

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

**РОЗРАХУНОК ЗОН ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕРЕЖ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт**

з дисципліни

«РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»

Харків – 2023

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 25 травня 2023 р., протокол № 11.

Методичні вказівки містять виклад відомчих нормативно-технічних матеріалів із розрахунку зон обслуговування мереж технологічного радіозв'язку на залізницях в гектометровому і метровому діапазонах радіохвиль.

Рекомендуються для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», які вивчають дисципліну «Радіотехнічні системи залізничного транспорту».

Укладачі:

доценти А. О. Єлізаренко,

Н. А. Корольова

Рецензент

доц. Л. А. Клименко

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Нормативно-програмні засади вивчення дисципліни.....	7
1 Канали поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону радіохвиль.....	8
1.1 Загальні положення.....	8
1.2 Облаштування стаціонарних антен поїзного радіозв'язку	10
1.3 Розрахунок дальності радіозв'язку при використанні стаціонарних антен.....	14
1.4 Використання направляючих ліній в каналах ПРЗ гектометрового діапазону	20
1.4.1 Типи направляючих ліній в каналах ПРЗ гектометрового діапазону.....	20
1.4.2 Розрахунок дальності радіозв'язку	27
1.4.3 Індивідуальне завдання з розрахунку дальності дії каналів поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону.....	33
Контрольні питання.....	35
2 Мережі технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль...36	
2.1 Загальні положення.....	36
2.2 Відомчі методики розрахунку мереж технологічного радіозв'язку..38	
2.2.1 Базові криві поширення радіохвиль	38
2.2.2 Поправочні коефіцієнти, які враховують параметри антенно-фідерних пристроїв.....	42
2.2.3 Поправочні коефіцієнти, які враховують особливості трас поширення радіохвиль.....	44
2.2.4 Поправочні коефіцієнти, які враховують імовірнісні характеристики сигналів.....	46
2.3 Мережі технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль на станціях.....	49

2.4 Приклади розрахунків дальності радіозв'язку.....	51
2.5 Індивідуальні завдання з розрахунку дальності дії каналів технологічного радіозв'язку метрового діапазону.....	64
Контрольні питання.....	65
Список літератури.....	66

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для виконання практичних занять і самостійної роботи при вивченні дисципліни «Радіотехнічні системи залізничного транспорту» й охоплюють розділи курсу «Проектування мереж технологічного радіозв'язку».

Системи технологічного радіозв'язку широко використовують для управління рухом поїздів, керівництва станційною роботою та при ремонті та технічному обслуговуванні інфраструктури.

За Правилами технічної експлуатації залізниць України, мережі радіозв'язку класифікують за технологічними ознаками і розрізняють мережі станційного (СРЗ), поїзного (ПРЗ) і ремонтно-оперативного (РОРЗ) радіозв'язку. До складу кожної з систем радіозв'язку входять окремі радіомережі.

Радіомережа – це декілька стаціонарних, возивних та носивних радіостанцій, що працюють на одній частоті і забезпечують проведення переговорів декількох абонентів, які спільно виконують технологічні процеси.

Для організації технологічного радіозв'язку на залізницях у наш час використовують канали в гектометровому та метровому діапазонах радіохвиль.

Гектометровий діапазон включає радіохвилі з довжиною від 100 до 1000 м з частотами 300 кГц – 3 МГц (середні частоти). Цей діапазон характеризується двома режимами поширення радіохвиль: режим земної хвилі і режим іоносферної хвилі. Поширення КХ на великі відстані, що можуть сягати декількох тисяч кілометрів, здійснюється просторовою хвилею внаслідок її відбиття від іоносфери. Цей режим може сприяти поширенню заводових сигналів. У межах використання земного проміння організуються канали рухомого радіозв'язку безпосередньо в межах дальності дії між радіозасобами. Для залізничного транспорту виділені частоти 2,13 та 2,15 МГц з довжиною хвилі 141 м.

Метрові радіохвилі належать до ультракороткохвильових діапазонів з частотою 30 – 300 МГц (дуже високі частоти). У метровому діапазоні для залізничного транспорту передбачено використання радіохвиль в смугах частот 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц. Усі ці канали використовуються спільно для організації технологічних радіомереж різного призначення. Розподіл радіочастот забезпечується на основі Плану використання радіочастотного ресурсу АТ «Укрзалізниця».

Зона обслуговування в певній радіомережі – це територія, в межах якої забезпечується необхідна якість зв'язку. У лінійних мережах залізничного технологічного радіозв'язку частіше використовують поняття дальності радіозв'язку. Це територія, де забезпечується необхідна якість зв'язку на максимальній відстані від передавача.

Розрахунки дальності радіозв'язку та зон обслуговування проводяться на основі використання відомчих нормативних документів з організації та розрахунку каналів станційного, поїзного і ремонтно-оперативного радіозв'язку на залізничному транспорті.

На кожну дільницю (диспетчерське коло) поїзного радіозв'язку, а також на пристрої станційного радіозв'язку, оформлюються технічні паспорти відповідно до вимог Інструкції з утримання технічної документації на пристрої технологічних мереж. Паспорт радіомереж має містити дані про розрахункову і фактичну встановлену дальність радіозв'язку.

Метою практичних занять є набуття навичок виконання інженерних розрахунків зон обслуговування мереж технологічного радіозв'язку за відомчими методиками.

Матеріали вказівок ураховують досвід і практику викладання дисципліни на кафедрі транспортного зв'язку і забезпечують підготовку до виконання практичних завдань та тестового контролю знань.

НОРМАТИВНО-ПРОГРАМНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Робоча програма дисципліни «Радіотехнічні системи на залізничному транспорті» включає Змістовий модуль 2. Проектування і розрахунок мереж технологічного радіозв'язку з темами: «Особливості поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць», «Методи розрахунку енергетичних характеристик радіоканалів», «Розрахунок дальності дії поїзного радіозв'язку в мережах з направляючими лініями та випромінюючими кабелями», «Розрахунок дальності дії в каналах станційного та поїзного радіозв'язку метрового діапазону за відомчими методиками», «Розрахунок каналів у перспективних цифрових мережах технологічного радіозв'язку дециметрового діапазону».

При вивченні курсу здобувачі отримують відповідні фахові компетенції.

ФК-5. Здатність використовувати нормативну та правову документацію, що стосується інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем (закони України, технічні регламенти, міжнародні та національні стандарти, рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку і т. п.) для вирішення професійних завдань, у тому числі в галузі залізничного транспорту.

ФК-11. Здатність складати нормативну документацію (інструкції) з експлуатаційно-технічного обслуговування інформаційно-телекомунікаційних мереж залізничного транспорту, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, а також за програмами випробувань.

ФК-15. Здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно-телекомунікаційних мереж,

телекомунікаційних та радіотехнічних систем, у тому числі на залізничному транспорті, відповідно до технічного завдання.

Результати навчання після засвоєння дисципліни.

PH2. Вміння застосовувати базові знання основних нормативно-правових актів та довідкових матеріалів, чинних стандартів та технічних умов, інструкцій та інших нормативно-розпорядчих документів у галузі електроніки та телекомунікацій, у тому числі в системах телекомунікацій на залізничному транспорті

PH7. Здатність брати участь у проектуванні нових (модернізації існуючих) телекомунікаційних систем, інфокомунікаційних, телекомунікаційних мереж, радіотехнічних систем, у тому числі на залізничному транспорті.

Метою методичних вказівок є ознайомлення з вимогами чинних нормативно-технічних документів з організації та проектування мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті та набуття практичних навичок розроблення технічних пропозицій з організації радіомереж і виконання типових розрахунків.

1 КАНАЛИ ПОЇЗНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ГЕКТОМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ РАДІОХВИЛЬ

1.1 Загальні положення

Система поїзного радіозв'язку (ПРЗ) складається з окремих радіомереж, що за принципом побудови поділяються на лінійні та зонові. Лінійна мережа ПРЗ призначена для безпосереднього зв'язку диспетчера з рухомими об'єктами вздовж усієї ділянки, а зонава – у виділених зонах здебільшого на підходах до станцій і на їхніх територіях. Лінійними

мережами ПРЗ, що працюють у діапазоні гектометрових радіохвиль (ГМХ), оснащується вся мережа залізниць. При роботі в мережі ПРЗ радіостанції мають бути завжди ввімкненими. Радіомережі ПРЗ на цей час працюють в одночастотному симплексному режимі [1, 2].

Поїзний радіозв'язок у гектометровому діапазоні здійснюється на частотах 2,13 і 2,15 МГц. Лінійні симплексні радіомережі ПРЗ організовані в гектометровому діапазоні радіохвиль, а зонові – у діапазоні метрових хвиль. Основним каналом ПРЗ є канал лінійної мережі, а додатковим – канал зонові радіомережі. Частота 2,13 МГц використовується для зв'язку машиніста локомотива з поїзним диспетчером і частота 2,15 МГц для зв'язку машиніста з черговим по депо.

Лінійні радіомережі ПРЗ-Л мають будуватися за радіопроводовим принципом із встановленням стаціонарних радіостанцій на всіх роздільних пунктах, де переважно є постійне чергування працівників служби руху. Стаціонарні радіостанції (РС) мають підключатися до лінії зв'язку або спеціально виділеного каналу зв'язку аналогових або цифрових систем передачі. При цьому, безпосередньо по радіоканалу здійснюється зв'язок між стаціонарною і возивною радіостанціями у межах їхніх зон дії, а через проводову лінію зв'язку – між стаціонарними радіостанціями і розпорядчою станцією у диспетчера [2, 3].

Енергія високої частоти в мережах ПРЗ діапазону гектометрових хвиль може передаватися від передавача до приймача як за рахунок полів випромінювання, створюваних антенами, так і за рахунок полів індукції, створюваних у зоні проходження спеціальних направляючих ліній. Другий спосіб забезпечує більшу дальність і якість зв'язку, тому що високочастотна енергія передавача концентрується та спрямовується безпосередньо вздовж напрямку руху локомотива.

У діапазоні гектометрових радіохвиль можна створити досить ефективні стаціонарні антени. Так, у реальних антен в системі ПРЗ при

висоті проводу 15 – 25 м коефіцієнт корисної дії Г-подібної антени складає 25 – 50 %. Але розміри локомотивних антен суттєво обмежені і реально мають довжину 7,5 – 12 м при висоті підвісу над корпусом локомотива 0,6 – 0,8 м. Коефіцієнт корисної дії таких антен складає всього 2,3...4 %. Через великі розміри антен носивних радіостанцій в мережах ПРЗ гектометрового діапазону вони не використовуються.

Антенна довільної довжини за допомогою додаткових реактивних елементів, що входять до складу антенно-узгоджуючого пристрою, настраюється в резонанс на робочу частоту радіоканала [3].

Для збільшення дальності радіозв'язку в мережах ПРЗ гектометрового діапазону широко застосовують передачу високочастотних сигналів по провідних направляючих лініях, що проходять вздовж залізничних колій. При цьому, вихід передавача стаціонарної радіостанції підключають не до антени, а через спеціальну систему збудження до направляючої лінії. Поширення радіохвиль у цьому випадку здійснюється з меншим згасанням (насамперед за рахунок концентрації електромагнітної енергії безпосередньо в зоні проходження лінії) і дальність радіозв'язку зростає. Важливим є і те, що при використанні направляючих ліній, рівні сигналів мало залежать від характеру місцевості [3, 4].

1.2 Облаштування стаціонарних антен поїзного радіозв'язку

Стаціонарні Г- і Т-подібні антени складаються з вертикального проводу – зниження, один кінець якого підключений до виходу прийомопередавача, а другий – до горизонтального проводу (рисунок 1.1).

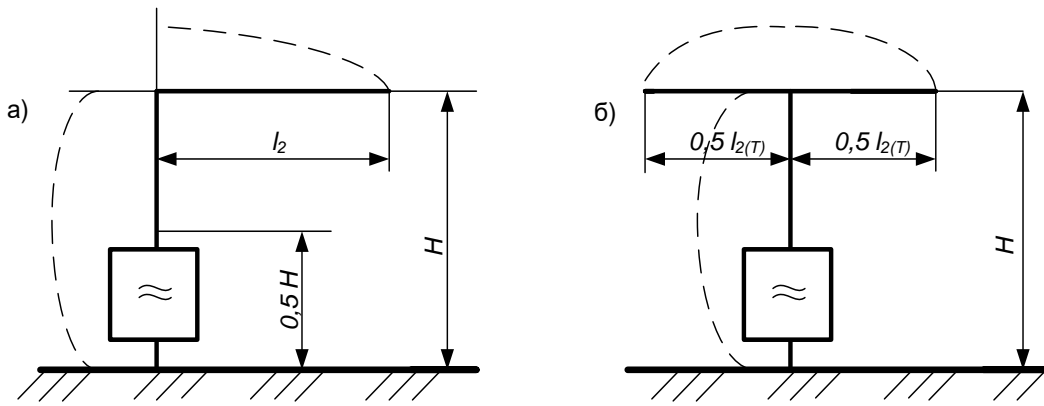


Рисунок 1.1 – Розподіл струму вздовж проводу антен

Повна довжина антени має складати

$$l_a = 0,25\lambda + 0,5H,$$

а довжина горизонтального проводу

$$l_r = 0,25\lambda - 0,5H,$$

де λ – довжина хвилі, м, $\lambda=140,8$ м для частоти 2,13 МГц;

H – висота підвісу горизонтальної частини антени (довжина вертикального проводу зниження), м.

Основне випромінювання антени забезпечує вертикальний провід, а горизонтальний лише забезпечує більш рівномірний розподіл струму у вертикальній частині антени. При зазначеній довжині антени пучність струму знаходиться всередині вертикальної частини антени, що сприяє підвищенню ефективності випромінювання. Вхідний опір такої антени має індуктивний характер і її можна налаштувати за допомогою конденсаторів у складі антенно-узгоджувача, які добротніші за котушки індуктивності, й тому вносять менші втрати.

Коефіцієнт корисної дії антен суттєво залежить від висоти підвісу, тому стаціонарні Г- і Т-подібні антени ПРЗ повинні мати висоту не менше 15 м.

Варіанти влаштування Г-подібних антен наведені на рисунку 1.2.

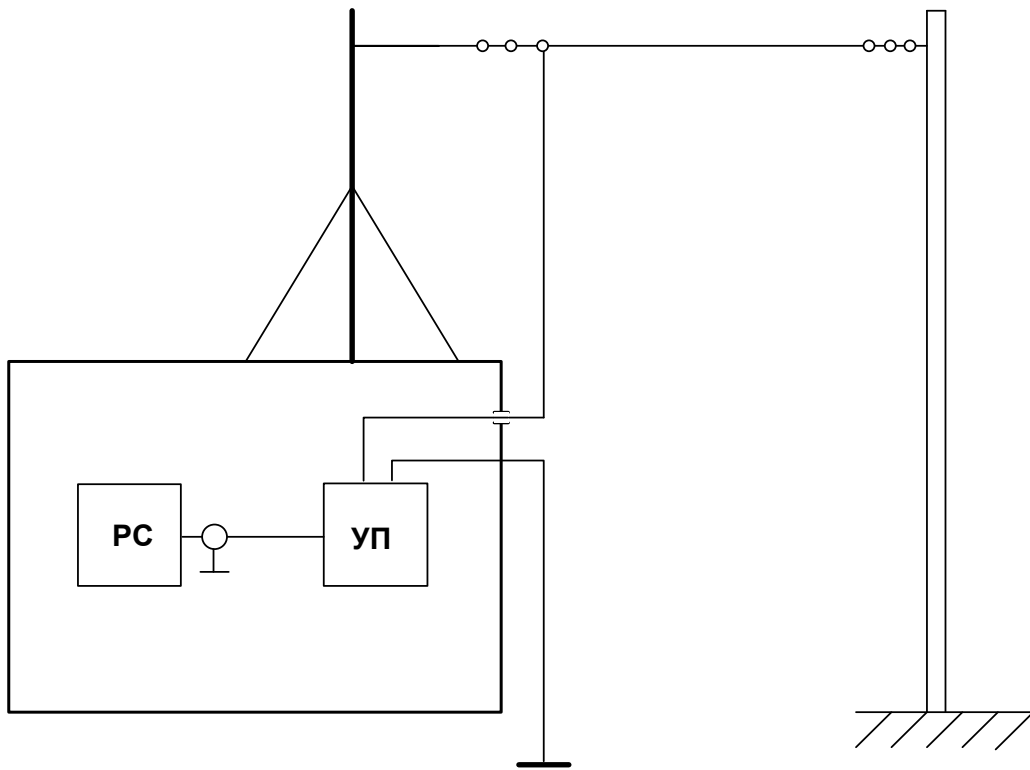
Для виготовлення антен слід використовувати мідні антенні проводи марки МА перерізом не менше 10 мм². Горизонтальну частину і зниження Г-подібної антени необхідно виконувати з суцільного куска проводу. Горизонтальну частину антен необхідно розташовувати вздовж залізничної колії та ізолювати проводи антени від щогл трьома горішковими ізоляторами. Щогли доцільно обладнати пристроями спуску та підйому антени.

