

## Розробка методології розрахунку дальності дії каналів рухомого радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць

*Проведено порівняльний аналіз чинних методик розрахунку зон обслуговування в мережах залізничного технологічного радіозв'язку, організованих за технологічними ознаками в смугах частот 160 МГц. На основі модифікованої моделі Окамури-Хата параметри якої визначені за результатами експериментальних досліджень поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць запропонована уніфікована методика розрахунку каналів технологічного радіозв'язку в усіх діапазонах використовуваних радіохвиль.*

**Ключові слова:** залізничний технологічний радіозв'язок, поширення радіохвиль в умовах залізниць, модифікована модель Окамури-Хата, розрахунок зон обслуговування радіомереж.

### Вступ

Системи радіозв'язку з рухомими об'єктами на залізничному транспорті відіграють виключно важливу роль в підвищенні безпеки руху поїздів, поліпшенні оперативного управління перевізним процесом [1]. Для вирішення проблем проектування і розрахунку мереж технологічного радіозв'язку не можливо безпосередньо використовувати методики розрахунку радіомереж загального користування, оскільки вони не враховують особливості поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць [2].

Розпочате в 70-ті роки впровадження мереж залізничного технологічного радіозв'язку в ультракороткохвильовому діапазоні в полосах частот 160 МГц вимагало проведення широких досліджень умов поширення радіохвиль і розробки відповідних методик розрахунку радіоканалів. На основі результатів експериментальних досліджень поширення радіохвиль в умовах залізничних станцій і перегонів створені окремі методики розрахунку каналів станційного, поїзного і ремонтно-оперативного радіозв'язку на залізничному транспорті [3, 4, 5].

Аналіз чинних нормативних документів дозволив виявити такі основні недоліки с точки зору потреб теперішнього часу. Правила організації і розрахунку мереж СРЗ, ПРЗ, РОРЗ передбачають методику розрахунку каналів в метровому 160 МГц діапазоні радіохвиль, а перспективні для залізниць діапазони 460 і 900 МГц не розглядаються.

В усіх чинних методиках передбачене використання графоаналітичних методів розрахунку. В основу розрахунків каналів покладені графічні залежності зміни напруженості електричного поля сигналів від відстані  $E_2 = \varphi(r)$ , які побудовані при певних параметрах радіомереж. Застосування

графоаналітичних методів ускладнює автоматизацію розрахунків і проектування радіомереж. Не доцільна диференціація методик за технологічними ознаками, але необхідно врахувати особливості поширення радіохвиль при організації радіомереж різного призначення на станціях і перегонах залізниць.

### Постановка задачі

Необхідна уніфікація всіх методик, яка б забезпечувала єдиний підхід до розрахунку каналів радіозв'язку на основі загальних методологічних принципів, єдиної термінології і позначень. Розроблювана методика повинна забезпечувати діапазонну і технологічну універсальність, передбачаючи розрахунок каналів в усіх використовуваних полосах частот.

### Основні результати роботи

Основою точного прогнозування характеристик радіомереж при проектуванні є застосування адекватної моделі поширення радіохвиль в умовах організації мереж рухомого радіозв'язку на залізницях.

Пропонована методологія розрахунку каналів рухомого радіозв'язку на залізницях базується на основі модифікованої моделі Хата, поправочні коефіцієнти якої визначені за результатами експериментальних досліджень поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць, проведених автором. Такий підхід є раціональним оскільки застосування моделі Хата відповідає рекомендаціям ІТУ-R P.529 [6], а принцип визначення параметрів моделі за результатами досліджень поширення радіохвиль в конкретних умовах організації, дозволяє суттєво підвищити точність прогнозування рівнів сигналів. Така методика зручніша для автоматизації розрахунків оскільки замість базових кривих поширення радіохвиль використовуються емпіричні рівняння універсальні для

різних діапазонів частот і висот установки антен радіостанцій.

