

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

Модернізація мереж поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону

Впровадження мереж рухомого радіозв'язку на залізницях України розпочалося на початку 50-х років минулого століття на основі радіозасобів гектометрового діапазону радіохвиль. Використовуючи направляючі лінії, радіозасоби КХ діапазону забезпечують необхідну дальність в умовах експлуатації. На цей час їх використання не відповідає сучасному розвитку цифрових радіотехнологій і додаткових сервісів у мережах поїзного радіозв'язку. Збереження в лінійних системах радіозасобів гектометрового діапазону є анахронізмом, і їх використання недоцільне в подальшому, бо стримує запровадження цифрових мереж.

Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, направляючі лінії, дальність радіозв'язку, модернізація мереж ПРЗ.

Вступ

Використання радіозасобів гектометрового діапазону (ГМ) на залізницях розпочалося на початку 50-х років після розроблення першої залізничної радіостанції ЖР-1. Згідно з частотним планом, діапазон гектометрових радіохвиль 0,3-3,0 МГц призначений разом з іншими застосунками для організації каналів рухомого радіозв'язку морської та повітряної служб і застосування в мережах технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті [1]. Використання ГМ діапазону було виправдано, тому що відповідали рівню розвитку радіотехнічних засобів того часу, а перші радіостанції ультракороткохвильового діапазону (УКХ) ЖР-5 розроблена лише в 1958 році [2].

Поїзний радіозв'язок (ПРЗ) на залізницях організований у гектометровому діапазоні радіохвиль у лінійних мережах і метровому діапазоні для зонних мереж. І на сьогодні канали гектометрового діапазону є основними в системі поїзного диспетчерського зв'язку машиністів локомотивів із поїзним диспетчером і черговими по станції [3].

За теорією випромінювання електромагнітних хвиль, ефективні антени повинні мати довжину не менше $\frac{\pi}{4}$. Для УЗ використовують частоти 2,13 і 2,15 МГц із довжиною хвилі близько 141 м, тоді довжина лінійної антени складає 35 м.

У діапазоні гектометрових радіохвиль коефіцієнт корисної дії стаціонарних антен для висоти підвісу 20-30 м досягає 30-55 %, а коефіцієнт корисної дії локомотивних антен через обмежену довжину – лише 2-4 %.

У мережах ПРЗ антени носимих радіостанцій гектометрового діапазону не використовують через великі розміри [2, 4].

Основні положення організації лінійних мереж ПРЗ унормовані в Правилах організації і розрахунку мереж ПРЗ та інших нормативних документах [5, 6].

Таке рішення було виправдано на початку 50-х років минулого сторіччя, тому що в цьому діапазоні були освоєні радіотехнології і розпочато виробництво залізничних радіозасобів. На сьогодні таке рішення не є адекватним сучасному стану радіотехнологій. У цьому діапазоні неможливо впроваджувати цифрові технології та організувати дуплексний режим роботи, що спрощує організацію хендверу і забезпечує безперервність радіоканалу з переміщенням уздовж диспетчерської ділянки [7, 8].

У гектометровому діапазоні обмежена кількість радіоканалів і невисока завадозахищеність. Це потребує використання направляючих ліній поїзного радіозв'язку, для яких широко використовують лінії електропостачання. Ці лінії одночасно можна використовувати для живлення мікропроцесорних пристроїв систем автоматики. При цьому виникає вплив радіочастот на мікропроцесорні пристрої, що може вплинути на надійність функціонування [9].

Свого часу використання радіозасобів ГМ діапазону було виправдано за рахунок можливості організації радіоканалів у складних умовах, тунелях залізниць, використання в локальних зонах спрощувало забезпечення ЕМС у лінійних мережах [10].

Такий довгий термін застосування застарілих радіостанцій не відповідає сучасному стану розвитку систем рухомого радіозв'язку і затримує впровадження сучасних цифрових мереж у системах автоматизованого керування рухом поїздів [11, 12]. Це недоцільно і в подальшому, бо затримує впровадження сучасних цифрових радіозасобів.

© СЛІЗАРЕНКО А. О., 2026

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Постановка проблеми

Аналіз функціонування мереж ПРЗ гектометрового діапазону та розроблення рекомендацій із їх модернізації.