При розміщенні радіостанції в одноповерховому будинку антенно-узгоджуючий пристрій УП має встановлюватися всередині приміщення.

Введення зниження в будинок має здійснюватися через прохідні ізолятори (антенні введення) або через порцелянові трубки. Для зменшення втрат високочастотної енергії зниження антени має бути віднесене від даху і стін будинку на відстань не менше 0,5 м (рисунок 1.2, а).

При використанні двох окремих щогл зниження антени рекомендується виконувати на щоглі, віддаленій від будинку. Зниження підключається до УП, який встановлюється на опорі і з'єднується з радіостанцією коаксіальним кабелем (рисунок 1.2, б) [3].

а



б

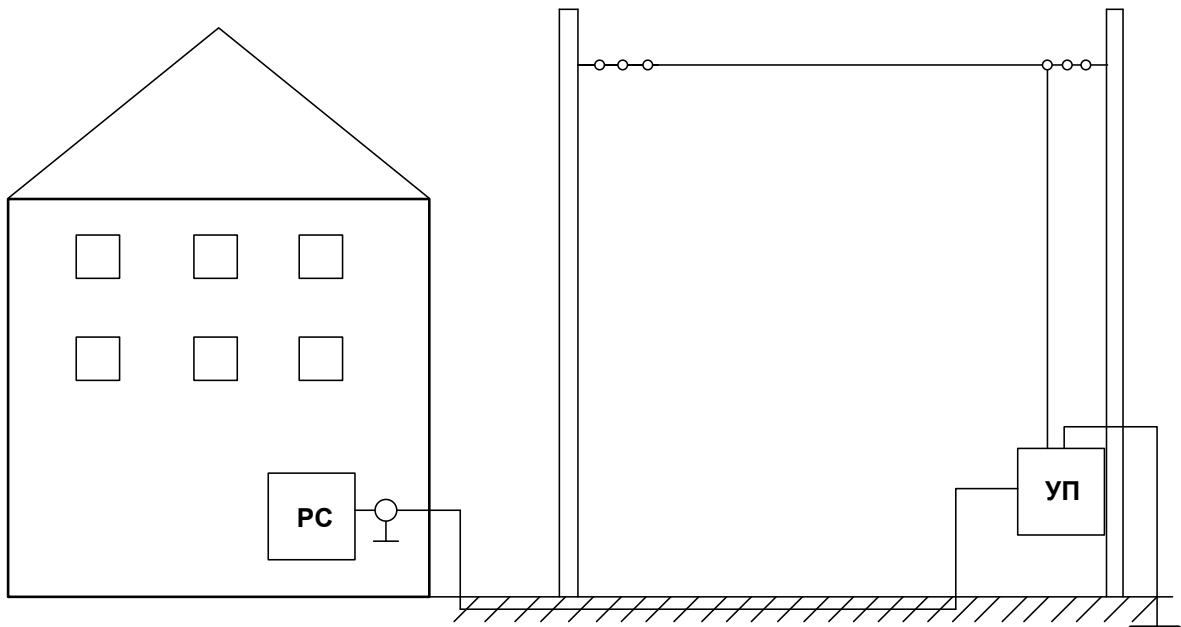


Рисунок 1.2 – Варіанти влаштування Г-подібних антен ПРЗ гектометрового діапазону

Стационарні антени мають бути обладнані робочим заземленням з опором не більше 10 Ом. При установленні УП всередині службово-технічних споруд як робоче заземлення можна використовувати захисне заземлення об'єкта. Для з'єднання УП із заземленням необхідно використовувати сталеві шини, стрічки або оголені проводи перерізом не менше 16 мм².

У ґрунтах з низькою провідністю ґрунту ($\sigma < 10^{-2}$ 1/ Ом-м) одночасно з робочим заземленням антени необхідно передбачати укладання в землю на глибину 0,2—0,3 м чотирьох-п'яти проводів уздовж горизонтальної частини антени симетрично стосовно неї. Довжина проводів має приблизно дорівнювати відстані між щоглами, а відстань між проводами складати 1,5-2 м. Проводи, що укладаються в землю, мають з'єднуватися з робочим заземленням.

1.3 Розрахунок дальності радіозв'язку при використанні стаціонарних антен

Для розрахунку дальності впевненого радіозв'язку r при використанні стаціонарних антен визначають мінімально допустиму напруженість поля сигналу $E_{\text{доп}}$, мкВ/м, яку необхідно мати в місці приймання, і напруженість поля E_a , мкВ/м, створювану антеною:

$$E_{\text{доп}} = K_i \cdot K_{\text{доп}} \cdot E_z, \quad (1.1)$$

$$E_a = \frac{10,9 \sqrt{P_a \eta_a D}}{r} W \cdot 10^{-6},$$

де $K_{\text{доп}}=6$ дБ – мінімально допустиме відношення сигнал/завада на вході приймача, при якому забезпечується необхідна розбірливість мови (під сигналом розуміється його середнє значення);

K_i – коефіцієнт, що враховує зменшення рівня сигналу внаслідок інтерференційних явищ в точках мінімуму відносно його середнього значення (на ділянках залізниць з електричною тягою приймають $K_i=6$ дБ, при тепловозній тязі $K_i=3$ дБ).

$K_{\text{доп}}$, K_i – визначаються у відносних одиницях: $K_{\text{доп}}=2$; $K_i=2$ на ділянках з електричною тягою, $K_i=1,4$ – на ділянках з тепловозною тягою;

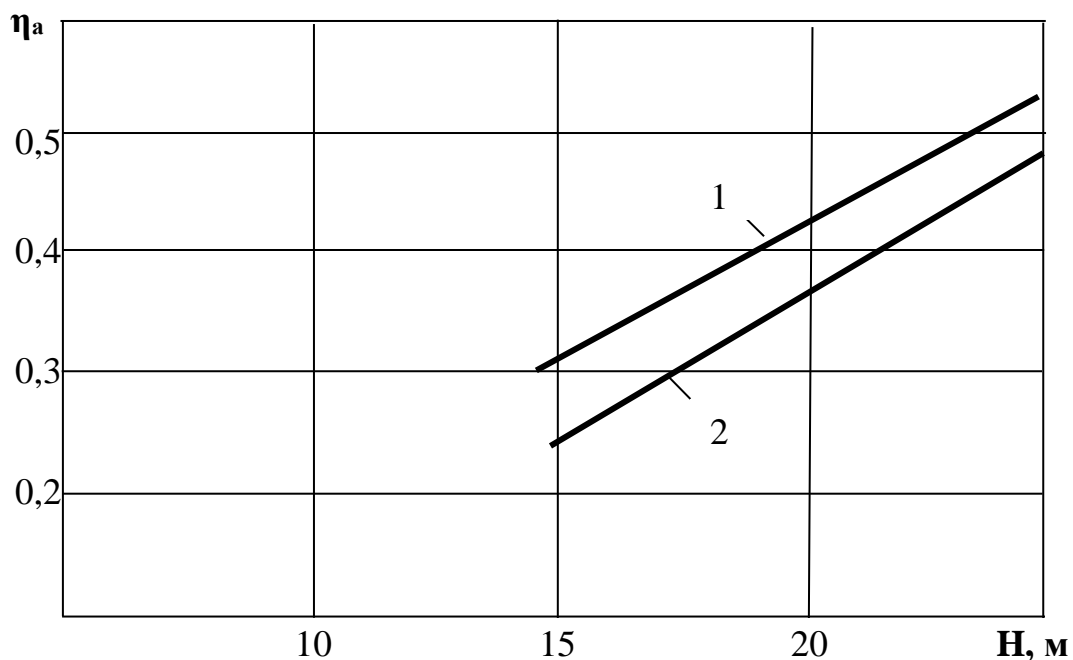
E_3 – квазіпікове значення напруженості поля радіозавад на рівні інтегральної ймовірності 0,8; значення E_3 наведені в таблиці 1.1;

P_a – потужність, що підводиться до антени, Вт;

η_a – ККД антени; для локомотивних антен $\eta_a=0,015-0,020$; η_a для стаціонарних антен визначається за графіками на рисунку 1.3;

D – коефіцієнт спрямованої дії антени відносно ізотропного випромінювача; $D=1,5$;

W – множник ослаблення напруженості поля.



1 – для Т-подібних антен; 2 – для Г-подібних антен

Рисунок 1.3 – Залежність коефіцієнта корисної дії стаціонарних антен від висоти підвісу

Таблиця 1.1 – Напруженність поля радіозавад

Тяга	E _з , мкВ/м; дБ, для радіостанцій	
	возивних	стаціонарних
Електрична: змінного струму	380; 52	80; 38
постійного струму	280; 49	50; 34
Автономна	25; 28	20; 26

Значення потужності, що підводиться до антени, слід визначити за формулою

$$P_a = P \cdot 10^{-0,1(\alpha_{\phi} l_{\phi} + a_{уп})}, \quad (1.2)$$

де P – вихідна потужність передавача, 8 Вт, для радіостанцій комплексу ЖР-У; 4 Вт, якщо радіостанція працює на два навантаження; 12 Вт для радіостанцій «Оріон» РС-6; 6 Вт на кожному навантаженні при роботі на два навантаження;

α_{ϕ} – коефіцієнт згасання фідера, дБ/м. Для коаксіальних кабелів, що застосовуються в мережах ПРЗ, $\alpha_{\phi} = (0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоті 2130 кГц;

l_{ϕ} – довжина фідера, що з'єднує радіостанцію з узгоджувальним пристроєм;

$a_{уп} = 1,5$ дБ – згасання, що вносить узгоджувачий пристрій.

Множник ослаблення

$$W = (2 + 0,3X) / (2 + X + 0,6X^2),$$

де X – розрахунковий коефіцієнт, що визначається за формулою (1.3)

$$X = \frac{\pi r \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\lambda(\varepsilon)^2 + (60\lambda\sigma)^2}, \quad (1.3)$$

де λ – довжина хвилі, м, дорівнює 140,8 м для частоти поїзного радіозв'язку 2130 кГц і 139,5 м для частоти 2150 кГц;

ε – відносна діелектрична проникність ґрунту;

σ – питома провідність ґрунту, 1/(Ом·м).

З достатньою для практики точністю дальність упевненого радіозв'язку можна визначити за графіками на рисунку 1.4 [3].

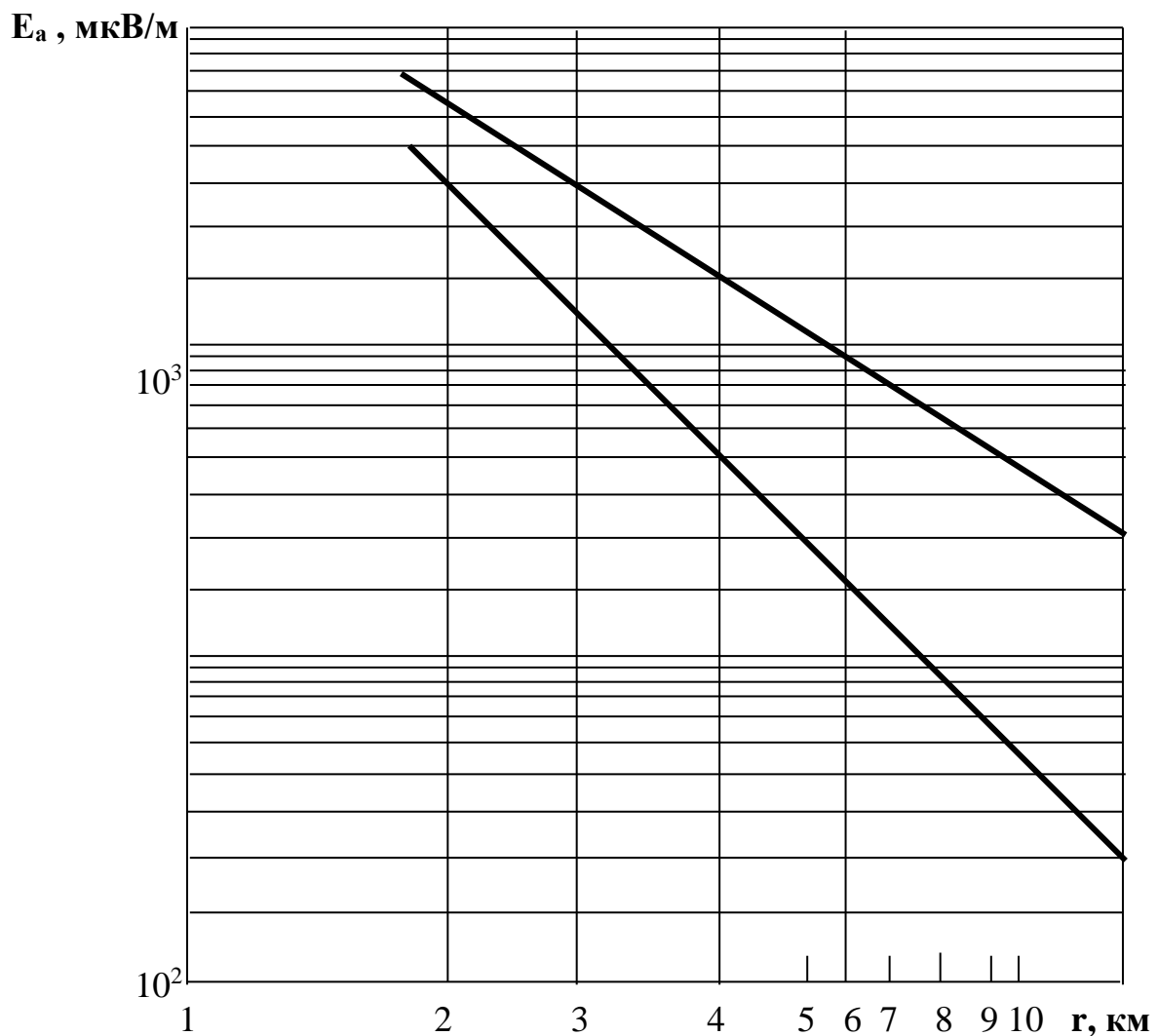


Рисунок 1.4 – Графіки для визначення дальності радіозв'язку при використанні стаціонарних антен

Графіки є залежністю напруженості поля від відстані $E_a = f(r)$ при $\sqrt{P_a \eta_a} = 1 \text{ Вт}$ для ґрунту з параметрами $\sigma = 10^{-2} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$ і $\varepsilon = 10$ (крива 1) і $\sigma = 10^{-3} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$, $\varepsilon = 4$ (крива 2).

Дальність радіозв'язку r визначається як точка перетину прямої, яка проведена паралельно осі абсцис на рівні $E_{\text{доп}}$ з однією з кривих 1 або 2 відповідно до параметрів ґрунту.

Якщо при розрахунку значення $\sqrt{P_a \eta_a}$ відрізняється від 1 Вт, то це враховують поправкою $\frac{E_{\text{доп}}}{\sqrt{P_a \eta_a}}$.

Приклад розрахунку дальності зв'язку з антенами наведено нижче.

Приклад 1. Визначити дальність радіозв'язку при використанні стаціонарних антен на ділянках з електричною тягою постійного і змінного струму та автономною тягою.

Зв'язок організується з використанням стаціонарної Г-подібної антени висотою 20 м. Крім антени, до радіостанції має бути підключена направляюча лінія. Параметри ґрунту $\varepsilon = 4$, $\sigma = 10^{-3} \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$.

