

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

ДЕЙНЕГА Т.С., аспірант (УкрДУЗТ)

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



Дослідження індустріальних радіо завод в каналах технологічного радіозв'язку на електрифікованих залізницях

Електрифікація залізничного транспорту є одним з найбільш важливих заходів підвищення економічних показників перевезень та покращення основних експлуатаційних показників роботи залізниць. Але електрифіковані ділянки є складним джерелом індустріальних радіо завод, які суттєво впливають на роботу каналів технологічного радіозв'язку.

В роботі наведені результати експериментальних досліджень статистичних характеристик радіо завод на ділянках постійного та змінного струму.

Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, електрифікація залізниць, індустріальні радіо заводи, види електричної тяги, нормування радіо завод

Вступ

На залізничному транспорті України протяжність електрифікованих ділянок біля 9,5 тис. км, що складає близько 50% експлуатаційної довжини залізниць. Але електрифіковані залізниці виконують близько 80 % обсягів вантажних перевезень.

На електрифікованих ділянках зростає швидкість поїздів та їх вагові норми. Це сприяє підвищенню пропускної та провізної спроможності залізничних ліній.

Перша електрифікована ділянка постійного струму Кривий Ріг – Запоріжжя була введена в експлуатацію у 1935 році [1]. Електрифіковані ділянки постійного струму мають суттєві недоліки. Ділянки змінного струму мають більшу напругу в контактній мережі, що дозволяє зменшити втрати енергії.

Електричні залізниці є специфічним складним джерелом індустріальних радіо завод. Заводи створюють: електропоїзди під час знімання струму та їх внутрішнє силове електрообладнання, пристрої контактної мережі та лінії поздовжнього енергопостачання, тягові підстанції, пристрої автоматики і телемеханіки, а також інші джерела [2,3].

Актуалізація досліджень індустріальних радіо завод пов'язана з тим, що істотно підвищилася енергоозброєність транспорту, розширилася мережа електрифікованих доріг, здійснюється перехід на асинхронні тягові двигуни з імпульсним керуванням.

Це погіршує заводну обстановку на інфраструктурі загалом та електротяговому рухомому складі.

Водночас цифровізація радіозв'язку, розробка інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті підвищили вимоги щодо якості каналів радіозв'язку.

Необхідні дослідження індустріальних радіо завод з уточненням мінімальних рівнів необхідних корисних сигналів та рівнів завод у різних умовах організації каналів. Але роботи з таких питань практично відсутні.

На міжнародному рівні координацію досліджень та розробки нормативних документів з індустріальних радіо завод здійснюють такі міжнародні організації: Міжнародна електротехнічна комісія до складу якої входить Спеціальний комітет з радіо завод та Бюро радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку в межах своїх повноважень. В зв'язку з посиленням інтеграційних трендів прийнято рішення про створення єдиної нормативної бази з індустріальних радіо завод [4,5].

В Україні нормативне регулювання здійснюється розвинуеною системою стандартів. Сучасні вітчизняні стандарти, розроблені з урахуванням відповідних міжнародних стандартів. В перехідний період можна користуватись національними нормативними документами. [6,7].

Постановка проблеми

Удосконалення організації та проектування мереж поїзного радіозв'язку на ділянках електрифікованих залізниць з урахуванням дослідження індустріальних радіо завод в різних умовах організації радіо мереж.

Основні результати

Індустріальні радіо заводи є електромагнітним явищем, яке здатне погіршувати роботу обладнання і каналу передачі даних апаратури

системи управління, спектральні складові якого знаходяться в смузі радіочастот. Джерелами індустриальних радіозавод є електричні та електронні пристрої [4].

Обладнання технологічного радіозв'язку працює безпосередньо поруч із джерелами радіозавод, де напруженість поля завод значна. У результаті індустриальні заводи суттєво впливають на канали радіозв'язку, обмежуючи реалізовану чутливість радіоприймальних пристроїв і знижуючи дальність зв'язку. Це визначає актуальність і важливість досліджень індустриальних радіозавод для різних умов експлуатації пристроїв технологічного радіозв'язку на ділянках електрифікованих за системою постійного та змінного струмів [8].

Необхідні експериментальні дослідження індустриальних радіозавод, що діють у каналах технологічного радіозв'язку на електрифікованих ділянках залізниць за різних метеорологічних та експлуатаційних умов. При цьому, через ймовірнісний характер і нестабільність джерел завод у різних умовах, практичний інтерес становлять статистичні дослідження характеристик радіозавод.