Основні результати

Поїзний радіозв'язок на залізничному транспорті призначений для оперативного зв'язку між машиністами поїзних локомотивів і працівниками, відповідальними за організацію руху: поїзним диспетчером, черговими по станціях у лінійних мережах і широким колом абонентів, розосереджених уздовж перегону в зонних мережах.

Лінійні мережі організовані вздовж всієї диспетчерської ділянки з використанням стаціонарних радіостанцій, які встановлені на проміжних станціях і з'єднані лінійним каналом із диспетчерським пунктом.

Увесь час лінійні мережі ПРЗ працюють у мінімально необхідні рівні корисних сигналів і дальність зв'язку залежно від виду тяги

гектометровому діапазоні радіохвиль. Зонні мережі організовані безпосередньо в зоні дії радіостанцій абонентів і працюють у метровому діапазоні.

На залізничному транспорті на ділянках електрифікованих залізниць за рахунок випромінювання радіохвиль із використанням антен дальність поїзного радіозв'язку обмежена [4, 5].

Дальність суттєво залежить від виду тяги. Для різних видів тяги дальність радіозв'язку та параметри сигналів наведена в таблиці.

Параметр мережі	Вид тяги		
	Тепловозна	Постійний струм	Змінний струм
$U_{2, \min}, \text{дБ}$	47	70	72
Дальність зв'язку, стаціонарні антени, одне навантаження, км	14	4,5	4,2
Дальність зв'язку, стаціонарні антени, два навантаження, км	11,5	3,5	3,2
Дальність зв'язку з використанням направляючих ліній, км	-	16,9	11,4
$U_{2, \min}, \text{мкВ}$	223	3150	3900

Для роботи зі стаціонарними антенами розрахункова дальність на ділянках із тепловозною тягою досягає 14 км, ділянка постійного струму – 4,5 км, змінного струму – 4,2 км. На ділянках з електротягою дальність суттєво зменшується і з електротягою змінного струму складає лише 4,2 км. Отже, за тепловозної тяги забезпечена необхідна дальність передавання сигналів. На електрифікованих ділянках дальність суттєво зменшується. Це в першу чергу пов'язано зі значними рівнями індустриальних радіозавод у цьому діапазоні. Значні рівні індустриальних радіозавод потребують підвищення рівня корисних сигналів за низької ефективності локомотивних антен. Так, на частоті 2,13 МГц мінімальний рівень сигналів гектометрового діапазону зростає на ділянках змінного струму 72 дБмкВ, або понад 3000 мкВ.

Тому в перший період застосування технологічний радіозв'язок гектометрового діапазону

використовували лише на станціях через обмежену дальність на електрифікованих ділянках.

Для забезпечення необхідної дальності радіозв'язку гектометрового діапазону було ухвалено рішення використовувати направляючі лінії для передавання високочастотної електромагнітної енергії радіохвиль, які проходять уздовж перегонів. Із цією метою підвішують спеціальні хвилеводні проводи. Також використовують високовольні проводи ліній електропостачання нетягових споживачів, які розташовані вздовж залізничних ліній. На ділянках змінного струму ефективним засобом передавання енергії радіохвиль є використання двопровідних несиметричних ліній ДПР, а на ділянках постійного струму трифазні високовольні лінії ВЛ 6, 10 кВ, проходження яких збігається з напрямком лінії. Із віддаленням ВЛ від колії більш ніж на 20 м необхідно на цій ділянці додатково використовувати хвилеводний провід. При цьому електромагнітна

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

енергія радіосигналів сконцентрована безпосередньо в зоні проходження проводів [3].

Використовуючи направляючі лінії, радіостанція може бути підключена безпосередньо через високовольтні конденсатори до ліній електропостачання або індуктивним способом через спеціальні схеми збудження. Схема високочастотного збудження двох проводів трипроводної

високовольтної лінії ВЛ 10 кВ наведена на рисунку. У проводах використано протифазне збудження і сформована міжпроводна хвиля, яка поширюється з меншим згасанням.