Для розрахунку дальності радіозв'язку r при використанні стаціонарних антен визначають мінімально допустиму напруженість поля сигналу $E_{\text{доп}}$, яку необхідно забезпечити в місці приймання, і напруженість поля E_a , створювану антеною залежно від відстані між антеною й місцем приймання:

$$E_{\text{доп}} = K_i K_{\text{доп}} E_z,$$

де $K_{\text{доп}} = 2$; $K_i = 2$ на ділянках з електричною тягою й $K_i = 1,4$ – на ділянках з автономною тягою.

Напруженість поля радіозавад E_z визначається з таблиці 1.3 [3].

Для ділянок з автономною тягою $E_{\text{доп}} = 70$ мкВ/м, з електричною тягою постійного струму $E_{\text{доп}} = 1120$ мкВ/м, змінного струму $E_{\text{доп}} = 1520$ мкВ/м.

Значення дальності зв'язку r можна визначити, прийнявши $E_{\text{доп}} = E_a$. Графіки побудовані для значень $\sqrt{P_a \eta_a} = 1$, тому необхідно визначити значення $\sqrt{P_a \eta_a}$ відповідно до умов даного приклада.

Значення потужності, підведеної до антени, можна визначити з формули $P_a = P \cdot 10^{-0,1(\alpha_\phi \ell_\phi + a_{\text{уп}})}$.

Прийнявши потужність передавача $P = 12$ Вт для радіостанцій «Оріон» при роботі радіостанції на одне навантаження P_a складе $P_a = 12 \cdot 10^{-0,1(0,007 \cdot 30 + 1,5)} = 8,1$ Вт; а при роботі радіостанції на два навантаження $P_a = 4,05$ Вт.

Значення коефіцієнта корисної дії антени $\eta_a = 0,38$ визначається за графіками на рисунку 1.3. Тоді, у випадку роботи радіостанції на одне навантаження $\sqrt{P_a \eta_a} = 3,08$, а на два навантаження – $\sqrt{P_a \eta_a} = 1,54$.

Тоді, щоб врахувати реальну потужність передавачів радіостанцій, приведених до кривих поширення радіохвиль, необхідно відповідно зменшити $\frac{E_{\text{доп}}}{\sqrt{P_a \eta_a}}$, при цьому дальність буде зростати.

Дальність упевненого радіозв'язку при використанні стаціонарних антен складе при роботі радіостанції на одне навантаження на ділянках з автономною тягою 14 км, з електричною тягою постійного струму – 4,5 км, на ділянках змінного струму – 4,2 км; при роботі на два навантаження дальність радіозв'язку складе 11,5 км; 3,5 км і 3,2 км відповідно.

1.4 Використання направляючих ліній в каналах ПРЗ гектометрового діапазону

1.4.1 Типи направляючих ліній в каналах ПРЗ гектометрового діапазону

Якщо при використанні стаціонарних антен не забезпечується необхідна дальність зв'язку, для збільшення дальності радіозв'язку в ПРЗ гектометрового діапазону широко застосовують передачу високочастотних сигналів по провідних направляючих лініях, що проходять вздовж залізничних колій. При цьому вихід передавача стаціонарної радіостанції підключають не до антени, а через спеціальну систему збудження до направляючої лінії.

Як направляючі лінії в ПРЗ гектометрового діапазону використовують або спеціально підвішений хвилеводний провід, або проводи з кольорових металів інших ліній, що проходять вздовж залізниць.

На ділянках залізниць із автономною тепловозною тягою поїздів як направляючі лінії використовують проводи з кольорових металів повітряних ліній зв'язку або два проводи трифазних високовольтних ліній (ВЛ) поздовжнього електропостачання нетягових споживачів.

На електрифікованих ділянках залізниць постійного струму підвіска на опорах контактної мережі спеціального хвилеводного проводу здійснюється у випадках, коли використання інших типів направляючих ліній не забезпечує необхідної дальності радіозв'язку [3, 5].

На електрифікованих ділянках залізниць змінного струму як направляючі лінії насамперед використовують проводи трифазних несиметричних високовольтних ліній ДПР (два проводи – рейка), які підвішують на опорах контактної мережі з однієї або різних сторін колій з польової сторони.

На ділянках зі швидкісним рухом поїздів або за наявності перегонів довжиною понад 12 км, якщо проводи ДПР підвішені з різних сторін колії, передбачається підвіска хвилеводного проводу під проводами ДПР.

Підключення стаціонарних радіостанцій до направляючих ліній може бути здійснене індуктивним способом або через розділові високовольтні конденсатори.

Індуктивний спосіб є основним, бо виключає безпосередній гальванічний зв'язок з проводами високої напруги і зменшує ймовірність попадання високої напруги в схему збудження.

Збуджуючий провід або два проводи (залежно від схеми вмикання) довжиною чверть хвилі $l = (35 \pm 0,5) \text{ м}$ підвішують паралельно проводам направляючої лінії на відстані 0,8 м від проводів ДПР або ВЛ 35 кВ; 0,6 м – від проводів ВЛ 10 кВ; 0,5 м – від хвилеводних проводів; 0,25 м – від проводів повітряної лінії зв'язку [3].

Схеми високочастотного збудження направляючих ліній наведені на рисунках 1.5 – 1.10 згідно з правилами організації і проектування мереж поїзного радіозв'язку [1].

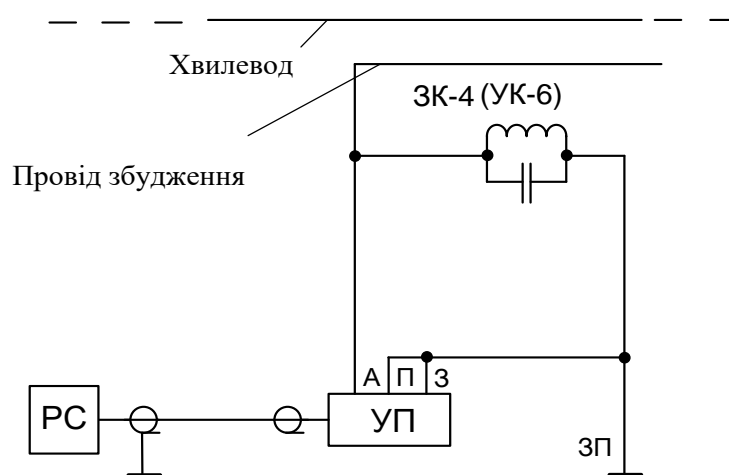


Рисунок 1.5 – Схема високочастотного збудження однопровідного хвилевода

У випадку, коли хвильовий канал утворюють один хвилеводний провід або декілька проводів спрямовуючої лінії і земля, таку схему збудження називають синфазною (рисунок 1.5).

Сигнали менше згасають у хвильовому каналі між двома проводами направляючої лінії. При цьому в проводах тече струм зворотних напрямків, а схему збудження називають протифазною. Високочастотне збудження дво- і трипроводних спрямовуючих ліній має бути протифазним для створення міжпроводної хвилі, що поширюється з меншим згасанням (рисунок 1.6).

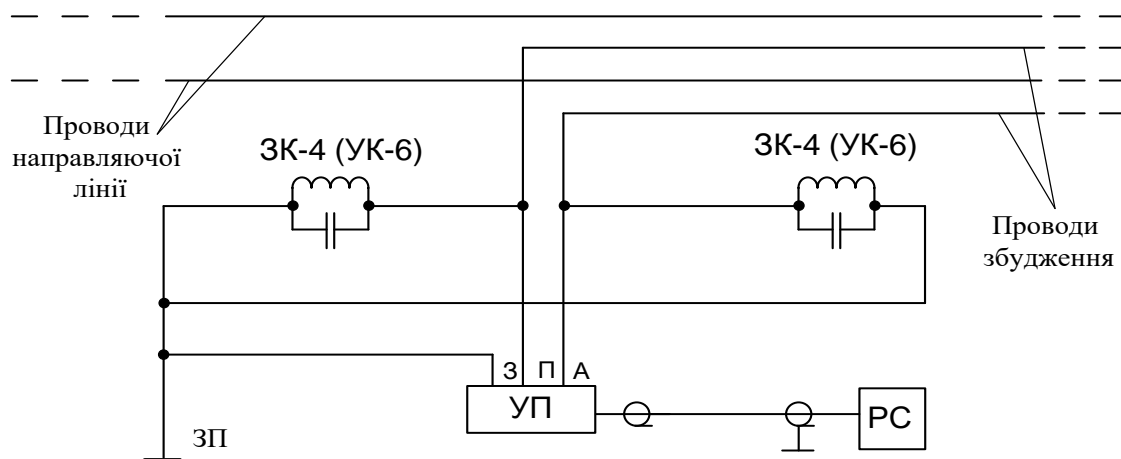


Рисунок 1.6 – Схема високочастотного збудження двопроводної направляючої лінії

Вхідний опір збуджуючих проводів узгоджується з хвильовим опором коаксіального кабелю фідера, який іде від радіостанції, за допомогою антенно-узгоджувачого пристрою УП, що входить до комплекту стаціонарної радіостанції.

Як фідер використовують коаксіальні кабелі типу РК 50-7-11 і РК 50-7-16 з хвильовим опором 50 Ом і коефіцієнтом згасання $0,8 \cdot 10^{-2}$ і $0,7 \cdot 10^{-2}$ дБ/м відповідно. Захисне заземлення збуджуючих проводів високовольтних ліній, а також хвилеводних проводів на електрифікованих ділянках залізниць здійснюють на рейку через запираючі контури ЗК-4 або

узгоджувальні контури СК-6. Ці паралельні коливальні контури настроюють на частоту поїзного радіозв'язку і вони виконують роль високочастотних загороджувачів, запобігаючи витoku струму. Опір загороджувачів на частоті ПРЗ складає понад 10 – 15 кОм при малому значенні опору постійному струму 0,02 – 0,002 Ом.

Опір робочого заземлення узгоджуючого пристрою схеми збудження не має перевищувати 10 Ом. При низькій провідності ґрунту ($\sigma < 10^{-2}$ 1/Ом м) рекомендується прокладати в землі три – чотири проводи паралельно збуджуючому проводу. Ці проводи мають бути біметалевими та надійно з'єднаними з заземленням.

У місцях анкерування на кінцях хвильового проводу вмикають узгоджувальні навантаження з опором, рівним хвильовому опору хвильового проводу. Заземлення навантажувальних резисторів має здійснюватися на окремий заземлювач з опором не більшим 60 Ом (рисунок 1.7). Для захисту від перенапруг паралельно блоку узгоджених навантажень необхідно підключати розрядники.

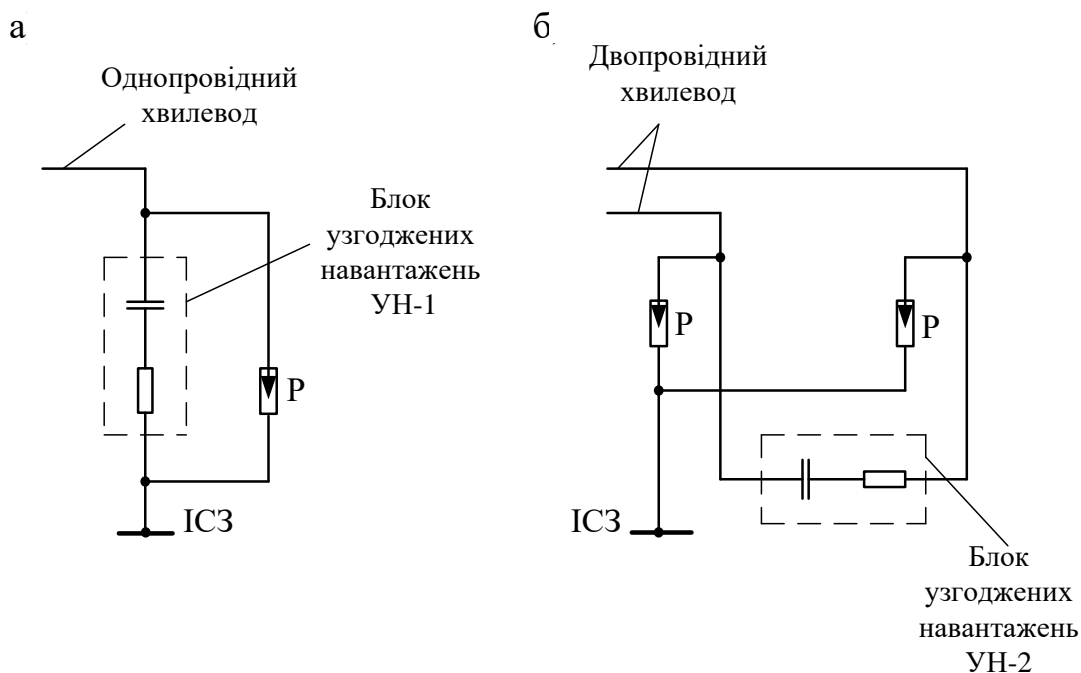


Рисунок 1.7 – Схеми анкерування однопровідного (а) і двопровідного (б) хвильоводів

Хвилеводний провід на ділянках з електротягою змінного струму розділяється на секції, довжина яких розраховується так, щоб наведена напруга на її кінцях не перевищувала 1000 В у режимі короткого замикання контактної мережі. Сусідні секції з'єднуються між собою через розділові конденсатори, а для зменшення наведеної напруги кожна секція всередині з'єднується з середньою точкою дросель-трансформатора рейкових кіл через загороджувальний резистор. Опір загороджувального резистора має бути не менше 10 кОм для високочастотних радіосигналів і знаходитись в межах 500 – 1000 Ом для змінного струму частотою 50 Гц.

Схема секціонування хвилеводного проводу наведена на рисунку 1.8.

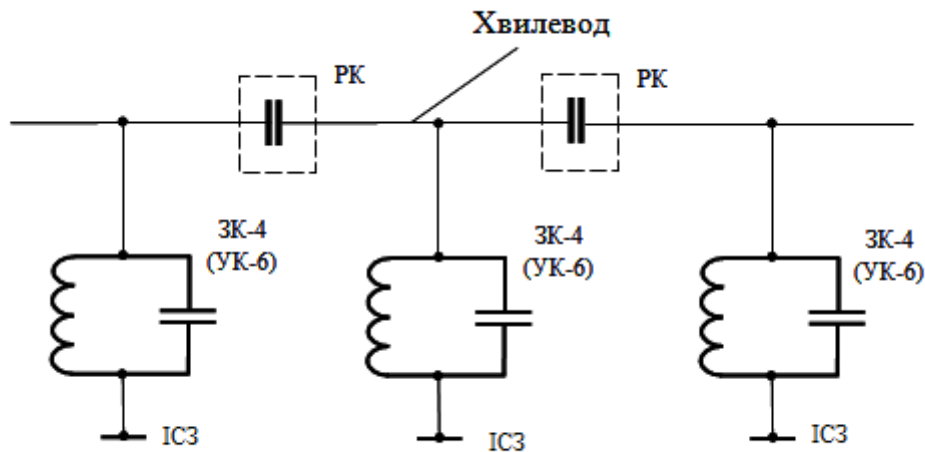


Рисунок 1.8 – Схеми секціонування однопровідного хвилевода

Збудження проводів повітряної лінії здійснюється за синфазною схемою. Збуджуючий провід підвішують симетрично відносно проводів з кольорового металу повітряної лінії.

Противазне збудження проводів ДПР, розташованих з різних сторін колії, має здійснюватись за схемою (рисунок 1.9) з використанням узгоджувальних контурів СК-6. Противазність збудження досягається за рахунок того, що один із кабелів l_2 або l_3 вибирається довшим на 46 м,

тобто на половину довжини хвилі в коаксіальному кабелі з урахуванням коефіцієнта вкорочення $1/\sqrt{\varepsilon}$; де ε – діелектрична проникність матеріалу ізоляції жил. Для узгодження опорів вмикається відрізок кабелю довжиною $l = 9,05$ м і конденсатор C ємністю $1000 - 1100$ пФ. Конденсатор C і узгоджувачий відрізок кабелю розташовують у приміщенні поряд із стаціонарною радіостанцією.

Коаксіальні кабелі фідерів підключаються до контурів СК-6 через розділові конденсатори ємністю $C_p \geq 0,25$ мкФ, які витримують напругу змінного струму не менше 1000 В. Цей захід виключає протікання по оболонці кабелю зрівнювального струму, викликаного різницею потенціалів між заземленнями пристроїв збудження і радіостанції [3, 5].