Дослідження виконувались в смугах частот метрового діапазону 160 МГц, відведених для залізничного транспорту України.

Однією з необхідних вимог є проведення вимірювань із застосуванням типової апаратури у типових умовах вимірювань — відстань від осі електрифікованої колії, висота встановлення антени тощо повинні відповідати рекомендаціям [8].

Таким чином, визначено наступні завдання дослідження індустриальних радіозавод на електрифікованих ділянках залізниць:

1. Визначення статистичних характеристик індустриальних радіозавод на ділянках постійного і змінного струму за вертикальної та горизонтальної поляризації поля.
2. Дослідження залежності характеристик радіозавод від погодних умов на різних ділянках електрифікованих залізниць.
3. Визначення величин мінімальних рівнів корисних сигналів у каналах технологічного радіозв'язку.

Визначення стійких законів і параметрів розподілу амплітуд напруженості поля найбільш повно характеризує джерело завод і дозволяє обґрунтовано оцінити та нормувати якість радіоканалу [9].

У практиці статистичних досліджень широко використовують методи, засновані на теорії стаціонарних випадкових процесів. Хоча модель стаціонарного процесу не завжди є адекватною багатьом реальним процесам, що мають динаміку свого розвитку і спостерігаються протягом обмеженого проміжку часу, таке представлення випадкових процесів дозволяє застосувати до їх опису систему статистичних характеристик, розроблену в теорії ймовірностей [9].

В роботі математичне очікування і дисперсія стаціонарного випадкового процесу визначалась по ансамблю реалізації процесу, використовуючи вибірку некорельованих дискретних значень.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} E_i P(E_i) dE_i ;$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (E_i - E)^2 p(E_i) dE_i.$$

Для отримання 20% статистичної точності оцінки медіанного значення необхідний обсяг вибірки склав $n = 150$ значень [8]. При вимірюваннях прийнята квазіпікова оцінка рівнів напруженості поля радіозавод. Експериментальні дослідження індустриальних радіозавод проводилися в різні пори року, за різних метеорологічних умов.

Розміщення апаратури та порядок вимірювань відповідали вимогам норм. Вимірник напруги поля завод встановлювався на рівній площадці, вільній в радіусі 10 м від сторонніх предметів. Антена встановлювалась на відстані 10 м від осі електрифікованої колії на висоті $h=3$ м Здійснювалась тривала реєстрація квазіпікових значень напруженості поля завод на частоті $f=150$ МГц при вертикальній та горизонтальній поляризаціях. Кожну годину спостережень, по запису процесу через інтервал $\Delta t = 3c$ знімалася вибірка з $n=150$ значень напруги поля радіо завод, яка піддавалася статистичній обробці.

Для станцій, електрифікованих на змінному струмі, характерний високий рівень завод з флуктуаціями 10-15 дБ і відносно стійким середнім значенням. Найбільш високий рівень завод спостерігається у суху, сонячну погоду. У сиру погоду рівень завод значно нижчий і залежить від конкретних метеорологічних умов. У дощ, мокрий сніг, туман, при високій вологості повітря рівень завод перешкод найнижчий і становить 10-15 мкВ/м. Така залежність напруженості поля від погодних умов пояснюється механізмом виникнення завод у контактній мережі змінного струму: часткові розряди в ізоляторах, нещільний контакт струмопровідних частин у сиру погоду виявляється меншим і мало залежить від пори року.

Поїзна ситуація несуттєво впливає на зміну рівнів завод. При проходженні електрорухомого складу у безпосередній близькості від вимірника рівень завод лише дещо збільшується. Це свідчить про те, що контактна мережа змінного струму в суху погоду створює заводи, які можна порівняти з величиною завод від струмознімання.

На станціях, електрифікованих за системою постійного струму, спостерігається відносно невисокий рівень завод з рідкими сплесками, що утворюються внаслідок струмознімання та комутаційних процесів у силових ланцюгах

електрорухомого складу. Зміни рівня завад переважно визначається переміщенням рухомого складу на станції. При інших рівних умовах рівні перешкод у суху і вологу погоду відрізняються несуттєво і збільшуються при проходженні електрорухомого складу поблизу вимірювача завад. Найбільш значне збільшення рівня завад спостерігається при ожеледиці та інших несприятливих для струмознімання умовах. Зміни спостерігались протягом тривалого часу в різних мете реологічних умовах та поїзній обстановці. Так в зимовий період в січні зниження рівня завад спостерігалось при відлизі та танення льоду на ізоляторах на ізоляторах.