Розрахунки каналів доцільніше вести безпосередньо на основі визначення згасання сигналів і показників енергетичного потенціалу радіоліній без переходу до показників напруженості поля.

Розрахунки основних втрат виконуються за формулами, які визначені за результатом експериментальних досліджень, для умов залізничних станцій  $L_{осн.ст}$  (1) і перегонів  $L_{осн.пер}$  (2) на неелектрифікованих ділянках залізниць.

$$L_{осн.ст} = 5235 + 27,22 \cdot \lg f - 1382 \cdot \lg(h_1) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot h_2 + (449 - 6,55 \cdot \lg h_1) \cdot (\lg R)^{1,15} - 2 \cdot \left(\lg\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2, \text{дБ} \quad (1)$$

$$L_{осн.пер} = 3011 + 4605 \cdot \lg f - 1382 \cdot \lg(h_1) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot h_2 + (449 - 6,55 \cdot \lg(h_1)) \cdot (\lg R)^{1,15} - 4,78 (\lg(f))^2, \text{дБ} \quad (2)$$

де  $h_1$  - висота установки антени стаціонарної радіостанції, м;

$f$  - робоча частота радіомережі, МГц;

$h_2$  - висота установки антени мобільної радіостанції, м;

$R$  - відстань від передавача до точки оцінювання втрат, км.

Реальне значення згасання сигналів  $L_{мережі}$  в конкретних умовах організації радіомереж визначають за формулою (3) з урахуванням відповідних поправочних коефіцієнтів

$$L_{мережі} = L_{осн}(f, h_1, h_2) + \sum B_{трас} + \sum B_{імов}, \text{дБ} \quad (3)$$

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль у різних мережах радіозв'язку, визначають по формулі (4)

$$\sum B_{трас} = B_{рел} + B_{км} + B_{л} + B_{рн}, \text{дБ} \quad (4)$$

де  $B_{рел}$  - коефіцієнт, що залежить від рельєфу місцевості, по якій проходить траса радіозв'язку, дБ;

$B_{км}$  - коефіцієнт, що враховує додаткове ослаблення напруженості поля контактною мережею на електрифікованих ділянках залізниць, дБ;

$B_{л}$  - коефіцієнт, що враховує зменшення потужності сигналу на вході приймача локомотивної радіостанції, унаслідок впливу на умови прийому корпусу рухомого об'єкта, дБ;

$B_{рн}$  - коефіцієнт, що враховує зменшення потужності сигналу при організації зв'язку з радіостанціями, що носяться, дБ.

Суму поправочних коефіцієнтів, що враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля

сигналів, визначають виходячи з необхідної надійності зв'язку по полю за формулою (5)

$$\sum B_{імов} = B_i + B_{місц} + B_{час}, \text{дБ} \quad (5)$$

де  $B_i$  - коефіцієнт, що враховує інтерференційні флуктуації напруженості поля внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль, дБ;

$B_{місц}$  - коефіцієнт, що враховує повільні коливання напруженості поля внаслідок зміни загального рельєфу місцевості і типів забудови, дБ;

$B_{час}$  - коефіцієнт, що враховує часові коливання напруженості поля, обумовлені змінами рефракції в атмосфері, дБ.

Максимально допустимий рівень втрат  $L_{дон}$ , дБ на трасі поширення радіосигналу при якому забезпечується необхідна якість і надійність каналів радіозв'язку на межі зони обслуговування

$$L_{дон} = P_{прд} - P_{прм} + \sum B_{пар}, \text{дБ} \quad (6)$$

де  $P_{прд}$  - потужність передавача, дБм;

$P_{прм}$  - мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача, дБм.