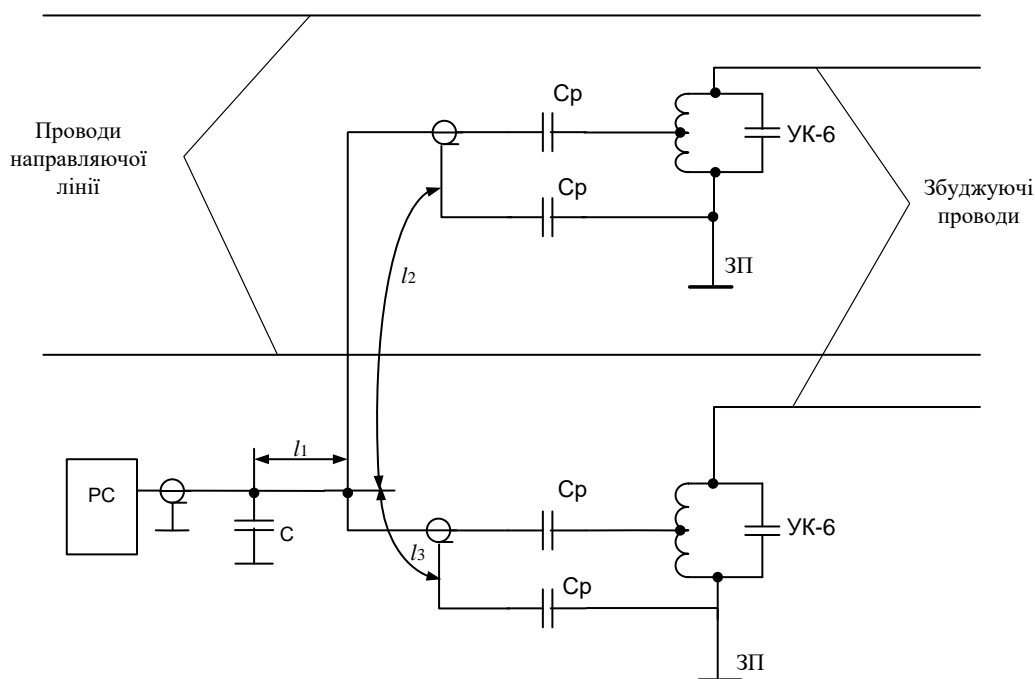


Рисунок 1.9 – Схема високочастотного збудження проводів ДПР, розташованих з різних сторін колії

На великих станціях зі значною кількістю колій, якщо відстань до найвіддаленішої колії на електрифікованих ділянках залізниць перевищує:

50 м – до проводів повітряної лінії зв'язку, 45 м – до проводів ДПР, 35 м – до проводів ВЛ, то до стаціонарної радіостанції одночасно підключаються і збуджуючий провід і антена.

Схема підключення радіостанції при роботі на два навантаження наведена на рисунку 1.10. Узгодження опорів у схемі може виконуватись за допомогою узгоджувачого лінійного трансформатора ЛТ-3. З цією метою може бути використаний відрізок кабелю $l=9,05$ і конденсатор $C=1000-1100$ пФ, як у схемі на рисунку 1.10.

Для забезпечення мінімального згасання високочастотних сигналів ПРЗ при їх поширенні по проводах направляючих ліній, а також створення безпечних умов особам, які користуються радіозв'язком, і захисту апаратури ПРЗ від високої напруги направляючі лінії обладнуються спеціальними лінійними пристроями.

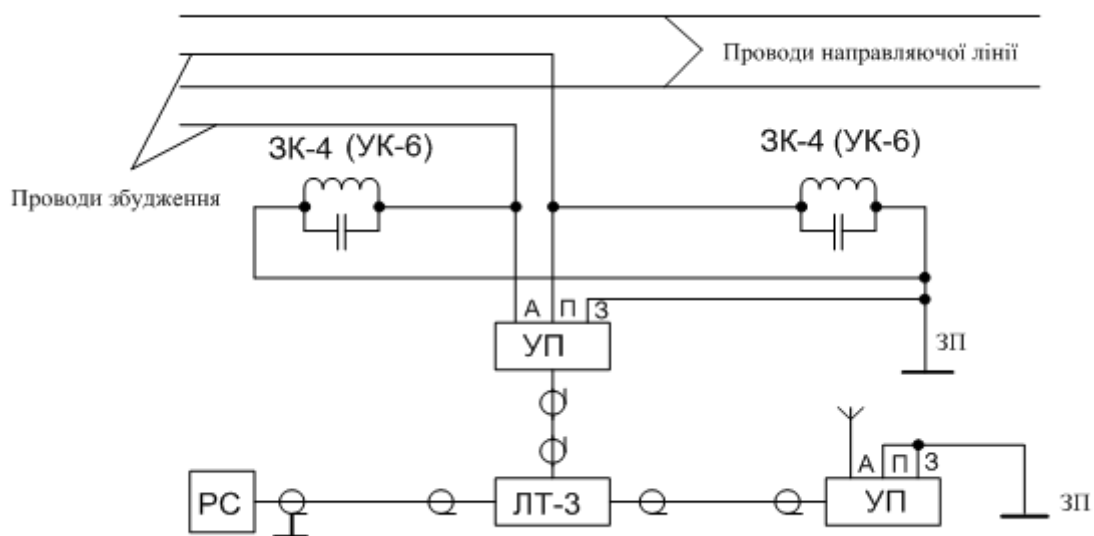


Рисунок 1.10 – Варіанти схем підключення радіостанцій при роботі на два навантаження

До лінійних пристроїв ПРЗ входять: лінійні узгоджувачі трансформатори (ЛТ), розділові високовольтні конденсатори, запираючі і

узгоджуючі контури ЗК-4 і СК-6, запираючі резистори (ЗР), узгоджені навантаження (УН), іскрові проміжки (ІП) і розрядники (Р).

При використанні проводів ДПР і ВЛ в якості направляючих ліній здійснюється високочастотний обхід тягових підстанцій і роз'єднувачів, а також високочастотна обробка силових трансформаторів, що підключаються.

З метою високочастотної обробки силових трансформаторів у відводи, які йдуть від високовольтих проводів, послідовно включають загороджувачі – контури ЗК-4 або СК-6, що розраховані на максимальний робочий струм 32 А і 85 А відповідно.

1.4.2 Розрахунок дальності радіозв'язку

Важливою складовою частиною проектування мережі поїзного радіозв'язку є розрахунок дальності дії.

Дальність дії радіозв'язку між стаціонарною та локомотивною радіостанціями при застосуванні направляючих ліній визначають за формулою

$$r = \frac{A_{\text{прд}} - U_{\text{мін}} - A_{\text{пер}} - \sum a_{\text{ст}} - \sum a_{\text{лін}} - \sum a_{\text{лок}}}{\alpha_{\text{л}}} \quad (1.4)$$

де $A_{\text{прд}}$ – рівень напруги сигналу на виході передавача радіостанції, дБ; для радіостанцій, що використовуються на залізничному транспорті $A_{\text{прд}} = 148$ дБ. Якщо радіостанція працює на два навантаження, наприклад на направляючу лінію і антену, то $A_{\text{прд}} = 145$ дБ для кожного навантаження;

$U_{\text{мін}}$ – мінімально необхідний рівень корисного сигналу на вході радіостанції, дБ;

$A_{\text{пер}}$ – перехідне згасання між проводами направляючої лінії і локомотивною антеною, дБ;

$\Sigma a_{\text{ст}}$, $\Sigma a_{\text{лін}}$, $\Sigma a_{\text{лок}}$ – сумарні згасання сигналу в станційних, лінійних і локомотивних пристроях поїзного радіозв'язку відповідно, дБ;

$\alpha_{\text{л}}$ – коефіцієнт згасання сигналу ПРЗ в проводах направляючих ліній, дБ/км.

Мінімально необхідний рівень корисного сигналу в формулі (1.4) визначають як

$$U_{\text{мін}} = U_{\text{з}} + K_{\text{доп}} + K_{\text{і}}, \quad (1.5)$$

де $U_{\text{з}}$ – квазіпікове значення напруги, дБ, радіозавад на рівні інтегральної ймовірності 0,8 на вході приймача радіостанції при максимальних значеннях споживаного локомотивом струму і нормальних погодних умовах (відсутність паморозі, інею, ожеледі й інших відкладень на направляючих лініях і проводах контактної мережі);

$K_{\text{доп}}=6$ дБ – мінімально допустиме відношення сигнал/завада на вході приймача;

$K_{\text{і}}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення рівня сигналу внаслідок інтерференційних явищ у точках мінімуму відносно його середнього значення (на ділянках залізниць з електричною тягою приймають $K_{\text{і}}=6$ дБ, при тепловозній тязі $K_{\text{і}}=3$ дБ).

Значення $U_{\text{з}}$ і $U_{\text{мін}}$ для стаціонарних і локомотивних радіостанцій, за наявності на локомотивах завадоподавляючих пристроїв залежно від виду тяги й типу направляючих ліній наведені в таблиці 1.2.

Перехідне згасання між проводами направляючої лінії і локомотивною антеною $A_{\text{пер}}$ та коефіцієнт згасання сигналів у проводах направляючих ліній $\alpha_{\text{л}}$ вибирають за таблицею 1.3.

Значення $A_{\text{пер}}$ для одноколійних ділянок необхідно брати на 4 дБ менше значень, наведених у таблиці 1.3.

Якщо відстань R між локомотивною антеною та проводами ПЛЗ або ВЛ, що підвішені на окремих опорах, відрізняється від 25 м і перевищує 10 м, то значення $A_{\text{пер}}$ визначається за формулою [3]:

$$A_{\text{пер}} = 50 + 0,5(R - 25), \quad (1.6)$$

де 50 – значення $A_{\text{пер}}$, дБ, при $R=25$ м (таблиця 1.3).

Таблиця 1.2 – Рівні завад та мінімально необхідні рівні корисних сигналів на вході приймачів стаціонарних і локомотивних радіостанцій ПРЗ

Вид тяги поїздів	Тип направляючої лінії	U_z рівень завад на вході радіостанції		$U_{\text{мін}}$ на вході радіостанції	
		возивної (локомотивної), дБ	стаціонарної, дБ	возивної, дБ	стаціонарної, дБ
Електрична змінного струму 25 кВ	Проводи ДПР, що підвішені з однієї сторони колії	60	58	72	70
	Проводи ДПР, що підвішені з різних сторін колії	60	56	72	68
	Двопровідний хвилевід	60	56	72	68
	Однопровідний хвилевід, підвішений під проводом ДПР	60	54	72	66
	Пара проводів – хвилеводний провід-провід ДПР	60	56	72	68
Електрична змінного струму 2х25 кВ	Провід ДПР і провід живлення ПЖ, що підвішені з однієї сторони колії	60	58	72	70
Електрична постійного струму	Два проводи трифазної ВЛ	58	52	70	64
	Двопровідний хвилевід	58	46	70	58
	Однопровідний хвилевід	58	46	70	58
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	58	40	70	52
Тепловозна	Два проводи трифазної ВЛ	38	50	47	59
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	38	30	47	39
	Хвилевід, що підвішений на окремих опорах: - однопровідний - двопровідний	38 38	30 24	47 47	39 34

При визначенні дальності впевненого радіозв'язку необхідно приймати найбільше зі значень U_{\min} для заданого виду тяги і типу направляючих ліній.

Таблиця 1.3 – Параметри направляючих ліній ПРЗ

Вид тяги поїздів	Тип направляючої лінії	$A_{\text{пер}}, \text{дБ}$	$\alpha_c, \text{дБ/км}$	$\alpha_{зб}, \text{дБ/км}$
Електрична змінного струму 25 кВ	Проводи ДПР, що підвішені: з однієї сторони колій	38	2	1,5
	з різних сторін колій	35	4	2,8
	Однопровідний хвилевід, який підвішений під проводами ДПР	38	2	2,1
	Пара проводів хвилевідний провід-провід ДПР	37	1,7	1,5
Електрична змінного струму 2х25 кВ	Проводи ДПР і провід живлення ПЖ, що підвішені з однієї сторони колій	37	2	1,5
Електрична постійного струму	Два проводи трифазної ВЛ	40	2	2,0
	Однопровідний хвилевід	30	2,5	2,1
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	50	1,5	1,6
Електрична постійного і змінного струму	Двопровідний хвилевід у тунелі та на відкритих ділянках	38	1,7	1,5
	Однопровідний хвилевід у тунелі	38	12	2,1
Автономна	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	50	1,5	1,6
	Два проводи трифазної ВЛ	50	2	2,0
	Однопровідний хвилевід у тунелі	38	12	2,1

Сумарне згасання сигналу ПРЗ у станційних пристроях

$$\sum a_{\text{ст}} = \alpha_{\text{ф}} l_{\text{ф}} + a_{\text{уп}} + a_{\text{зб}} + a_{\text{ос}} + K_{\text{п}}, \quad (1.7)$$

де $\alpha_{\text{ф}}$ – коефіцієнт згасання фідера, дБ/м. Для коаксіальних кабелів, які застосовуються у мережах ПРЗ, $\alpha_{\text{ф}} = (0,7-0,8) \cdot 10^{-2}$ дБ/м на частоті 2130 кГц;

$l_{\text{ф}}$ – довжина фідера, що з'єднує радіостанцію з узгоджувачим пристроєм;

$a_{\text{уп}} = 1,5$ дБ – згасання, яке вносить узгоджувачий пристрій;

$a_{зб}$ – згасання, яке вносить схема збудження проводів направляючої лінії, дБ. У випадку безпосереднього приєднання стаціонарної радіостанції до направляючих проводів α_3 практично дорівнює нулю;

$a_{сз}=5-6$ дБ – додаткове згасання при синфазному збудженні хвилеводного проводу або проводів повітряної лінії зв'язку;

$K_{п}=3$ дБ — коефіцієнт, що враховує поширення високочастотної енергії в обидва боки від місця приєднання стаціонарної радіостанції; у випадку збудження направляючої лінії в місці анкерування $K_{п}=0$ дБ.

Значення згасання $a_{зб}$, дБ, яке вносять схеми збудження різних типів направляючих ліній, наведені в таблиці 1.3. Величина згасання $a_{зб}$ не залежить від виду тяги поїздів.

Сумарне згасання сигналу в лінійних пристроях направляючих ліній ПРЗ визначають за формулою

$$\sum a_{\text{лін}} = a_{\text{тп}} + a_{\text{р}} + na_{\text{п}} + ma_{\text{тр}} \quad (1.8)$$

де $a_{\text{тп}}$, $a_{\text{р}}$ – згасання, які вносять відповідно схеми високочастотних обходів тягової підстанції й роз'єднувача, дБ; урахується тільки за наявності таких пристроїв на перегонах; $a_{\text{тп}}=a_{\text{р}}=1$ дБ;

$a_{\text{п}}$ – згасання, внесене зміною сторонності направляючої лінії, дБ; $a_{\text{п}}=0,7$ дБ при повітряному переході, $a_{\text{п}}=2,5$ дБ при кабельному переході проводів з використанням узгоджуючих контурів або лінійних трансформаторів;

n – число переходів направляючих ліній у межах перегону;

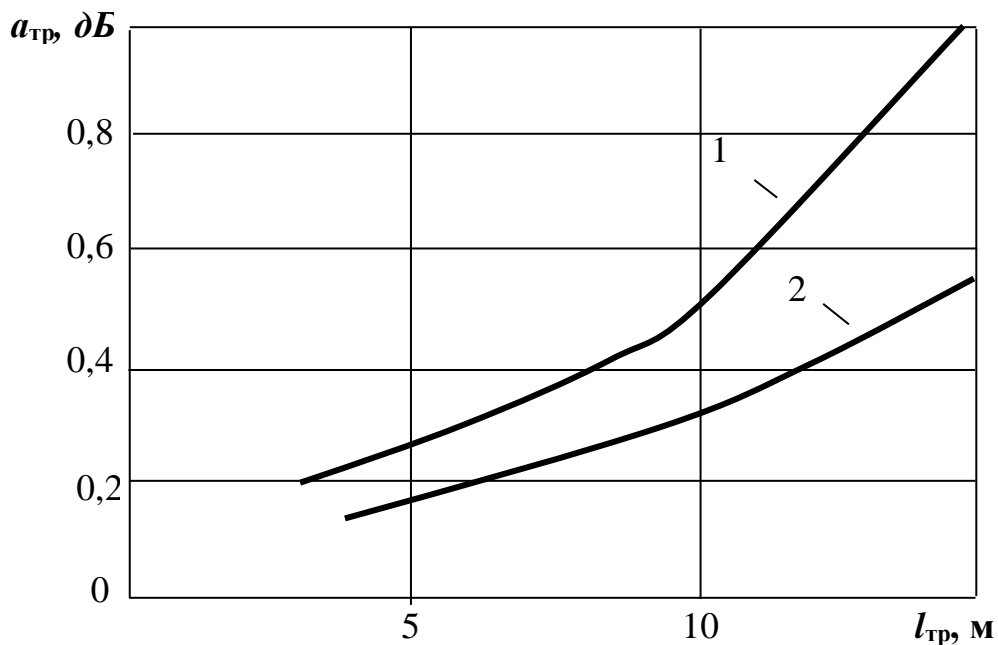
m – число оброблюваних трансформаторів на перегоні;

$a_{\text{тр}}$ – згасання, внесене силовим трансформатором при високочастотному обробленні його, дБ; $a_{\text{тр}}=0,1$ дБ – при включенні високочастотних загороджувачів у місці відпаювання від направляючої лінії; при включенні загороджувачів біля силового трансформатора $a_{\text{тр}}$

визначається за графіками рисунку 1.11 залежно від довжини проводів $l_{\text{тр}}$, якими трансформатор підключається до направляючої лінії. При використанні двопровідної лінії ДПР-ПЖ на ділянках з електричною тягою змінного струму згасання, внесене одним автотрансформаторним пунктом АТП у тракт передачі енергії високої частоти, складає $a_{\text{тр}}=4$ дБ.