В літній період спостерігаються більш стабільні рівні радіо завад. Зниження рівнів завад спостерігалось в ранкові часи при зростання вологості.

На рисунку 1 наведена гістограма дискретної вибірки значень напруженого поля завад при вертикальній поляризації поля на ділянці змінного струму в суху.

Оцінка ступеня узгодження теоретичного та статистичного розподілу показали, що розподіл амплітуд напруженості поля радіо завад в суху та вологу погоду можуть бути апроксимовані логарифмічно нормальним законом.

Таким чином, у загальному випадку індустриальні радіоперешкоди являються нестационарними випадковими процесами. Однак часові зміни протікають досить повільно, і при малому часі аналізу не стаціонарність процесу не може суттєво позначитися на точності одержаних результатів.

Аналіз великого циклу вимірювань показав, що вплив на рівень завад відстані до електрифікованої колії (5-30 м) та висоти установки стаціонарної

антени (10-20 м) не суттєві та слід приймати величини напруженості поля, отримані в типових умовах вимірювання.

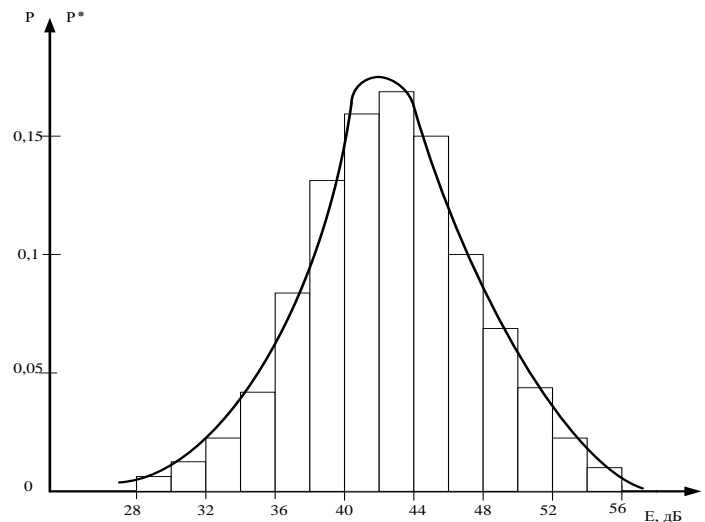


Рисунок 1 – Квазіпікові значення напруженості поля радіозавад

У місці установки локомотивної антени на даху маневрових тепловозів напруженість поля індустриальних радіоперешкод є вищою, ніж виміряна в типових умовах. У цьому випадку рівні завад необхідно збільшити на 3-5 дБ (1,4 – 1,8 раза).

Допустимі рівні радіозавад нормуються в державних нормативних документах. На рисунку 2 наведені квазіпікові значення напруженості поля радіозавад, які створюються окремими джерелами завад.