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від параметрів антенно-фідерних пристроїв передавача й приймача, визначають по формулі (7)

$$\sum B_{парам} = G_1 - \alpha_1 l_1 + G_2 - \alpha_2 l_2 - B_{АФП_{прд}} - B_{АФП_{прм}}, \text{дБ} \quad (7)$$

де  $G_1, G_2$  - коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен (стосовно напівхвильового вібратора), дБ;

$\alpha_1 l_1$  і  $\alpha_2 l_2$  - згасання, внесені фідерами передавальної і приймальної радіостанцій, дБ;

$\alpha$  - погонне згасання фідера, дБ/м;

$l$  - довжина фідера, м;

$B_{АФП_{ПРД}}$ ,  $B_{АФП_{ПРМ}}$  - додаткові згасання, що можуть створювати в антенно-фідерних трактах багатоканальних базових станцій пристрої об'єднання сигналів передавачів і розподільні панелі приймачів.

Значення поправок в формулі (7) визначають за паспортними характеристики радіозасобів, при цьому необхідну потужність передавача і приймача представляють в дБм по відношенню до 1 мВт.

Параметри в формулах (4) і (5), які враховують особливості умов організації радіомереж  $\sum B_{трас}$  та імовірнісні характеристики радіосигналів  $\sum B_{імов}$  визначають з урахуванням відповідних рекомендацій, а в необхідних випадках використовують результати експериментальних досліджень.

Наведемо приклади розрахунків дальності дії мережі поїзного радіозв'язку метрового діапазону на перегоні залізниць та мережі GSM-R 900 МГц, організованої на території великої залізничної станції.

Двоколійна ділянка залізниці з електричною тягою постійного струму проходить по горбкуватій місцевості. Визначимо дальність дії радіозв'язку між стаціонарною і локомотивною радіостанціями в діапазоні частот 160 МГц.

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача  $P = 10 \text{ Вт}$ ; або  $P_{прд} = 40 \text{ дБм}$ ; висота установки антени  $h_1 = 20 \text{ м}$ ; антена АС-4/2,  $G_1 = 4 \text{ дБ}$ ; погонне згасання фідера  $\alpha_{ф1} = 0,1 \text{ дБ/м}$ ;  $l_1 = 20 \text{ м}$ . Параметри возимої радіостанції: висота установки антени  $h_2 = 5 \text{ м}$ ; антена АЛ-2,  $G_2 = 0 \text{ дБ}$ ; погонне згасання фідера  $\alpha_{ф2} = 0,1 \text{ дБ/м}$ ;  $l_2 = 5 \text{ м}$ .

Мінімально допустимий рівень корисного сигналу  $U_{2\text{мін}} = 8 \text{ дБмкВ}$ , або мінімальна необхідна потужність корисного сигналу  $P_{прм} = -99 \text{ дБм}$ .

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (7):

$$\sum B_{парам} = G_1 - \alpha_1 l_1 + G_2 - \alpha_2 l_2 = 4 - 0,1 * 20 + 0 - 0,1 * 5 = 4 - 2 + 0 - 0,5 = 1,5 \text{ дБ}.$$

Тоді максимально допустимий рівень втрат на межі зони обслуговування

$$L_{дон} = P_{прд} - P_{прм} + \sum B_{пар} = 40 - (-99) + 1,5 = 140,5 \text{ дБ}.$$

Визначимо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (4) виходячи з рекомендацій Правил [5].

$$\sum B_{трас} = B_{рел} + B_{км} + B_{л} = 0 + 2 + 8 = 10 \text{ дБ},$$

де  $B_{рел} = 0 \text{ дБ}$  для траси типу 2;  $B_{км} = 2 \text{ дБ}$  (для двоколійних електрифікованих ділянок);  $B_{л} = 8 \text{ дБ}$ .

Визначаємо значення імовірнісних коефіцієнтів відповідно до Правил [5], виходячи з надійності радіозв'язку по полю 95%, по формулі (5):

$$\sum B_{імов} = B_{місц} + B_i + B_{час} = 3 + 5 + 1,8 = 9,8 \text{ дБ},$$

де  $B_{місц} = 3 \text{ дБ}$  для траси типу 2;

$B_i = 5 \text{ дБ}$ ;

$B_{час} = 1,8 \text{ дБ}$ .