Сумарне згасання сигналу ПРЗ у локомотивних пристроях складає

$$\sum a_{\text{лок}} = 1,5 \text{ дБ}. \quad (1.9)$$



1 – для трифазних трансформаторів;

2 – для однофазних трансформаторів

Рисунок 1.11 – Залежність згасання $a_{\text{тр}}$ від довжини проводів $l_{\text{тр}}$

Приклад 2. Ділянка залізниці з електричною тягою змінного струму. Вид направляючої лінії – два проводи ДПР, підвішені з різних боків колії; на станції проводи ДПР розташовані з однієї сторони колії (довжина станції – 1,5 км), далі на перегоні один із проводів переходить на протилежну сторону колії; збудження направляючих проводів –

індуктивне протифазне. На перегоні знаходиться тягова підстанція. До проводів ДПР підімкнені два силових трансформатори, високочастотні загороджувачі ввімкнені біля трансформаторів на відстані 10 м від лінії ДПР.

Порядок розрахунку. Дальність радіозв'язку r між стаціонарною й вживною радіостанціями, за умови використання направляючих ліній різних типів, визначається за формулою (1.4).

$A_{\text{прд}}=148$ дБ; $U_{\text{мін}}=72$ дБ – з таблиці 1.2; $A_{\text{пер}}=35$ дБ; $a_{c1}=2$ дБ/км; $a_{c2}=4$ дБ/км (таблиця 1.3); $\sum a_{\text{лок}}=1,5$ дБ/км.

Відповідно до формули (1.7) значення $\sum a_{\text{ст}}=\alpha_{\text{ф}} l_{\text{ф}}+a_{\text{уп}}+a_{\text{зб}}+K_{\text{п}} = 0,007 \cdot 30+1,5+1,5+3=6,21$ дБ.

Відповідно до формули (1.8)

$\sum a_{\text{лін}} = a_{\text{тп}} + na_{\text{д}} + ma_{\text{тр}} = 1+1 \cdot 2,5+2 \cdot 0,5=4,5$ дБ, де $a_{\text{тр}}$ – за графіком на рисунку 1.11 для $l_{\text{тр}}=10$ м.

Отже,

$$r = \frac{148 - 72 - 35 - 6,21 - 4,5 - 1,5 - (2 - 4) \cdot 1,5}{4} = 7,95 \text{ км.}$$

Якби проводи ДПР були підвішені з однієї сторони колії впродовж всього перегону дальність зв'язку зросла б до 14,4 км внаслідок зменшення коефіцієнту згасання направляючої лінії.

1.4.3 Індивідуальне завдання з розрахунку дальності дії каналів поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону

Метою виконання індивідуального завдання є ознайомлення з вимогами чинних нормативно-технічних документів з організації та проектування мереж технологічного радіозв'язку на залізничному

транспорті та набуття практичних навичок розробки технічних пропозицій з організації радіомереж і виконання типових розрахунків.

Попередньо необхідно ознайомитись з теоретичним матеріалом, наведеним у методичних вказівках, і розібратися зі змістом завдання. Методичні вказівки містять вичерпні відомості, цілком достатні для виконання завдань. Текст звіту має з достатньою повнотою відображати суть виконаних розрахунків і, в той же час, мусить бути лаконічним.

Необхідно творчо осмислити наведені приклади та продумати відповіді на контрольні запитання. Необхідно пояснити склад згасання лінійних пристроїв та в розрахунках прийняти умовне значення

$$\sum a_{\text{лин}} = 4\text{дБ}.$$

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунку дальності радіозв'язку ПРЗ

Вид тяги поїздів	Тип направляючої лінії або стаціонарна антена	Вариант розрахунку
Електрична змінного струму 25 кВ	Проводи ДПР, що підвішені з однієї сторони колії	1
	Проводи ДПР, що підвішені з різних сторін колії	2
	Однопровідний хвилевід, підвішений під проводом ДПР	3
Електрична постійного струму	Два проводи трифазної ВЛ	4
	Однопровідний хвилевід	5
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	6
	Стаціонарна антена	7
Тепловозна	Два проводи трифазної ВЛ	8
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	9
	Стаціонарна антена	0

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Принципи класифікації мереж залізничного технологічного радіозв'язку.
- 2 Які частоти виділені для мереж технологічного радіозв'язку залізниць?
- 3 Яке додаткове обладнання використовують при організації лінійних мереж радіозв'язку?
- 4 Назвіть основні техніко-експлуатаційні характеристики радіостанцій.
- 5 Основні параметри антен.
- 6 Які причини застосування горизонтальної частини у антени гектометрового діапазону?
- 7 Поясніть методи настройки антен гектометрового діапазону.
- 8 Поясніть призначення антенно-узгоджуючих пристроїв в ПРЗ гектометрового діапазону.
- 9 Наведіть основні характеристики стаціонарних і локомотивних антен ПРЗ гектометрового діапазону.
- 10 Які причини застосування направляючих ліній в ПРЗ гектометрового діапазону?
- 11 Назвіть типи направляючих ліній, які застосовують в ПРЗ гектометрового діапазону.
- 12 Які фактори впливають на вибір направляючих ліній того чи іншого типу?
- 13 Які вимоги встановлені до дальності поїзного радіозв'язку?
- 14 Поясніть призначення високочастотних загороджувачів в складі лінійних пристроїв і схемах збудження ПРЗ гектометрового діапазону.
- 15 Чому залежить дальність радіозв'язку від виду тяги?

2 МЕРЕЖІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ РАДІОХВИЛЬ

2.1 Загальні положення

Для організації залізничного технологічного радіозв'язку в метровому діапазоні радіохвиль виділені ділянки спектра: 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц, на основі використання радіозасобів з каналною сіткою частот 25 кГц [1, 3]. Запланований перехід на каналну сітку радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону. Це дасть змогу суттєво підвищити ефективність використання виділеного частотного ресурсу для багатьох служб [8, 9].

Канали радіозв'язку в цих смугах використовуються спільно для організації мереж поїзного, станційного та ремонтно-оперативного радіозв'язку. Конкретний розподіл робочих частот між різними мережами встановлюється відомчими нормативними документами [1, 6].

На перегонах залізниць в УКХ діапазоні організують зонні мережі для переговорів машиністів поїзних локомотивів з абонентами, розосередженими по ділянці (черговими по станції, черговими по переїздах, ремонтними бригадами на перегонах, машиністами локомотивів зустрічних поїздів і поїздів, що йдуть позаду, працівниками воєнізованої охорони, черговими по депо тощо), а також з абонентами, що знаходяться в поїзді (начальниками пасажирських поїздів, роз'їзними стрільцями ВОХР тощо). Ці радіомережі організуються безпосередньо в межах зон дії радіостанцій на спеціально виділених частотах метрового діапазону, закріплених за кожною категорією абонентів, відповідно до частотного плану технологічного радіозв'язку [2].

Системи технологічного радіозв'язку на залізничних станціях забезпечують двосторонній радіозв'язок у мережах: маневрового і

гіркового радіозв'язку, радіозв'язку станційних технологічних центрів, пунктів технічного обслуговування вагонів і локомотивів, пунктів комерційного огляду вагонів, контейнерних майданчиків, бригад з обслуговування і ремонту технічних засобів (СЦБ, зв'язку, колії, контактної мережі тощо), підрозділів воєнізованої охорони [1, 2].

Мережі ремонтно-оперативного радіозв'язку застосовуються для керування ремонтними роботами на перегонах і станціях вантажонапружених ліній і призначені для забезпечення надійного двостороннього зв'язку в межах ремонтних підрозділів з керівником робіт, керівника робіт з машиністами локомотивів, машиністами спеціального самохідного рухомого складу і черговим апаратом відповідної служби [1].

На кожну дільницю (диспетчерське коло) поїзного радіозв'язку, а також на пристрої станційного радіозв'язку оформлюються технічні паспорти, відповідно до вимог Інструкції з утримання технічної документації на пристрої проводового зв'язку, радіозв'язку та пасажирської автоматики. Паспорт містить основні характеристики радіозасобів, які зазначені в дозволі на експлуатацію та характеристики радіомереж [7]. Матеріали з розрахунку зон обслуговування є обов'язковою складовою паспорту радіомереж.

Дальність дії радіозв'язку залежить від багатьох факторів, що визначаються особливостями організації радіомереж.

У каналах радіомереж необхідно враховувати декілька факторів, які впливають на надійність радіоканалу по полю. Просторову надійність або надійність радіозв'язку по полю p , %, характеризують як відсоток точок приймання, в яких просторово флюктуючий сигнал перевищує мінімально необхідний рівень приймання в межах відносно короткого відрізка шляху на максимальній заданій відстані.

При аналізі просторових флюктуацій напруженості поля в каналах рухомого радіозв'язку розрізняють швидкі та повільні завмирання

сигналів. Швидкі завмирання є результатом інтерференційних флуктуацій напруженості поля внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль. Повільні флуктуації виникають внаслідок зміни загального рельєфу місцевості і варіантів забудови. Повільні завмирання практично є коливаннями середнього рівня сигналу при переміщенні мобільної станції на значні відстані.

Неоднорідність діелектричної проникності тропосфери призводить до зміни умов рефракції радіохвиль, що викликає випадкові часові зміни рівнів сигналів на наземних трасах.

Повільні флуктуації і рефракційні зміни напруженості поля визначаються загальними змінами рельєфу місцевості та градієнта діелектричної проникності атмосфери і практично не залежать від впливу інфраструктури залізниць [10].

Найбільший вплив чинять інтерференційні флуктуації, викликані багатопроменевим поширенням радіохвиль за рахунок перевипромінювання від численних об'єктів на залізничних станціях.

При розрахунках енергетичних характеристик радіоканалів технологічні відмінності радіомереж не мають принципового значення. Важливе значення мають смуги радіочастот, що використовуються; умови організації радіомереж – перегони або станції; інфраструктурні особливості – електрифіковані або неелектрифіковані ділянки.

2.2 Відомчі методики розрахунку мереж технологічного радіозв'язку

2.2.1 Базові криві поширення радіохвиль

Розрахунки дальності радіозв'язку та зон обслуговування проводяться на основі використання відомчих нормативних документів з організації та розрахунку каналів станційного, поїзного і ремонтно-оперативного радіозв'язку на залізничному транспорті [3, 11].

При розрахунках дальності радіозв'язку використовуються криві поширення радіохвиль, що враховують залежність напруженості електричного поля E_2 від відстані. Ці криві покладені в основу Правил розрахунку мереж технологічного радіозв'язку [3]. Досвід показує, що при розрахунках енергетичних характеристик радіоканалів недоцільна диференціація методик за технологічним призначенням. Важливо враховувати особливості поширення радіохвиль при організації радіомереж різного призначення на станціях і перегонах залізниць, електрифікованих і неелектрифікованих ділянках.

При розрахунках зон обслуговування в мережах технологічного радіозв'язку на перегонах та залізничних станціях доцільно використовувати єдині криві поширення радіохвиль. Особливості організації окремих радіомереж можна врахувати за допомогою системи поправочних коефіцієнтів.

Графіки побудовані на основі результатів експериментальних досліджень особливостей поширення радіохвиль в умовах залізниць. Графіки кривих поширення радіохвиль на рисунку 2.1 побудовані при певних параметрах радіомереж для умов перегонів на неелектрифікованих ділянках залізниць у середньопересіченій місцевості (тип траси 2), яка характерна для більшості регіонів України. Криві 1 і 2 на рисунку 2.1 побудовані для добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$. Потужність передавача прийнята $P_1 = 1 \text{ Вт}$. Коефіцієнт підсилення передавальної антени прийнятий $G_1 = 0 \text{ дБ}$ стосовно напівхвильового вібратора, згасання у фідері, що з'єднує передавач із антеною дорівнює нулю $\alpha_1 l_1 = 0 \text{ дБ}$ ($l_1 = 0 \text{ м}$).

Значення напруженості поля сигналу на графіках зазначені в дБ стосовно 1 мкВ/м і мають місце протягом 50 % часу в 50 % точок приймання, тобто надійність каналу радіозв'язку по полю становить 50 % внаслідок просторових та часових флуктуацій.

Відмінності умов організації мереж від прийнятих при побудові графіків ураховуються через систему відповідних поправочних коефіцієнтів.