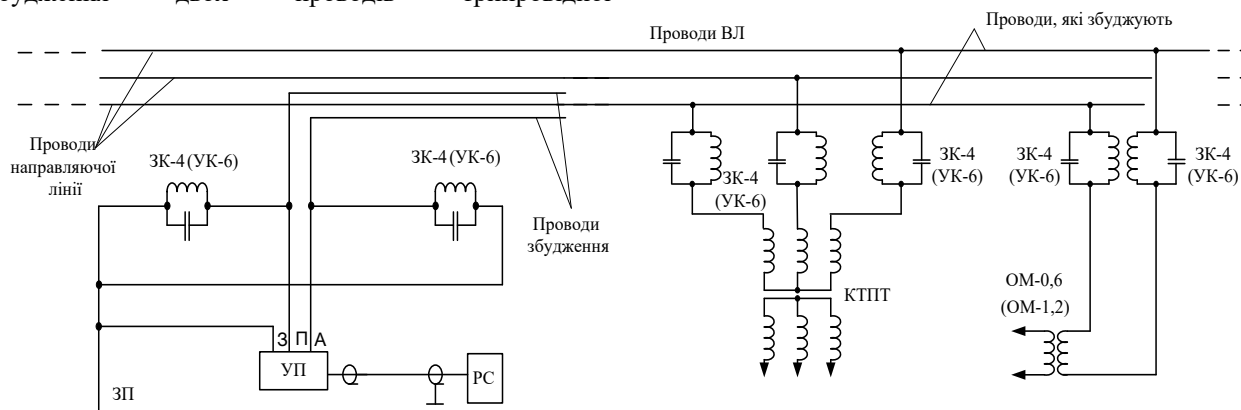


Рис. Схеми індуктивного збудження каналу ПРЗ і підключення силового обладнання

Із безпосереднім підключенням уся потужність передається в хвильоводний провід. Але частіше використовують індуктивний спосіб збудження. Для цього підвішують паралельно направляючій лінії збуджуючий провід довжиною 35-40 м на відстані від 0,6 м до 1 м від направляючої лінії, що виключає гальванічний зв'язок із високовольтними проводами. В усіх схемах із передаванням сигналів ураховують додаткові згасання в каналі передавання. Напряга радіосигналу в проводах направляючої лінії в зоні збудження становить близько 14,2 В.

Дальність радіозв'язку в каналах із направляючими лініями визначають з урахуванням усіх складових згасання за формулою [5]:

$$\Gamma = \frac{A_{\text{прд}} - U_{\text{мін}} - A_{\text{пер}} - \sum a_{\text{ст}} - \sum a_{\text{лін}} - \sum a_{\text{лок}}}{\alpha_c} \quad (1)$$

Повздовжнє згасання з передаванням сигналів радіозв'язку для однопроводного хвильоводу на відкритому повітрі складає 2,5 дБ, ліній ДПР 2,1 дБ, а ВЛ 10 кВ близько 2,2 дБ, що приблизно рівнозначно. Із використанням направляючих ліній дальність радіозв'язку зростає. Результати розрахунку з направляючими лініями наведені в таблиці.

На станціях із розвиненою колійною структурою необхідно використовувати підключення на два навантаження для віддаленої відстані від направляючих проводів. Використання двох навантажень призводить до зменшення реальної дальності зв'язку.

Цифри дальності в таблиці є максимальними за типових умов і в більшості випадків задовольняє необхідні дальності перегонів. У реальних умовах дальність може знижуватися з використанням ліній повздовжнього електропостачання за рахунок згасання, що вносять лінійні пристрої мережі енергозабезпечення.

На рисунку наведена схема індуктивного збудження високовольтної направляючої лінії ВЛ 10 кВ із підключенням силового обладнання.

До високовольтних ліній, по яких передають радіосигнал, підключені трифазні та однофазні трансформатори засобів живлення систем автоматики. Підключення силового обладнання призводить до збільшення згасання в тракті передавання радіосигналів, яке суттєво залежить від довжини проводів. Запираючі контури в кожному з проводів настроєні на частоту каналу ПРЗ і забезпечують зниження шунтуючої дії відгалужень.