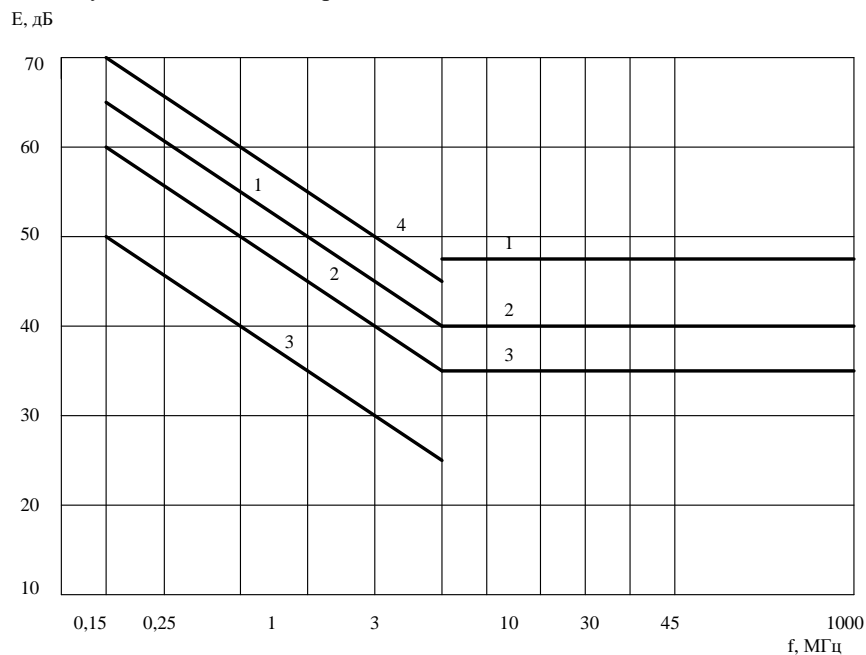


Рисунок 2 – Квазіпікові значення напруженості поля радіозавад (1 – електрорухомий склад, 2 – тягові підстанції, 3 – пристрої сигналізації, централізації, блокування, 4 – приміські електропоїзди)

На графіках (рисунок 2) наведені нормативні значення рівнів завад, які створюються окремим джерелами.

В результаті досліджень реєструвалися рівні завад при одночасній сумарній дії різних джерел, які дещо перевищують нормативні значення.

Електрорухомий склад постійного та змінного струму повинен бути оснащений протизавадними пристроями на вході приймачів

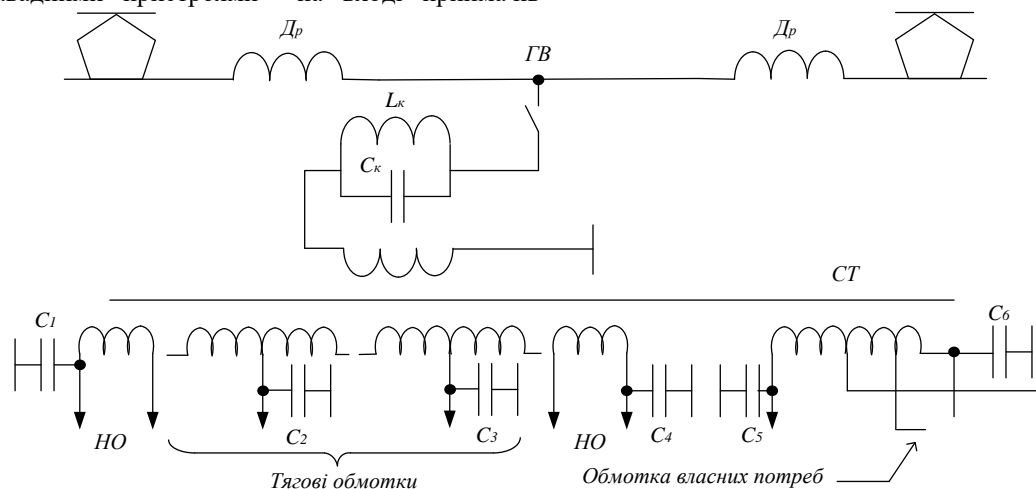


Рисунок 3 – Схема зниження завад для електрорухомого складу змінного струму

Настроювання протизавадних пристроїв на електровозах входить до складу технологічних карт про повну перевірку локомотивних пристроїв радіозв'язку [12,13].

Складно забезпечити роботу радіозасобів при значних рівнях індустриальних радіозавад. Це змушує підвищувати мінімально допустимі рівні корисних сигналів.

Для визначення мінімальних рівнів корисних сигналів при дії індустриальних радіозавад на електрифікованих залізницях можна скористатись підходами аналогічними прийнятим в ДСТУ 4184:2003 для оцінки електромагнітної сумісності при дії випромінювання заважаючих радіозасобів [14]. Вимірювання виконувались за схемою на рисунку 4.

радіостанцій метрового і дециметрового діапазонів радіохвиль (дивись рисунок 3). Ці пристрої повинні складатися з типових LC фільтрів, призначених для зниження радіозавад від ненадійного струмознімання та проникнення завад від внутрішнього електроустаткування [10,11].