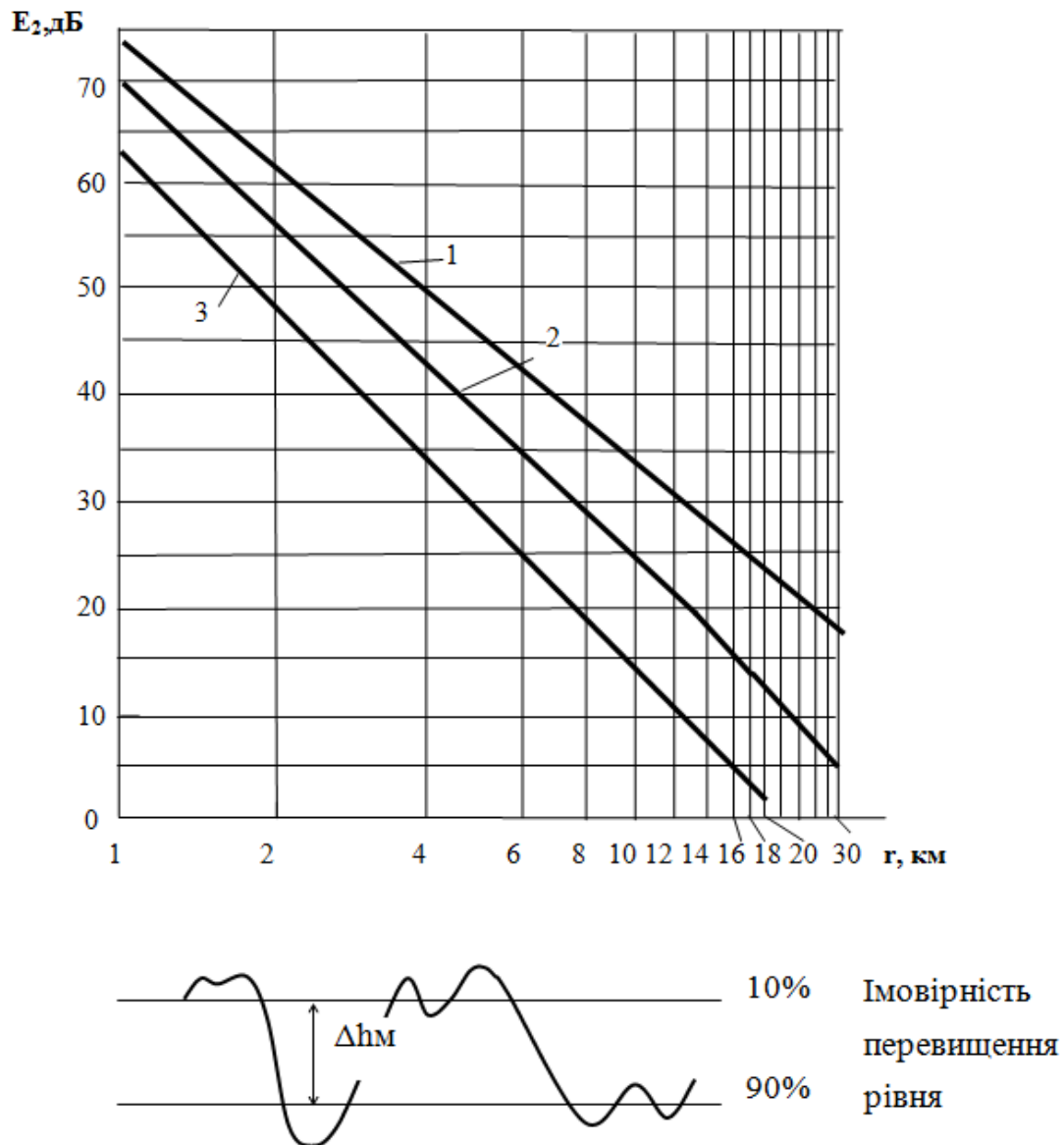


Рисунок 2.1 – Базові криві поширення радіохвиль метрового діапазону 160 МГц

За графіками кривих поширення радіохвиль можна визначити напругу на вході приймача радіостанції $U_{вх}$ в різних реальних умовах організації радіозв'язку, що відрізняються від умов, прийнятих при побудові графіків, якщо врахувати фактичні параметри радіомереж:

$$U_{\text{вх}} = E_2 - g_2 - \sum B_{\text{парам}} - \sum B_{\text{трас}} - \sum B_{\text{імов}}, \text{ дБ}, \quad (2.1)$$

де E_2 – напруженість поля сигналу, визначена безпосередньо за графіками кривих поширення радіохвиль для заданих значень $h_1 h_2$ і дальності радіозв'язку, дБ;

g_2 – коефіцієнт, що враховує перетворення напруженості поля в просторі E_2 до напруги на вході приймача радіостанції $U_{\text{вх}}$, дБ;

$$g_2 = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{2} \cdot \sqrt{\frac{Z_{\text{хв}}}{120}} \right),$$

де $Z_{\text{хв}}$ – хвильовий опір фідера, Ом. Значення коефіцієнта g_2 для частоти 160 МГц та $Z_{\text{х}}=50$ Ом складає 12 дБ;

$\sum B_{\text{парам}}$ – сума поправочних коефіцієнтів, що залежать від параметрів передавача й антенно-фідерних пристроїв передавальної та приймальної радіостанцій, дБ;

$\sum B_{\text{трас}}$ – сума поправочних коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль, дБ;

$\sum B_{\text{імов}}$ – сума поправочних коефіцієнтів, що враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля сигналів, дБ.

При проектуванні радіомереж ставиться завдання: виходячи з мінімально допустимого рівня сигналу на вході приймача радіостанції $U_{2\text{мін}}$, визначити можливу дальність радіозв'язку при заданих висотах установки антен $h_1 h_2$ або знайти висоти установки антен, які забезпечували б необхідну дальність дії радіоканалу в заданих умовах організації радіомереж.

При розрахунках мереж різного призначення ПРЗ, СРЗ, РОРЗ використовується єдине сімейство кривих поширення радіохвиль і відповідні поправочні коефіцієнти, які враховують особливості організації кожної з них.

2.2.2 Поправочні коефіцієнти, які враховують параметри антенно-фідерних пристроїв

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від параметрів передавача й антенно-фідерних пристроїв, визначають за формулою

$$\sum V_{\text{парам}} = -V_{\text{п}} - V_{\text{h}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2, \text{ дБ}, \quad (2.2)$$

де $V_{\text{п}}$ – коефіцієнт, дБ, що враховує відмінність фактичної потужності передавача P , від потужності $P_1=1$ Вт, прийнятої при побудові графіків кривих поширення радіохвиль,

$$V_{\text{п}} = 10 \lg \frac{P}{P_1}, \text{ дБ}; \quad (2.3)$$

V_{h} – висотний коефіцієнт, дБ, що враховує відмінність добутку висот установки антен $h_1 h_2$ від значення 100 м^2 , прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль (враховується при розрахунках з використанням кривих 1, 2 на рисунку 2.1),

$$V_{\text{h}} = 20 \lg \frac{h_1 h_2}{100}, \text{ дБ}; \quad (2.4)$$

G_1, G_2 – коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен (стосовно напівхвильового вібратора), дБ. Коефіцієнти підсилення різних

типів стаціонарних антен наведені в таблиці 2.1, коефіцієнт підсилення локомотивних антен приймають рівним нулю;

$\alpha_1 l_1$ і $\alpha_2 l_2$ – згасання, внесені фідерами передавальної та приймальної радіостанцій, дБ; α – коефіцієнт згасання фідера, дБ/м; l – довжина фідера, м.

Рекомендації з вибору антен стаціонарних радіостанцій та їхні основні параметри наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри антен метрового діапазону хвиль 160 МГц

Тип антени (паспорт)	Найменування (склад)	Форма діаграми спрямованості в горизонтальній площині	Вхідний опір, Ом	Коефіцієнт підсилення в головному напрямку G, дБ/дБ $\lambda/2$	Маса, кг	Розміри, мм
АС-1/2М ХЖ2.092. 221ПС	Симетричний колінеарний напівхвильовий випромінювач	Кругова	50	2/0	3	1070 діаметр 75
АС-3/2М ХЖ2.092. 220ПС	Шостиелементний «хвильовий канал»	Односпрямована	50	10/8	4	1965x800x 260
АС-4/2М ХЖ2.092. 224ПС	Складається з двох АС-3/2М, що ввімкнені через ВЧ трансформатор 1:2	Двоспрямована типу «вісімка» зі змінним кутом між напрямами максимального випромінювання від 180 до 90°	50	7/5	17	4000x800x 520
АС-5/2М ХЖ2.092. 223ПС	Штирєва хвильова (2x5/8 λ)	Кругова	50	7/5	12	4700
АС-6/2М ХЖ2.092. 222ПС	Решітка з двох синфазних випромінювачів типу АС-1/2М	Двоспрямована типу «вісімка»	50	5/3	9	1460x 1100, діаметр 75
Антенна радіо- станції ЖРУ	Чвертьхвильовий петлевий вібратор з противагою	Кругова	75	2/0	2,9	900x510

У мережах станційного радіозв'язку доцільно використовувати антени з круговою діаграмою направленості АС-1/2 та АС-5/2. У лінійних мережах при значній довжині перегонів доцільно використовувати направлені антени АС-3/2 та АС-4/2.

Довжина фідерів вибирається орієнтовно, в середньому вона складає $l_1=20-30$ м для стаціонарних радіостанцій та $l_2=5$ м – для локомотивних радіостанцій, коефіцієнт згасання коаксіальних кабелів на частоті 160 МГц складає 0,15 дБ/м.

2.2.3 Поправочні коефіцієнти, які враховують особливості трас поширення радіохвиль

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль у різних мережах радіозв'язку, визначають за формулою

$$\sum V_{\text{трас}} = -V_{\text{рел}} + V_{\text{км}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}}, \text{ дБ}, \quad (2.5)$$

де $V_{\text{рел}}$ – коефіцієнт, що залежить від рельєфу місцевості, по якій проходить траса радіозв'язку, дБ;

$V_{\text{км}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткове ослаблення напруженості поля контактною мережею на електрифікованих ділянках залізниць, дБ;

$V_{\text{л}}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення напруги сигналу на вході приймача локомотивної радіостанції, внаслідок впливу на умови приймання корпусу рухомого об'єкта і наявності в місці розташування антени різного обладнання, дБ.

Траси радіозв'язку за характером рельєфу місцевості, яким вони проходять, підрозділяють на п'ять типів. Кожному типу відповідає певне

значення коефіцієнта складності траси K_{CT} , який може змінюватися в межах від 1 до 5 [3].

Траса типу 1 (рівнинна, $K_{CT} = 1$) характеризується невисокими пагорбами з глибиною закриття траси до 10 м і коливаннями рівня земної поверхні Δh не вище 15 м (рисунок 2.1).

Траса типу 2 (середньопересічена, $K_{CT} = 2$) має коливання рівня земної поверхні не більше 50 м. Вона зустрічається в більшості районів України.

Траса типу 3 (легка гірська, $K_{CT} = 3$) проміжна між горбкуватою й складною гірською.

Траса типу 4 (складна гірська, $K_{CT} = 4$) є типовою для гірської місцевості. Її профіль характеризується різкими коливаннями рівня, глибина закриття траси може досягати 60 м.

Траса типу 5 (гірська підвищеної складності, $K_{CT} = 5$) має дуже складний профіль, глибина закриття траси досягає 100 м і більше.

Тип траси радіозв'язку необхідно визначити за її профілем, що будується по топографічній карті. Значення коефіцієнтів $V_{\text{рел}}$ для трас радіозв'язку різної складності наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення поправки $V_{\text{рел}}$ залежно від складності траси

K_{CT}	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$V_{\text{рел}}$, дБ	3,4	1,7	0	-1,7	-3,4	-5,1	-6,8	-8,5	-10,2

Значення коефіцієнта V_d залежить від типу локомотива або іншого рухомого об'єкта і місця установки антени на даху. Рекомендовані значення V_d для діапазону частот 160 МГц наведені в таблиці 2.3.

$V_{км}$ – коефіцієнт ослаблення напруженості поля контактною мережею на перегонах у діапазоні частот 160 МГц становить для одноколіїної ділянки $V_{км} = 1 \text{ дБ}$, для двоколіїної – $V_{км} = 2 \text{ дБ}$.

Значення $V_{км}$ і $V_{л}$ для мереж, які організовані на території залізничних станцій розглянуті в п. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнтів $V_{л}$ залежно від типу рухомих об'єктів і місця розташування антен

Рухомий об'єкт	Місце розташування антени на даху об'єкта	Вл, дБ, для антен різних типів			
		Чверть-хвильового петльового вібратора	Низько-розташованої АЛ/2	Диско-конусної АЛП/2, 3, ШИ2.091.302	Штирьової АМ/2
Електровози змінного струму	Над прожектором в середині секції	4	8	3	-
		5	8	3	-
Електровози постійного струму	Над прожектором та в середині даху	3	6	2	-
Тепловози	При будь-якому розташуванні	2	2,5	0	-
Електро- та дизель-поїзди	На даху головного вагона	2	2,5	0	-
Дрезини та автотриси	У вільній частині металевих дахів;	2	2	0	2
	Поблизу екрануючих об'єктів	8	8	8	8
Вагони	При будь-якому розташуванні	0	2	0	2

2.2.4 Поправочні коефіцієнти, які враховують імовірнісні характеристики сигналів

Суму поправочних коефіцієнтів, які враховують просторові та часові флуктуації напруженості поля сигналів, визначають виходячи з необхідної надійності каналу радіозв'язку по полю. Розглядаючи ці різні по характеру

флуктуації як незалежні випадкові процеси, значення поправки $\sum V_{\text{імов}}$ можна розглядати як суму окремих складових

$$\sum V_{\text{імов}} = V_i + V_{\text{місц}} + V_{\text{час}}, \text{ дБ} \quad (2.6)$$

де V_i – коефіцієнт, що враховує інтерференційні флуктуації напруженості поля внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль, дБ;

$V_{\text{місц}}$ – коефіцієнт, що враховує повільні коливання напруженості поля внаслідок зміни загального рельєфу місцевості й типів забудови, дБ;

$V_{\text{час}}$ – коефіцієнт, що враховує часові коливання напруженості поля, обумовлені змінами рефракції в атмосфері, дБ.

При розрахунку каналів значення цих коефіцієнтів вибирають на рівні ймовірності не менш 90 % для того, щоб забезпечити якість зв'язку не нижче задовільного [12].

Коефіцієнт $V_{\text{місц}}$ залежить від типу траси, його значення для рівня ймовірності 90 % наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта $V_{\text{місц}}$ залежно від типу траси

Тип траси	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$V_{\text{місц}}, \text{ дБ}$	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

Значення коефіцієнтів V_i , $V_{\text{місц}}$ і $V_{\text{час}}$ для інших значень ймовірності подані у вигляді кривих на рисунках 2.2 і 2.3 відповідно. На рисунку 2.2 крива 1 наведена для електрифікованих, а крива 2 – для неелектрифікованих ділянок залізниць. На рисунку 2.3 номери кривих відповідають типу траси.

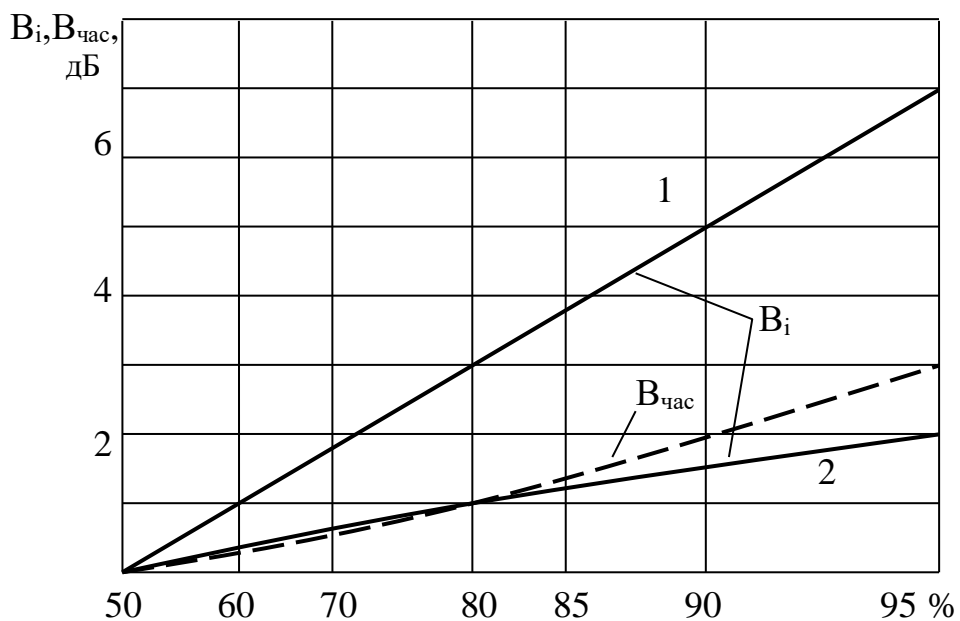


Рисунок 2.2 – Залежності коефіцієнтів B_i , $B_{\text{час}}$ від рівня імовірності

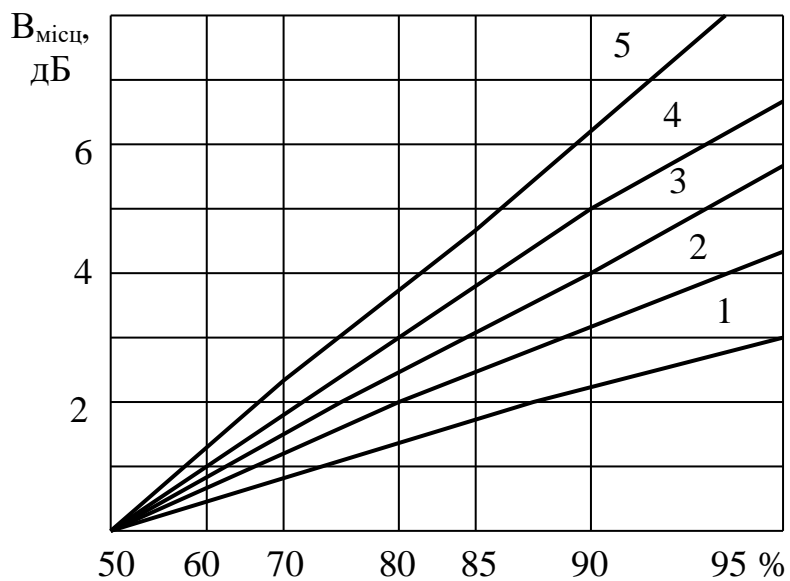


Рисунок 2.3 – Залежності коефіцієнта $B_{\text{міст}}$ від типів трас і ймовірнісних рівнів

2.3 Мережі технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль на станціях

При розрахунках зон обслуговування в мережах технологічного радіозв'язку на залізничних станціях і вузлах використовуються єдині криві поширення радіохвиль (рисунок 2.1). Прийнята система поправочних коефіцієнтів дає змогу врахувати особливості умов організації окремих радіомереж на станціях.

