



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО**  
**ТРАНСПОРТУ**

*Навчальний посібник*

**Харків 2024**

УДК 621.37:656.2(075)

Р 15

*Рекомендовано вченою радою Українського державного університету  
залізничного транспорту як навчальний посібник  
(витяг з протоколу № 6 від 28 червня 2024 р.)*

**Рецензенти:**

д-р фіз.-мат. наук, професор М. М. Горобець,  
д-р техн. наук, професор В. В. Бараннік (ХНУ ім. В. Н. Каразіна)

**Авторський колектив:**

С. В. Панченко, С. І. Приходько, А. О. Єлізаренко, Н. А. Корольова

Р 15

Радіотехнічні системи залізничного транспорту: Навч. посібник /  
С. В. Панченко, С. І. Приходько, А. О. Єлізаренко та ін. – Харків:  
УкрДУЗТ, 2024. – 146 с., рис. 31, табл. 19.

ISBN

У навчальному посібнику викладено лекційні матеріали з принципів побудови систем рухомого радіозв'язку, мереж залізничного технологічного радіозв'язку, частотно-територіального планування мереж та основ експлуатації радіозасобів. Кожен розділ посібника супроводжено переліком контрольних запитань, прикладами розрахунків зон обслуговування та електромагнітної сумісності радіозасобів.

Посібник рекомендований для здобувачів факультету ІКСТ, першого (бакалаврського) рівня освіти спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» ОП «Телекомунікації та радіотехніка», які вивчають дисципліну «Радіотехнічні системи залізничного транспорту», і може бути корисним при вивченні відповідних розділів дисципліни «Інформаційно-вимірювальні системи» для здобувачів другого (магістерського) рівня спеціальності 273 «Залізничний транспорт» ОП «Комп'ютерні мережеві технології».

УДК 621.37:656.2(075)

ISBN

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2024.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА.....	7
1.1. Міжнародні аспекти регулювання використання радіочастотного спектра.....	7
1.2. Державне регулювання використання радіочастотного спектра в Україні.....	12
1.3. Відомчі регулювання використання радіочастотного спектра на залізницях України.....	20
Контрольні запитання.....	26
2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ.....	28
2.1. Загальні положення.....	28
2.2. Техніко-експлуатаційні характеристики радіозасобів.....	29
2.3. Електричні параметри радіопередавальних пристроїв.....	34
2.4. Основні електричні параметри радіоприймальних пристроїв..	41
2.5. Характеристики вибірковості радіоприймальних пристроїв...	47
Контрольні запитання.....	50
3. МЕРЕЖІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....	52
3.1. Призначення та класифікація мереж технологічного радіозв'язку.....	52
3.2. Побудова мереж поїзного радіозв'язку.....	56
3.3. Організація мереж станційного радіозв'язку.....	61
3.4. Організація ремонтно-оперативного радіозв'язку.....	65

3.5. Перспективні напрями розвитку залізничного технологічного радіозв'язку.....	71
Контрольні запитання.....	80
4. РОЗРАХУНОК МЕРЕЖ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ....	82
4.1. Загальні положення та рекомендації.....	82
4.2. Розрахунок мереж поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону.....	84
4.3. Розрахунок зон обслуговування мереж технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль.....	94
4.4. Особливості організації мереж поїзного технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць.....	111
4.5. Розрахунок електромагнітної сумісності радіозасобів.....	114
Контрольні запитання.....	125
5. ЕКСПЛУАТАЦІЯ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ РАДІОЗАСОБІВ.....	127
5.1. Організація технічної експлуатації радіозасобів технологічного радіозв'язку.....	127
5.2. Технологічні процеси обслуговування радіозасобів.....	131
5.3. Удосконалення експлуатаційного контролю радіозасобів.....	134
5.4. Вимоги з безпеки при технічному обслуговуванні радіозасобів.....	136
Контрольні запитання.....	140
Бібліографічний список.....	142

## ВСТУП

Відповідно до навчального плану дисципліна «Радіотехнічні системи залізничного транспорту» належить до циклу базових дисциплін відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

Видані раніше в УкрДУЗТ конспекти лекцій «Коливальні кола та генератори», «Модулятори», «Елементи радіоприймальних пристроїв», «Детектування радіосигналів» містять загальнотеоретичні особливості побудови елементів радіопередавальних і радіоприймальних пристроїв, схемотехнічні рішення з побудови та їхніх основних параметрів і характеристик.