На один із входів приймача через узгоджуючий пристрій подають модульований корисний сигнал з частотою 1000 Гц з номінальною девіацією. На другий вхід узгоджувального пристрою подають напругу індустриальних радіозавад від типової локомотивної антени. Вимірювач коефіцієнта нелінійних спотворень на виході приймача контролює досягнення рівня сигнал/шум 12 дБ за методом СИНАД (англ. *SINAD* - *Signal-to-noise and distortion ratio*), за дії індустриальних радіозавад. Напруга вхідного сигналу за співвідношення сигнал/шум – 12 дБ (чотири рази), що відповідає показанням вимірювача нелінійних спотворень 25 % і становить значення мінімально необхідного рівня корисного сигналу в умовах дії індустриальних радіозавад.

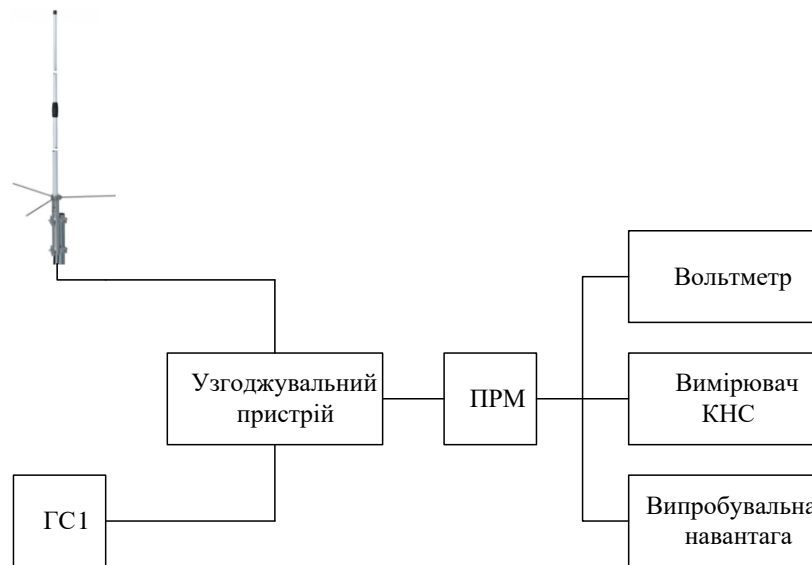


Рисунок 4 – Схема вимірювання мінімальних рівнів корисних сигналів при дії радіозавад

Мінімальні рівні корисних сигналів визначались при дії заважаючих сигналів, аналогічно вимірюванням двосигнальної вибірковості.

Мінімальні рівні, виміряні таким чином, наведені в таблиці 1 і можуть бути покладені в основу розрахунку зон обслуговування радіозасобів.

Таблиця 1 – Мінімальні рівні корисних сигналів в мережах технологічного радіозв'язку

Характеристика ділянки	Мінімальний рівень корисного сигналу на вході приймача возимої радіостанції (РВ), дБмкВ
Ділянка з автономною тягою	2
Електрифікована ділянка постійного струму при швидкості руху, км/год:	
-до 120	8
-понад 120	12
Електрифікована ділянка змінного струму:	
-при електровозній тязі	14
-при автономній тязі	16

При зміні рівня завад від умов виду тяги змінюється напруга завад і відповідно мінімальні необхідні рівні корисного сигналу.

На електрифікованих ділянках залізниць радіозавади впливають на умови прийому сигналів. При розрахунках дальності радіозв'язку необхідно забезпечувати мінімально необхідні рівні корисних сигналів.

Висновки

1. Електрифіковані залізниці є специфічним складним джерелом індустриальних радіозавад, які суттєво впливають на роботу каналів технологічного радіозв'язку.
2. Дослідження радіозавад виконувались в смугах частот метрового діапазону 160 МГц, відведених для залізничного транспорту України.
3. Розподіл амплітуд квазіімпулсових значень напруженості поля радіозавад апроксимується логарифмічно нормальним законом. Визначено

параметри розподілу амплітуд завад при вертикальній поляризації поля:

- змінний струм $E_{0,5}=42,5$ дБ, $E_{0,95}=50$ дБ, $\sigma = 4,5$ дБ;
- постійний струм $E_{0,5}=14$ дБ, $E_{0,95}=22$ дБ, $\sigma = 4,6$ дБ.

4. На ділянках постійного струму рівні завад при вертикальній та горизонтальній поляризації відрізняються несуттєво. На ділянках змінного струму при горизонтальній поляризації спостерігається максимум напруженості поля радіозавад з орієнтацією вздовж електрифікованої ділянки. При цьому напруженість поля при горизонтальній поляризації на 4-8 дБ більша, ніж при вертикальній.