В усіх методиках розрахунку зберігається однаковий набір коефіцієнтів $\Sigma V_{\text{парам}}$, що враховують потужність передавача і параметри антенно-фідерних трактів передачі і приймання. Розходження спостерігаються в характеристиках особливостей поширення радіохвиль у каналах ПРЗ (РОРЗ) і СРЗ, що враховуються поправками $\Sigma V_{\text{трас}}$ і $\Sigma V_{\text{імов}}$. [3, 11].

Залізничні станції розташовуються на рівнинних ділянках місцевості, але для них характерна наявність забудови міського типу і значний вплив пристроїв контактної мережі. У формулі (2.5) при розрахунку поправок $\Sigma V_{\text{трас}}$ приймають $V_{\text{рел}}=0$ дБ як для трас другого типу за наявності великої кількості рухомого складу, технічних споруд і забудови. Залізничні станції розташовуються на рівнинних ділянках місцевості, але необхідно враховувати наявність технічних споруд, забудови міського типу та великої кількості рухомого складу. Ці особливості враховуються поправкою $V_{\text{ст}} = 5$ дБ.

На перегонах залізниць вплив пристроїв контактної мережі істотно менше, що знаходить відображення в менших значеннях коефіцієнтів $V_{\text{км}}$, але при цьому необхідно враховувати більший вплив особливостей рельєфу місцевості ($V_{\text{рел}}$) на трасах різної складності. На станціях електрифікованих ділянок залізниць значний вплив пристроїв контактної мережі та додаткових споруд тому $V_{\text{км}} = 8$ дБ.

У мережах радіозв'язку на станціях використовуються тепловози. У найгірших умовах для мереж на станціях $V_{\text{л}} = 9$ дБ.

Значна кількість абонентів мереж радіозв'язку на станціях користуються носивними радізасобами. Поправку $V_{\text{рн}}$, що враховує погіршення умов зв'язку в каналах з портативними радіостанціями, приймають рівною $V_{\text{рн}} = 4$ дБ на неелектрифікованих ділянках і $V_{\text{рн}} = 2$ дБ на ділянках з електротягою.

Набір коефіцієнтів, що визначають імовірнісні характеристики сигналів (надійність каналів радіозв'язку по полю) $\Sigma V_{\text{імов}}$, у каналах ПРЗ враховує більш широкий вплив рельєфу та рефракційних флуктуацій, а для каналів СРЗ він представлений одним еквівалентним коефіцієнтом V_i . При невеликих дальностях зв'язку вплив зміни діелектричної проникності тропосфери та інші часові фактори флуктуацій не враховують. Поправку V_i можна визначати за графіками експериментальних інтегральних функцій розподілу рівнів для електрифікованих і неелектрифікованих станцій [11, 12].

Значення інтегрального коефіцієнта V_i визначають за графіками на рисунку 2.4 залежно від необхідної надійності каналу радіозв'язку. Крива 1 наведена для неелектрифікованих, а крива 2 – для електрифікованих станцій.

Допускаючи, що на границі зони обслуговування (при максимальній дальності зв'язку) напруга на вході приймача радіостанції $U_{\text{вх}}$ дорівнює мінімально допустимому значенню $U_{2\text{мін}}$:

$$U_{\text{вх}} = U_{2\text{мін}},$$

можна визначити необхідний розрахунковий рівень напруженості поля сигналу $E_{2\text{р}}$, приведений до графіків кривих поширення радіохвиль

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{імов}}, \text{ дБ.} \quad (2.7)$$

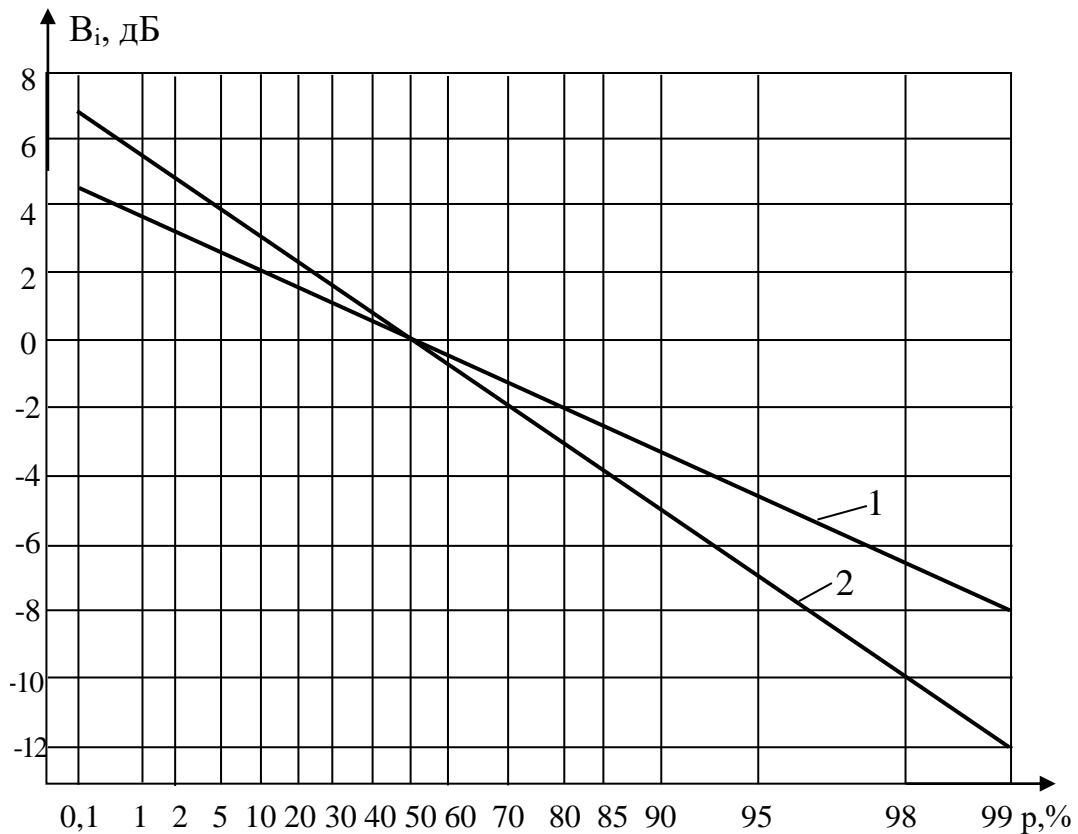


Рисунок 2.4 – Розподіл рівнів сигналів залежно від надійності радіоканалу по полю

2.4 Приклади розрахунків дальності радіозв'язку

Значення складових у формулі (2.7) $\sum B_{\text{парам}}, \sum B_{\text{трас}}, \sum B_{\text{імов}}$ для заданих умов організації радіомереж визначаються за формулами (2.2), (2.5) і (2.6).

Значення $U_{2\text{мін}}$ на вході приймача возивних радіостанцій для різних умов експлуатації радіозасобів, установлених на рухомих об'єктах, наведені нижче в таблиці 2.5.

Для стаціонарних радіостанцій значення $U_{2\text{мін}}$ приймається рівним 6 дБ на ділянках залізниць, електрифікованих за системою змінного струму, 2 дБ – на ділянках постійного струму, 0 дБ – на ділянках з тепловозною тягою.

Дальність радіозв'язку слід визначити у напрямку від стаціонарної до вживаної радіостанції рухомого об'єкта, оскільки умови приймання сигналів на рухомому об'єкті значно гірші ніж на стаціонарному внаслідок більш високого рівня радіозавад у безпосередній близькості від пристроїв контактної мережі.

Таблиця 2.5 – Мінімально допустимі рівні корисних сигналів в мережах 160 МГц

Умови експлуатації радіозасобів	U _{2мін} для приймачів радіостанцій, дБ	
	ЖР-У-ЛП	«Оріон» РВ
Ділянка з тепловозною тягою	4	2
Електрифікована ділянка постійного струму при швидкості руху, км/год:	до 120	8
	понад 120	12
Електрифікована ділянка змінного струму:	у рівнинній частині	14
	у гірських районах	12
Змішана тяга (тепловозна на ділянках змінного струму):	у рівнинній частині	16
	у гірських районах	14

Розрахунок дальності зв'язку «стаціонарний – рухомий об'єкт» проводиться у такій послідовності:

- відповідно до таблиці 2.5 визначається мінімально необхідний рівень корисного сигналу U_{2мін}, який в заданих умовах організації радіомережі при дії індустріальних радіозавад забезпечує якість зв'язку не гірше задовільного;

- за формулою (2.1) при заданому U_{2мін} визначається необхідне розрахункове значення рівня напруженості поля сигналу E_{2р} з урахуванням всіх складових $\sum V_{\text{парам}}, \sum V_{\text{трас}}, \sum V_{\text{імов}}$;

- відклавши значення E_{2p} на осі ординат, по відповідних базових кривих 1, 2 поширення радіохвиль на рисунку 2.1 визначається можлива дальність зв'язку, r .

Відстань r відраховується по прямій лінії, для її перерахування до відстані вздовж залізничної колії необхідно користуватися топографічною картою.

При вирішенні зворотної задачі необхідна висота установки антени стаціонарної радіостанції визначається, виходячи з заданої дальності зв'язку r у такому порядку:

- необхідне значення $U_{2\text{мін}}$ на вході приймача локомотивної радіостанції визначається за таблицею 2.5;

- для заданої дальності зв'язку визначається відповідна напруженість поля E_2 по кривих 1, 2 на рисунку 2.1;

- за формулою (2.2) розраховуємо значення суми поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{парам}}$, що залежать від параметрів передавача й антенно-фідерних пристроїв

$$\sum B_{\text{парам}} = E_2 - U_{2\text{мін}} - g_2 - \sum B_{\text{трас}} - \sum B_{\text{імов}} ;$$

за формулою (2.4) обчислюємо значення висотного коефіцієнта B_h

$$B_h = -\sum B_{\text{парам}} - B_n - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 , \text{ дБ}; \quad (2.8)$$

тепер при заданій висоті h_2 установки антени возивної радіостанції обчислюється необхідна висота установки стаціонарної антени h_1

$$h_1 = \frac{100}{h_2} \cdot 10^{\frac{B_h}{20}} . \quad (2.9)$$

Приклад 1. Двоколійна ділянка залізниці з електричною тягою змінного струму проходить по горбкуватій місцевості (тип траси 2). Визначимо дальність радіозв'язку між стаціонарною радіостанцією і радіостанцією магістрального локомотиву.

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача $P = 10$ Вт; висота установки антени $h_1 = 20$ м; антена АС-4/2, $G_1 = 4$ дБ; погонне згасання фідера РК-50-11 $\alpha_{\phi 1} = 0,15$ дБ/м; $l_1 = 20$ м. Параметри возивної радіостанції: висота установки антени $h_2 = 5$ м; антена АЛ-2, $G_2 = 0$ дБ; погонне згасання фідера РК-50-7-11 $\alpha_{\phi 2} = 0,15$ дБ/м; $l_2 = 5$ м.

Розрахункова формула (2.7) для E_{2p} має вигляд:

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{імов}}, \text{ дБ.}$$

Для умов розглянутого приклада $U_{2\text{мін}} = 14$ дБ, $g_2 = 12$ дБ для фідера з хвильовим опором 50 Ом.

Визначимо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (2.5).

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

де $V_{\text{рел}} = 0$ дБ для траси типу 2 (таблиця 2.2); $V_{\text{км}} = 2$ дБ (для двоколійних електрифікованих ділянок); $V_{\text{л}} = 8$ дБ (таблиця 2.3); $V_{\text{рн}} = 0$ дБ.

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (2.2):

$$\begin{aligned} \sum V_{\text{парам}} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФП БС}} = \\ &= -10 + 0 - 4 - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = -12,0 \text{ дБ,} \end{aligned}$$

де $B_n = 10 \lg P = 10 \lg 10 = 10$ дБ;

$$G_1 = 4 \text{ дБ};$$

$$B_h = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) = 0 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 1} l_1 = 1,5 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 2} l_2 = 0,5 \text{ дБ},$$

$$B_{\text{АФПБС}} = 0 \text{ дБ}.$$

Визначаємо значення імовірнісних коефіцієнтів, виходячи з надійності радіозв'язку по полю 90 %, за формулою (2.6):

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

де $B_{\text{місц}} = 3 \text{ дБ}$ (таблиця 2.4) для траси типу 2;

$$B_i = 5 \text{ дБ};$$

$$B_{\text{час}} = 1,8 \text{ дБ}.$$

Визначаємо розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в точці приймання

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{i_{\text{мов}}} = 14 + 12 + 10 - 12 + 9,8 = 33,8 \text{ дБ}.$$

Для напруженості поля $E_{2p} = 33,8 \text{ дБ}$, створюваної передавачем стаціонарної радіостанції в точці приймання возивної радіостанції, по кривій 1 на рисунку 2.1 визначаємо очікувану дальність зв'язку: $r = 10,4 \text{ км}$.

Розрахуємо дальність радіозв'язку для тих же умов, але для ділянки постійного струму.

Для ділянок постійного струму при швидкості руху до 120 км/год $U_{2\text{мін}} = 8 \text{ дБ}$, $g_2 = 12 \text{ дБ}$ для фідера із хвильовим опором 50 Ом.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{трас}}$ складе

$$\sum B_{\text{трас}} = B_{\text{рел}} + B_{\text{км}} + B_{\text{л}} + B_{\text{рн}} = 0 + 2 + 6 + 0 = 8 \text{ дБ},$$

де $B_{\text{л}} = 6$ дБ для електровозів постійного струму при низько розташованій антені АЛ/2. Інші коефіцієнти залишаються незмінними $B_{\text{рел}} = 0$ дБ для траси типу 2 (таблиця 2.2); $B_{\text{км}} = 2$ дБ (для двоколієних електрифікованих ділянок); $B_{\text{рн}} = 0$ дБ.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{парам}}$ залишаються незмінними:

$$\begin{aligned} \sum B_{\text{парам}} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФП БС}} = \\ &= -10 + 0 - 4 - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = -12,0 \text{ дБ}, \end{aligned}$$

Значення імовірнісних коефіцієнтів $\sum B_{\text{імов}}$ мають ті ж значення:

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

де $B_{\text{місц}} = 3$ дБ (таблиця 2.4) для траси типу 2;

$$B_i = 5 \text{ дБ};$$

$$B_{\text{час}} = 1,8 \text{ дБ}.$$

Визначаємо розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в точці приймання

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{імов}} = 8 + 12 + 8 - 12 + 9,8 = 25,8 \text{ дБ}.$$

Для напруженості поля $E_{2p} = 25,8$ дБ, створюваної передавачем стаціонарної радіостанції, визначаємо очікувану дальність зв'язку: $r = 15,6$ км.

Для умов прикладу 1 виконаємо розрахунки дальності поїзного радіозв'язку для ділянки з тепловозною тягою.

Це потребує зміни параметрів в складі $\sum B_{\text{трас}}$ та $\sum B_{\text{імов}}$ і мінімально необхідної напруги $U_{2\text{мін}}=2$ дБ

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{трас}}$ складе

$$\sum B_{\text{трас}} = B_{\text{рел}} + B_{\text{км}} + B_{\text{л}} + B_{\text{рн}} = 0 + 0 + 2,5 + 0 = 2,5 \text{ дБ},$$

де $B_{\text{л}} = 2,5$ дБ для електровозів постійного струму при низько розташованій антені АЛ/2;

$B_{\text{рел}} = 0$ дБ для траси типу 2 (таблиця 2.2);

$B_{\text{км}} = 0$ дБ (для неелектрифікованих ділянок);

$B_{\text{рн}} = 0$ дБ.