Дальність радіозв'язку, за умови  $L_{мережі} = L_{дон}$ , можна визначити шляхом безпосереднього розрахунку в ітераційному циклі або подати у вигляді графічного рішення (дивись рис. 1), де дальність зв'язку визначається за точкою перетину кривих  $L_{трас}$  і  $L_{дон}$  і складає 12,1 км.

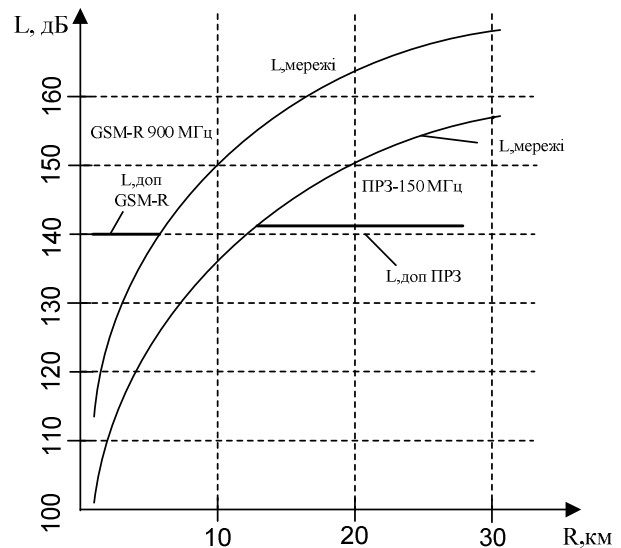


Рис. 1. Результати розрахунку дальності радіозв'язку

Результати розрахунку дальності дії поїзного радіозв'язку за пропонуваною методикою і за Правилами [5] збігаються, що свідчить про адекватність прийнятої моделі поширення радіохвиль в умовах залізничних перегонів (дивись формулу (2)).

Виконаємо розрахунки зони обслуговування мережі GSM-R на території великої залізничної станції на ділянці з електротягою. Мінімально допустимий рівень корисного сигналу визначаємо з урахуванням параметрів, наведених в рекомендаціях Міжнародного союзу залізниць по впровадженню мереж GSM-R [7].

Параметри базової станції: потужність передавача  $P_{прд} = 20 \text{ Вт}$  або  $P_{прд} = 43 \text{ дБм}$ ; висота установки антени  $h_1 = 20 \text{ м}$ ; коефіцієнт підсилення антени  $G_1 = 8 \text{ дБ}$ ; згасання фідера  $a_{ф1} = 3 \text{ дБ}$  і додаткове згасання в елементах антенно-фідерних пристроїв (дуплексер, комбайнер, фільтри)  $B_{АФП_{прд}} = 5 \text{ дБ}$ .  
Параметри возимої радіостанції: висота установки антени  $h_2 = 5 \text{ м}$ ; коефіцієнт підсилення антени  $G_2 = 0 \text{ дБ}$ ; згасання фідера  $a_{ф2} = 2 \text{ дБ}$ .

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (7)

$$\sum B_{парам} = G_1 - a_{ф1} + G_2 - a_{ф2} - B_{АФП_{прд}} = 8 - 3 + 0 - 2 - 5 = -2 \text{ дБ}.$$

Тоді максимально допустимий рівень втрат на межі зони обслуговування

$$L_{дон} = P_{прд} - P_{прм} + \sum B_{пар} = 43 - (-99) - 2 = 140 \text{ дБ}.$$

В рекомендаціях [7] розрахунок втрат сигналів пропонується виконувати за базовою формулою Окамури-Хата для умов середнього міста. Причому, не передбачається корегування параметрів моделі в залежності від особливостей умов поширення радіохвиль.