5. На ділянках змінного струму рівень радіозавад суттєво залежить від метеорологічних умов і найвищий у суху погоду. На ділянках постійного струму рівень завад в основному визначається поїзним становищем на станції та умовами струмозмінення електрорухомого складу.

6. У системах станційного радіозв'язку напруженість поля завод у місці встановлення стаціонарної антени може бути прийнята рівною вимірюваною у типових умовах. Напруженість поля радіозавод у місці встановлення локомотивної антени на 3-5 дБ більше, ніж виміряна у типових умовах.

7. Виходячи з необхідної якості прийому сигналів при дії індустріальних радіозавод визначені мінімальні рівні корисних сигналів для мереж технологічного радіозв'язку

залізничного рухомого складу засобами радіозв'язку та заводознижуючими пристроями.

12. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку: затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 24.09.2007 р №452-Ц. Київ. – 45 с.

13. Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Оріон РВ-4», «Оріон РС-6». Київ – 2008. – 207 с.

14. ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. 2003.– 50 с.

Список використаних джерел

1. Контактна мережа електрифікованих залізниць. Улаштування контактної мережі. / Дьяков В.О., Босий Д.О., Антонов А.В. – Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017. – 228 с.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України. Міністерство транспорту України. ЦРБ 0004. – Київ, 2007.
3. Єлизаренко А.О. Забезпечення необхідної надійності функціонування каналів залізничного технологічного радіозв'язку / А.О. Єлизаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016, №1. С.41-47.
4. Міжнародний спеціальний комітет по радіозавадам. URL: https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:FSP_ORG_ID:1298
5. ДСТУ CISPR 11 2007. Електромагнітна сумісність. Обладнання промислове, наукове та медичне радіочастотне. Характеристики електромагнітних завод. Норми та методи вимірювання(CISPR 11 2004IDT).
6. Дослідження закону розподілу індустріальних радіозавод апаратури систем управління різного призначення / О.В. Чумаченко, С.М. Фірсов, К.Ю. Голуб // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012, №3. С.26-35.
7. Нормативна база в галузі електромагнітної сумісності: стан та перспективи розвитку / І.П. Захаров, О.Ф. Розвадовський, Н.С. Шевченко // Вісник НТУ «ХП». – 2010, №34. С.52-62.
8. Радіотехнічні системи залізничного транспорту: навчальний посібник / С. В. Панченко, С.І. Приходько, А. О. Єлизаренко, Н. А. Корольова. – Харків: УкрДУЗТ – 2024. – 145с.
9. Теорія ймовірностей та математична статистика / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабальок. – К. НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.
10. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058. Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ-2009. –123 с.
11. Міждержавний стандарт. ГОСТ 34076-2017. Норми та правила обладнання

Research into industrial radio interference in technological radio communication channels on electrified railways. Yelizarenko Andriy, Deineha Taras, Yelizarenko Ihor

Electrification of railway transport is one of the most important measures to increase the economic performance of transportation and improve the main operational indicators of railways. But electrified sections are a source of high-intensity radio interference, which disrupts the operation of mobile and stationary radio equipment. The paper presents the results of experimental studies of the statistical characteristics of radio interference on direct and alternating current sections in the frequency bands of the meter range of 160 MHz, allocated for railway transport in Ukraine.

The distribution of amplitudes of quasi-peak values of the radio interference field strength is approximated by a logarithmic normal law. On direct current sections, the interference levels differ insignificantly with vertical and horizontal polarizations. On alternating current sections with horizontal polarization, a maximum of the radio interference field strength is observed with an orientation along the electrified section. At the same time, the field strength with horizontal polarization is 4-8 dB higher than with vertical polarization. On alternating current sections, the level of radio interference significantly depends on meteorological conditions and is highest in dry weather. On direct current sections, the level of interference is mainly determined by the train position at the station and the conditions of current collection of the electric rolling stock. In station radio communication systems, the interference field strength at the location of the stationary antenna can be taken as equal to that measured under typical conditions. The interference field strength at the location of the locomotive antenna is 3-5 dB higher than that measured under typical conditions.

Based on the required quality of signal reception under the influence of industrial radio interference, the minimum levels of useful signals for technological radio communication networks have been determined

Keywords: railway technological radio communication, railway electrification, industrial radio interference, types of electric traction, radio interference standardization

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