Запираючий контур ЗК-4 виконаний за схемою паралельного контуру і містить котушку індуктивності з проводом 4 мм, який забезпечує пропускання струму живлення і конденсатор відповідної ємності. У схемах контурів використовують високовольтні керамічні конденсатори К15У-1/К15У-2 відповідної ємності. У процесі експлуатації під впливом метеорологічних факторів змінюється ємність конденсаторів, що призводить до розстроювання контуру та зниження його добротності і опору. При цьому зростає вплив підключених пристроїв на канал ПРЗ. Погіршення якості радіозв'язку свідчить про деградацію

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

запираючих контурів.

Зі зменшенням опору запираючих контурів у силових проводах живлення сигнали поїзного радіозв'язку можуть проходити у схеми живлення мікропроцесорних пристроїв СЦБ за принципом кондуктивних завад [9]. Це може призвести до створення небезпечних станів систем керування рухом поїздів.

Згідно з інструкцією [13], працівники дистанцій сигналізації та зв'язку і енергопостачання проводять періодичну перевірку стану загороджувачів, добротність яких має бути 100-120. Це збільшує експлуатаційні витрати на утримання мереж поїзного радіозв'язку і є ще одним фактором відмови від використання каналів гектометрового діапазону.

Із використанням радіозасобів гектометрового діапазону з направляючими лініями рельєф мало впливає на рівень сигналу і можливість організації каналів у залізничних тунелях.

Високовольтні лінії обходять тунелі або прокладають у кабелі і не використовують у тунелі. Хвильоводний провід можна безпосередньо використовувати в тунелі. Але з використанням однопровідного хвильовода в тунелі згасання зростає, і використовують двопровідні хвильоводи [10].

Наявність позитивних властивостей із використанням направляючих ліній радіомереж ПРЗ дозволила зберегти мережі ПРЗ ГМ до нашого часу. У цілому лінійні мережі ПРЗ ГМ задовольняють основні експлуатаційні вимоги для систем ПРЗ. Але комплекс негативних факторів використання гектометрового діапазону радіохвиль зберігається. Це не дає змогу реалізувати сучасні технічні рішення.

Відмова від мереж ГМ у системах керування рухом поїздів невідворотна, і виникає тільки питання, коли і яку технологію цифрового радіозв'язку УКХ діапазону необхідно вибрати.

Висновки

1. Впровадження засобів рухомого технологічного радіозв'язку на залізницях України розпочалося після розроблення першої залізничної радіостанції ЖР-1, яка працювала в гектометровому діапазоні радіохвиль.

2. Згідно з Частотним планом, для організації мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті виділені два канали з частотою 2,13 і 2,15 МГц у гектометровому діапазоні з довжиною радіохвилі близько 141 м.

3. Значна довжина хвилі коливань гектометрового діапазону потребує застосування протяжних лінійних антенних систем. Реалізація

ефективних компактних антен у ГМ-діапазоні є складною, особливо для мобільних і носимих радіозасобів у мережах рухомого радіозв'язку на залізничному транспорті. Коефіцієнт корисної дії локомотивних антен довжиною 7-12 м, встановленої на висоті 0,8-1,0 м над дахом локомотива, складає 3-4 %.

4. Значні рівні індустриальних радіозавод потребують підвищення рівня корисних сигналів для низької ефективності локомотивних антен. Так, у робочому діапазоні 2,13 МГц на ділянках, електрифікованих змінним струмом, мінімальний рівень сигналів ГМ діапазону складає 72 дБмкВ, або понад 3000 мкВ.

5. Дальність передавання в каналі ПРЗ гектометрового діапазону з використанням стаціонарних антен складає на ділянках змінного струму лише 4,2 км, що не задовольняє вимоги ПТЕ.

6. Використовуючи направляючі лінії, хвильоводний провід або кольорові проводи повздовжнього електропостачання, дальність на ділянках змінного струму зростає до 11,4 км.

7. Системи збудження високочастотних сигналів у проводах високовольтних ліній 6,10 кВ створюють напругу 14,2 В. Для зменшення впливу на характеристики радіосигналів пристрої живлення автоматики підключають до проводів високовольтної лінії через запираючі контури.

8. Із деградацією властивостей запираючих контурів проникнення сигналів поїзного радіозв'язку викликає погіршення якості зв'язку та може створити небезпечне джерело електромагнітних завад для мікропроцесорних засобів автоматики, напруга яких перевищує прийняті в стандартах норми стійкості до кондуктивних завад (10 В).