Для ділянок з тепловозною тягою можна використовувати ненаправлені антени АС 1/2 з $G_1 = 0$ дБ. Інші коефіцієнти залишаються незмінними.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{парам}}$ складе

$$\begin{aligned} \sum B_{\text{парам}} &= -B_{\text{м}} - B_{\text{н}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФП БС}} = \\ &= -10 + 0 - 0 - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = -8,0 \text{ дБ}, \end{aligned}$$

Значення імовірнісних коефіцієнтів $\sum B_{\text{імов}}$ складуть

$$\sum B_{\text{імов}} = B_{\text{міст}} + B_{\text{і}} + B_{\text{час}} = 3 + 1,6 + 1,8 = 6,4 \text{ дБ},$$

де $B_{\text{міст}} = 3$ дБ (таблиця 2.4) для траси типу 2;

$B_{\text{і}} = 1,6$ дБ для неелектрифікованих ділянок;

$B_{\text{час}} = 1,8$ дБ.

Тоді розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в точці приймання складає

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{імов}} = 2 + 12 + 2,5 - 8 + 6,4 = 14,9 \text{ дБ.}$$

Отже, дальність радіозв'язку суттєво залежить від виду тяги на ділянці, і для напруженості поля $E_{2p} = 14,9$ дБ на неелектрифікованій ділянці очікувана дальність зв'язку складає $r = 30,0$ км.

Надмірна дальність радіозв'язку недоцільна. Це призводить до підвищення вартості антенно-щоглових споруд і може ускладнити вирішення питань електромагнітної сумісності радіозасобів.

Необхідну висоту установки антен для конкретних умов організації радіомережі визначають за формулою

$$h_1 = \frac{100}{h_2} \cdot 10^{\frac{B_h}{20}}.$$

Приклад 2. Визначити можливу дальність радіозв'язку в радіальній зоні, організованій на території великої залізничної станції, електрифікованої за системою змінного струму.

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача $P = 10$ Вт; висота установки антени $h_1 = 15$ м; антена з круговою діаграмою направленості АС $\frac{1}{2}$ з $G_1 = 0$ дБ. Погонне згасання фідера РК-50-11 $\alpha_{\phi 1} = 0,1$ дБ/м; $l_1 = 15$ м. Параметри возивної радіостанції: висота установки антени $h_2 = 5$ м; антена АЛ-2, $G_2 = 0$ дБ; погонне згасання фідера РК-50-7-11 $\alpha_{\phi 2} = 0,1$ дБ/м; $l_2 = 5$ м.

Визначимо значення поправок, що входять у розрахункову формулу (2.6), для умов залізниці, електрифікованої за системою змінного струму.

Мінімальне значення корисного сигналу для залізничних станцій на ділянках змінного струму $U_{2\text{мін}} = 14$ дБ.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{трас}}$ для умов станцій складе.

$$\begin{aligned}\sum B_{\text{парам}} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФП БС}} = \\ &= -(10) - (-2,5) - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = -5,5 \text{ дБ.}\end{aligned}$$

Тут $B_n = 10 \lg \frac{10}{1} = 10$ дБ. Значення інших коефіцієнтів взяті з прикладу 1.

$$G_1 = 0 \text{ дБ};$$

$$B_h = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) = 0 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 1} l_1 = 1,5 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 2} l_2 = 0,5 \text{ дБ},$$

$$B_{\text{АФП БС}} = 0 \text{ дБ}.$$

У поправочний коефіцієнт $\sum B_{\text{трас}}$ в умовах станцій вноситься додаткове згасання $B_{\text{ст}} = 5$ дБ, на відміну від відкритої місцевості. Це пов'язане з впливом технічних споруд, великої кількості рухомого складу, забудови міського типу тощо.

$$\sum B_{\text{трас}} = B_{\text{рел}} + B_{\text{км}} + B_{\text{л}} + B_{\text{рн}} + B_{\text{ст}} = 0 + 8 + 9 + 0 + 5 = 22 \text{ дБ},$$

де $B_{\text{рел}} = 0$ дБ для умов залізничних станцій (таблиця 2.2);

$B_{\text{км}} = 8$ дБ (для залізничних станцій на електрифікованих ділянках);

$B_{\text{л}} = 9$ дБ (таблиця 2.3); $B_{\text{рн}} = 0$ дБ.

При розрахунках станційних зон рекомендовано обирати значення надійності радіозв'язку по полю не менш 95 %. Це забезпечить організацію надійного зв'язку в автоматизованих системах управління рухом маневрових локомотивів на станціях

$$\sum B_{\text{імов}} = B_i + B_{\text{міст}} + B_{\text{час}} = -(-7,7) + 0 + 0 = 7,7 \text{ дБ},$$

де $B_{\text{міст}} = 0$ дБ для умов залізничних станцій;

$B_i = 7,7$ дБ для умов станцій на електрифікованих ділянках. Значення B_i визначене по кривій 1 на рисунку 2.4 для імовірності (надійності по полю) 95 %;

$$B_{\text{час}} = 0 \text{ дБ}.$$

Тоді напруженість поля складе

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{імов}} = 14 + 12 - 5,5 + 22 + 7,7 = 50,2 \text{ дБ}.$$

По базовій кривій, що відповідає добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ на рисунку 2.1, визначаємо дальність радіозв'язку: $r = 4,2 \text{ км}$.

Для умов електрифікації на постійному струмі у формулі (2.1) змінюється тільки значення $U_{2\text{мін}}$, тому

$$U_{2p} = U_{2\text{мін}} + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{імов}} = 6 + 12 - 5,5 + 22 + 7,7 = 42,2 \text{ дБ},$$

а дальність радіозв'язку складе 6,4 км.

$$\text{При тепловозній тязі } U_{2\text{мін}} = 4 \text{ дБ}, \quad \sum B_{\text{трас}} = 14 \text{ дБ},$$

$\sum B_{\text{імов}} = -(-3,8) + 0 + 0 = 3,8 \text{ дБ}$. Тоді рівень напруженості поля складає

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трає}} + \sum B_{\text{імов}} = 14 + 12 - 5,5 + 14 + 3,8 = 38,3 \text{ дБ.}$$

Дальність радіозв'язку складе 8 км.

Приклад 3. Визначити можливу дальність радіозв'язку стаціонарною та носивною радіостанцією в мережі, що організована на території великої залізничної станції, електрифікованої за системою змінного струму.

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача $P = 10 \text{ Вт}$; висота установки антени $h_1 = 15 \text{ м}$; антена з круговою діаграмою направленості АС $\frac{1}{2}$ з $G_1 = 0 \text{ дБ}$. Погонне згасання фідера РК-50-11 $\alpha_{\phi 1} = 0,1 \text{ дБ/м}$; $l_1 = 15 \text{ м}$. Параметри возивної радіостанції: висота установки антени $h_2 = 1,5 \text{ м}$; $G_2 = 0 \text{ дБ}$; погонне згасання фідера РК-50-7-11 $\alpha_{\phi 2} = 0,1 \text{ дБ/м}$; $l_2 = 5 \text{ м}$.

Визначимо значення поправок, що входять у розрахункову формулу (2.6), для умов залізниці, електрифікованої за системою змінного струму.

Мінімальне значення корисного сигналу для залізничних станцій на ділянках змінного струму $U_{2\text{мін}} = 14 \text{ дБ}$.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{\text{трає}}$ для умов станцій складе

$$\begin{aligned} \sum B_{\text{парам}} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФП БС}} = \\ &= -(10) - (-13) - 0 + 1,5 + 0 + 0 = 4,5 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Тут $B_n = 10 \lg \frac{10}{1} = 10 \text{ дБ}$. Значення інших коефіцієнтів взяті з прикладу 2.

$$G_1 = 0 \text{ дБ};$$

$$B_h = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) = 0 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 1} l_1 = 1,5 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\phi 2} l_2 = 0,5 \text{ дБ},$$

$$B_{\text{АФПБС}} = 0 \text{ дБ}.$$

Значення поправочних коефіцієнтів при роботі з носивними радіостанціями

$$\sum B_{\text{трас}} = B_{\text{рел}} + B_{\text{км}} + B_{\text{л}} + B_{\text{рн}} + B_{\text{ст}} = 0 + 8 + 0 + 2 + 5 = 15 \text{ дБ}.$$

Значення B_i визначене по кривій 1 на рисунку 2.4 для імовірності (надійності по полю) 95 %.

$$\sum B_{\text{імов}} = B_i + B_{\text{місц}} + B_{\text{час}} = -(-7,7) + 0 + 0 = 7,7 \text{ дБ}.$$

Тоді напруженість поля в точці приймання складає

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{імов}} = 14 + 12 + 4,5 + 15 + 7,7 = 53,2 \text{ дБ}.$$

По базовій кривій на рисунку 2.1 визначаємо дальність радіозв'язку від стаціонарної до носивної радіостанції: $r = 3,6 \text{ км}$.

Розрахувати дальність радіозв'язку від носивної до стаціонарної радіостанції.

Для умов передачі від носивної радіостанції поправочний коефіцієнт складає

$$\begin{aligned} \sum B_{\text{парам}} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{\text{АФПБС}} = \\ &= -(0) - (-13) - 0 + 1,5 + 0 + 0 = 14,5 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Тут $B_n = 10 \lg \frac{1}{1} = 0 \text{ дБ}$. Значення інших коефіцієнтів взяті з прикладу 2.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{трас}$ при зв'язку з носивною радіостанцією для умов залізничних станцій складе

$$\sum B_{трас} = B_{рел} + B_{км} + B_{л} + B_{рн} + B_{ст} = 0 + 8 + 0 + 2 + 5 = 15 \text{ дБ.}$$

Значення B_i визначене по кривій 1 на рисунку 2.4 для імовірності (надійності по полю) 95 %.

$$\sum B_{імов} = B_i + B_{міц} + B_{час} = -(-7,7) + 0 + 0 = 7,7 \text{ дБ.}$$

Тоді напруженість поля складає

$$E_{2p} = U_{2мін} + g_2 + \sum B_{парам} + \sum B_{трас} + \sum B_{імов} = 14 + 12 + 14,5 + 15 + 7,7 = 63,2 \text{ дБ.}$$

По базовій кривій, що відповідає добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ на рисунку 2.1, визначаємо дальність радіозв'язку від носивної до стаціонарної радіостанції: $r = 2,0 \text{ км}$.

Розрахувати дальність радіозв'язку від носивної до локомотивної радіостанції.

Значення поправочних коефіцієнтів $\sum B_{трас}$ для умов станцій складе

$$\begin{aligned} \sum B_{парам} &= -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + B_{АФП БС} = \\ &= -(0) - (-22,5) - 0 + 1,5 + 0 + 0 = 24,0 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Тут $B_n = 10 \lg \frac{1}{1} = 0 \text{ дБ}$. Значення інших коефіцієнтів взяті з прикладу 1.

$$\sum B_{трас} = B_{рел} + B_{км} + B_{л} + B_{рн} + B_{ст} = 0 + 8 + 9 + 2 + 5 = 24 \text{ дБ.}$$

Значення B_i визначене по кривій 1 на рисунку 2.4 для імовірності (надійності по полю) 95 %.

$$\sum B_{імов} = B_i + B_{міст} + B_{час} = -(-7,7) + 0 + 0 = 7,7 \text{ дБ.}$$

Тоді

$$U_{2p} = U_{2min} + g_2 + \sum B_{парам} + \sum B_{трає} + \sum B_{імов} = 14 + 12 + 24,0 + 24,0 + 5,7 = 79,7 \text{ дБ.}$$

По базовій кривій дальність радіозв'язку від носивної до локомотивної радіостанції складе менше 1,1 км.

2.5 Індивідуальне завдання з розрахунку дальності дії каналів технологічного радіозв'язку метрового діапазону

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для розрахунку мереж

Вид тяги	Ділянка залізниці	Висота антен	Коефіцієнт підсилення антен стаціонарних радіостанцій	Варіант
Електрична змінного струму	Мережі на перегоні	$h_1 = 20\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 4 \text{ дБ}$	1
	Мережі на станції	$h_1 = 15\text{м}, h_2 = 1,5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	2
	Мережі на перегоні	$h_1 = 25\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 5 \text{ дБ}$	3
	Мережі на станції	$h_1 = 12\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	4
Електрична постійного струму	Мережі на перегоні	$h_1 = 20\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 5 \text{ дБ}$	5
	Мережі на станції	$h_1 = 15\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	6
	Мережі на перегоні	$h_1 = 5\text{м}, h_2 = 1,5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	7
Тепловозна тяга	Мережі на перегоні	$h_1 = 15\text{м}, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	8
	Мережі на станції	$h_1 = 15\text{м}, h_2 = 1,5\text{м}$	$G_1 = 0 \text{ дБ}$	9
	Мережі на перегоні	$h_1 = 20, h_2 = 5\text{м}$	$G_1 = 2 \text{ дБ}$	10

Смуга частот метрового діапазону, яка відведена для організації мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті, використовується спільно. На сьогодні використовуються три різні методики. У роботі пропонується використовувати спільну методику розрахунку на базі єдиних кривих поширення радіохвиль для розрахунку комплексу мереж на станціях і перегонах.

На перегонах організуються зонні мережі поїзного радіозв'язку та мережі працюючих на коліях залізниць. На станціях організуються мережі різного призначення станційного та ремонтно-оперативного радіозв'язку.

Передбачені розрахунки мереж на перегонах і станціях між стаціонарними та локомотивними радіостанціями та розрахунки мереж різного призначення з носивними радіостанціями.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Особливості поширення радіохвиль метрового діапазону в умовах залізниць.
- 2 Поясніть методику розрахунку дальності дії каналів технологічного радіозв'язку на залізничних станціях.
- 3 Що таке надійність каналу радіозв'язку по полю?
- 4 Як визначають мінімально необхідний рівень корисного сигналу на вході приймача?
- 5 Основні електричні характеристики передавачів.
- 6 Основні електричні характеристики приймачів.
- 7 Що таке чутливість приймача?
- 8 Що таке вибірковість приймача?
- 9 Що таке криві поширення радіохвиль?
- 10 Які переваги аналітичних методів розрахунку дальності?

- 11 Методика розрахунку зон обслуговування на перегонах.
- 12 Характер та причини просторових флуктуацій сигналів у каналах рухомого радіозв'язку.
- 13 Причини часових флуктуацій у каналах радіозв'язку.
- 14 Від чого залежить дальність дії радіозв'язку?
- 15 Які складові паспорту радіомереж?
- 16 Класифікація мереж станційного радіозв'язку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Правила технічної експлуатації залізниць України. Міністерство транспорту України. ЦРБ 0004. Київ, 2007.
- 2 Єлізаренко А. О., Єлізаренко О. В. Мережі технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті: конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 59 с.
- 3 Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку. ЦШ-0058. Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.
- 4 Єлізаренко А. О. Перспективні напрямки розвитку мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 53 с.
- 5 Інструкція з утримання технічної документації на пристрої провідного зв'язку, радіозв'язку та пасажирської автоматики: наказ ПАТ «Укрзалізниця» від 20.11.2018 р. № 728.
- 6 GSM-R. Procurement & Implementation Guide. International Union of Railways-Paris, 2009. 246 с. URL: https://uic.org/IMG/pdf/2009gsm-r_guide.pdf
- 7 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. № 6 2006. 174 с.

8 Методичні вказівки з розрахунку системи станційного радіозв'язку: Нормативно-виробниче видання. Транспорт, 1991. 46 с.

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

10 ЦШ-0047 Інструкція з технічного обслуговування направляючих ліній (хвилеводів) поїзного радіозв'язку: затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 14.11.2006 р. № 425-Ц.

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

12 Recommendation ITU-R P.1546-6. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4000 MHz. 2019. 57 с.

13 Про впровадження каналної сітки радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону: затв. рішенням НКРЗІ № 411 від 19.10.2006.

URL:<https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=59&id=4182&language=uk>

РОЗРАХУНОК ЗОН ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕРЕЖ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт

з дисципліни

«РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»

Відповідальний за випуск Корольова Н. А.

Підписано до друку 05.07.2023 р.
Умовн. друк. арк. 4,25. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.