proposed. To ensure duplex operation, it is proposed to select frequency pairs with the necessary duplex diversity. The introduction of such systems will allow to expand the functionality of the PRZ by using the second time interval for transmitting information on administration, monitoring, and diagnostics of networks.

Keywords: railway technological radio communication, high-speed traffic, radio channel reliability, introduction of the DMR standard.

Єлізаренко А. О., к. т. н., доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: elizarenko1@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>.

Yelizarenko Andriy, Associate Professor of «Transport connection» 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>.

Дейнега Т. С., аспірант кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

Deineha Taras, postgraduate student of «Transport connection» Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Єлізаренко І. О., провідний інженер Північно-східної філії Українського державного центру радіочастот. E-mail: elizarenko1@ukr.net.

Yelizarenko Ihor, Northeast Branch Ukrainian State Centre of Radio Frequencies, Leading engineer. E-mail: elizarenko@ucrf.gov.ua.