9. Із використанням направляючих ліній зростають експлуатаційні витрати.

10. Із використанням радіозасобів УКХ діапазону дальність радіозв'язку може становити для ділянок з автономною тягою до 26 км, на ділянках постійного струму – до 15,6 км а ділянках змінного струму – до 11,8 км, що відповідає вимогам організації мереж у межах перегонів залізниць. Це є переконливим аргументом на користь впровадження лінійних мереж ПРЗ в УКХ діапазоні.

11. Організація лінійних мереж ПРЗ в УКХ діапазоні дає змогу забезпечити виконання умов дальності радіозв'язку і впровадження сучасних цифрових мереж у дуплексному режимі, хендовер та інші сервіси цифрових систем.

Список використаних джерел

1. План розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні: затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 19.12.2023 р. № 1340. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1340-2023-%D0%BF#n251>

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

2. Радіотехнічні системи залізничного транспорту: навч. посіб. / С. В. Панченко, С. І. Приходько, А. О. Єлізаренко, Н. А. Корольова. Харків: УкрДУЗТ, 2024. 145 с.
3. Правила технічної експлуатації залізниць України / Міністерство транспорту України. ЦРБ 0004. Київ, 2007.
4. Пілінський В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль. Київ : НТУ України «КПІ», 2014. 336 с.
5. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058 / Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.
6. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку: затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 24.09.2007 р. № 452-Ц. Київ, 2007. 45 с.
7. 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.
8. Гончаренко В. І., Карлін В., Медведєв Я. Єдина платформа для організації цифрового технологічного радіозв'язку стандарте DMR. *Українська залізниця*. 2018. № 1-2. С. 20-26.
9. Кустов В. Ф., Єлізаренко А. О. Нормування і вплив завад поїзного радіозв'язку 2,13 і 2,15 МГц на порти живлення електронних пристроїв СЦБ рівнів SIL $\frac{3}{4}$. *Зб.наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* 2026. Вип. 216. С. 289-313.
10. Єлізаренко А. О. Організація мереж поїзного радіозв'язку в умовах гірської місцевості та в тунелях залізниць. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2026. № 1. С. 10-17.
11. GSM-R. Procurement & Implementation Guide. International Union of Railways-Paris, 2009. 246 с.
12. 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.
13. ЦШ-0047. Інструкція з технічного обслуговування направляючих ліній (хвильоводів) поїзного радіозв'язку. Київ: ТОВ «Швидкий рух», 2007. 22 с.
- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1340-2023-%D0%BF#n251> [in Ukrainian].
2. Panchenko, S. V., Prykhodko, S. I., Yelizarenko, A. O., & Korolova, N. A. (2024). *Radiotekhnichni systemy zaliznychnoho transportu* [Radio engineering systems of railway transport]. UkrDUZT [in Ukrainian].
3. Ministerstvo transportu Ukrainy. (2007). *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy* [Rules for the technical operation of Ukrainian railways] (TsRB 0004) [in Ukrainian].
4. Pilinskyi, V. V. (2014). *Tekhnichna elektrodynamika ta poshyrennia radiokhvyl* [Technical electrodynamics and radio wave propagation]. NTU Ukrainy “KPI” [in Ukrainian]
5. Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy Ukrzaliznytsia. (2009). *Pravyla orhanizatsii ta rozrakhunku merezh poizdnoho radiozviazku TsSh-0058* [Rules for the organization and calculation of train radio communication networks TsSh-0058] [in Ukrainian].
6. Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy. (2007). *Pravyla ekspluatatsii poizdnoho radiozviazku* [Rules for the operation of train radio communication] (Order No. 452-Ts) [in Ukrainian].
7. Yelizarenko, A. O., & Yelizarenko, I. O. (2018). Osoblyvosti vprovadzhennia suchasnykh tsyfrovyykh radiotekhnolohii na merezhakh zviazku zaliznyts [Features of implementing modern digital radio technologies in railway communication networks]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, (1), 10–16 [in Ukrainian].
8. Honcharenko, V. I., Karlin, V., & Medvedev, Ya. (2018). Edyna platforma dlia orhanizatsii tsyfrovoho tekhnolohichnoho radiozviazku standartu DMR [A unified platform for the organization of digital technological radio communication based on the DMR standard]. *Ukrainska zaliznytsia*, (1–2), 20–26 [in Ukrainian].
9. Kustov, V. F., & Yelizarenko, A. O. (2026). Normuvannia i vplyv zavod poizdnoho radiozviazku 2,13 i 2,15 MHz na porty zhyvlennia elektronnykh prystroiv STsB rivniv SIL $\frac{3}{4}$ [Standardization and influence of interference from train radio communication at 2.13 and 2.15 MHz on power supply ports of SIL $\frac{3}{4}$ railway signaling electronic devices]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, (216), 289–313 [in Ukrainian].
10. Yelizarenko, A. O. (2026). Orhanizatsiia merezh poizdnoho radiozviazku v umovakh hirskei mistsevosti ta v tuneliakh zaliznyts [Organization of train radio communication networks in mountainous areas and railway tunnels]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, (1), 10–17 [in Ukrainian].
11. International Union of Railways. (2009). *GSM-R procurement & implementation guide* [in English].
12. European Telecommunications Standards Institute. (2007). *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol* (TS 102 361-1 V1.4.5) [in English].