У запропонованій методиці враховуються додаткові поправочні коефіцієнти, які визначені за результатами експериментальних досліджень, що підвищує точність прогнозування рівнів сигналів.

$$\sum B_{трас} = B_{рел} + B_{км} + B_{л} = -1,7 + 8 + 2 = 8,3 \text{ дБ}.$$

Станції розташовують на рівнинній місцевості і втрати на трасі категорії 1,5 будуть меншими порівняно з горбкатою місцевістю,  $B_{рел} = -1,7 \text{ дБ}$ .

В умовах станції суттєво зростає вплив контактної мережі і  $B_{км} = 8 \text{ дБ}$ . Погіршення умов прийому сигналів в антені встановленої на даху електровоза складає  $B_{л} = 2 \text{ дБ}$ .

Поправка для надійності по полю 95% складає  $\sum B_{ймов} = 7 \text{ дБ}$ .

Реальне значення згасання сигналів  $L_{мережі}$  розраховується з урахуванням відповідних поправочних коефіцієнтів. Результати розрахунків дальності дії в мережі GSM-R показані на рис. 1, а дальність дії складає 5,8 км.

## Висновки

Запропонована методологія на відміну від чинних відомих нормативних документів з проектування і розрахунку каналів в мережах поїзного, станційного і ремонтно-оперативного призначення забезпечує технологічну і діапазонну універсальність при розрахунках каналів в усіх діапазонах радіочастот відведених для залізничного транспорту.

Розрахунки каналів проводяться за єдиною аналітичною моделлю поширення радіохвиль. Фактичні параметри радіомереж враховують за допомогою поправочних коефіцієнтів, які групуються за певними ознаками, що дозволяє підвищити точність прогнозування зон обслуговування. Аналітична форма розрахунків спрощує процедури автоматизації проектування радіомереж.

## Література

1. Радиотехнические системы железнодорожного транспорта: учебник для вузов железнодорожного транспорта / Ю.В. Ваванов, А.В. Елизаренко, А.А.Танцюра и др. – М.: Транспорт, 1991.
2. Мясковский Г.М. Системы производственной радиосвязи: Справочник. -М.: Связь, 1980.-216с
3. Методические указания по расчету системы станционной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.
4. Руководящие указания по организации и расчету ремонтно-оперативной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.
5. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку. Затверджені наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 09.06.2009 №340-Ц. – 123 с.
6. Recommendation ITU-R P.529-3. Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands
7. GSM-R. Procurement & Implementation Guide / International Union of Railways-Paris, 2009.

**Елизаренко А.А. Разработка методологии расчета дальности действия каналов подвижной радиосвязи в условиях влияния инфраструктуры железных дорог.** Проведен сравнительный анализ действующих методик расчета зон обслуживания в сетях железнодорожной технологической радиосвязи, организованных по технологическим признакам в

полосах частот 160 МГц. На основе модифицированной модели Окамуры-Хата, параметры которой определены по результатам экспериментальных исследований распространения радиоволн в условиях влияния инфраструктуры железных дорог, предложена унифицированная методика расчета каналов технологической радиосвязи во всех используемых диапазонах радиоволн.

**Ключевые слова:** железнодорожная технологическая радиосвязь, распространение радиоволн в условиях железных дорог, модифицированная модель Окамуры-Хата, расчет зон обслуживания радиосетей.

---

**Yelizarenko Andrii. The development of methodology to calculate the radio channel range of mobile radio under the conditions of railway infrastructure influence.** A comparative analysis of existing methods of calculation of the service areas in the networks of railway technological radio communication, organized according to the technological characteristics in the frequency bands of 160 MHz has been conducted. A unified methodology for the calculation of technological radio communication channels in all the used radio wave ranges has been proposed on the basis of the modified Okumura-Hata model. The parameters of this model have been determined according to the results of experimental research of radio waves propagation under the conditions of railway infrastructure influence.

**Key words:** railway technological radio communication, radio wave propagation under the conditions of railways, Okumura-Hata modified model, the calculation of radio network service areas.

Рецензент д.т.н., професор Бойнік А.Б.  
(УкрДАЗТ)

*Поступила 26.03.2014г.*