References

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, December 19). *Pro zatverdzhennia planu rozpodilu i korystuvannia radiochastotnym spektrom v Ukraini* [On approval of the plan for allocation and use of the radio frequency spectrum in Ukraine] (Resolution No. 1340). Verkhovna Rada of Ukraine.

13. TsSh-0047. (2007). *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia napravliaiuchykh linii (khvylevodiv) poizdnoho radiozviazku [Instructions for the technical maintenance of guiding lines (waveguides) of train radio communication]*. TOV "Shvydnyi rukh" [in Ukrainian].

Modernization of hectometer-range train radio communication networks. Yelizarenko Andriy

The introduction of mobile technological radio communication facilities on the railways of Ukraine began after the development of the first railway radio station ZHR-1, which operated in the hectometer range of radio waves. According to the Frequency Plan, two channels with a frequency of 2.13 and 2.15 MHz in the hectometer range with a radio wave length of 141 m were allocated for the organization of technological radio communication networks on railway transport.

The significant wavelength of hectometer range oscillations requires the use of extended linear antenna systems. The implementation of effective compact antennas in the GM range is difficult, especially for mobile and portable radio equipment in mobile radio communication networks on railway transport. The efficiency of locomotive antennas with a length of 7-12 m installed at a height of 0.8-1.0 m above the roof of the locomotive is 3-4 %. Significant levels of industrial radio interference require an increase in the level of useful signals with low efficiency of locomotive antennas. Thus, in the operating range of 2.13 MHz on sections electrified by alternating current, the minimum level of GM band signals is 72 dBmKv or more than 3000 mkV. The range of train radio communication channels of the hectometer range when using stationary antennas is only 4.2 km on sections of alternating current, which does not meet the requirements of the PTE.

When using guide lines, a waveguide wire or colored wires of longitudinal power supply, the range on sections of alternating current increases to 11.4 km. High-frequency signal excitation systems in the wires of 6.10 kV high-voltage lines create a voltage of 14.2 V. In order to reduce the impact on the characteristics of radio signals, automation power supplies are connected to the wires of the high-voltage line through blocking circuits. When the properties of the blocking circuits are degraded, the penetration of train radio signals causes a deterioration in the quality of communication and can create a dangerous source of electromagnetic interference for microprocessor automation devices, the voltage of which exceeds the standards for resistance to conductive interference (10 V). When using guide lines, operating costs increase. When using VHF radio equipment, the radio communication range can be up to 26 km for sections with autonomous traction, up to 15.6 km on DC

sections and up to 11.8 km on AC sections, which meets the requirements for organizing networks within railway sections. This is a convincing argument in favor of implementing linear VHF networks in the VHF range. Thus, the organization of linear VHF networks in the VHF range allows you to ensure compliance with the radio communication range conditions and ensure the implementation of modern digital networks in duplex mode, handover and other services of digital systems.

Keywords: railway technological radio communication, guide lines, radio communication range, modernization of railway networks.

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>.

Стаття надійшла 24.08.26

Стаття прийнята до друку після рецензування 23.09.26

Стаття опублікована (оприлюднена) 06.10.26

Стаття поширена на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.