У посібнику розглянуто ширше коло питань системного характеру. Такий підхід відповідає структурі освітньо-професійної програми та забезпечує комплексне вивчення дисципліни.

**У розділі 1** наведено розподіл електромагнітного спектра на діапазони частот, розглянуто особливості розподілу радіочастотного ресурсу, а також відомості про міжнародні та національні органи регулювання (управління) у сфері використання радіочастотного ресурсу, висвітлено основні положення Регламенту радіозв'язку, особливості відомчих аспектів регулювання, плани і розподіл смуг частот між різними радіослужбами на залізницях.

**У розділі 2** розглянуто основні техніко-експлуатаційні характеристики радіозасобів рухомого технологічного радіозв'язку, проаналізовано методи вимірювання та нормування основаних електричних параметрів згідно з чинними державними стандартами. Окрім функціональних, розглянуто параметри, які впливають на забезпечення ЕМС радіоелектронних засобів та ефективність використання радіочастотного ресурсу, описано нормування їхніх характеристик.

**У розділі 3** розглянуто призначення, класифікацію, принципи організації і побудови мереж залізничного технологічного радіозв'язку, проаналізовано основні напрями розвитку систем залізничного технологічного радіозв'язку на основі впровадження сучасних цифрових радіотехнологій, розглянуто особливості побудови цифрових систем, адаптованих для використання на залізничному транспорті: DMR, GSM-R і LTE-R.

**У розділі 4** викладено основні методи розрахунку зон обслуговування та електромагнітної сумісності радіозасобів на залізницях з використанням відомчих нормативно-технічних документів, розглянуто особливості розрахунку в метровому та гектометровому діапазонах радіохвиль, розроблено пропозиції з організації каналів із випромінюючими кабелями в тунелях залізниць.

**У розділі 5** розглянуто основи експлуатації та технічного обслуговування радіозасобів технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті. Для підвищення надійності функціонування радіомереж регламентно-профілактичні методи технічного обслуговування радіозасобів запропоновано доповнити запровадженням системи моніторингу радіомереж.

Матеріали навчального посібника враховують досвід і практику викладання дисципліни на кафедрі транспортного зв'язку і забезпечують підготовку до виконання лабораторних і практичних завдань і тестового контролю знань.

# 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

## 1.1. Міжнародні аспекти регулювання використання радіочастотного спектра

Радіохвиля – електромагнітна хвиля, яка поширюється у просторі без штучного спрямовуючого середовища з певним номіналом частоти в межах радіочастотного спектра.

Радіочастотний спектр – це безперервний інтервал радіочастот у межах від 3 кГц до 3 ТГц.

Радіочастотний ресурс – це частина радіочастотного спектра, яку використовують для передавання та/або приймання електромагнітної енергії радіоелектронними засобами певних користувачів.

Радіочастотний ресурс (РЧР) використовують усі країни, а в кожній країні – різні категорії користувачів. У зв'язку з цим використання РЧР підлягає міжнародному та державному регулюванню.

Управляти використанням спектра на міжнародному рівні необхідно у зв'язку з тим, що радіочастотний спектр – це обмежений ресурс, і його слід використовувати раціонально та ефективно так, щоб країни і групи країн могли мати справедливий доступ до нього [1].

Організація діяльності МСЕ регламентована Статутом МСЕ, Конвенцією МСЕ, а також положенням Адміністративних регламентів: Регламенту міжнародного електрозв'язку та Регламенту радіозв'язку.

У складі Міжнародного союзу електрозв'язку існує три сектори:

- радіозв'язку, до складу якого входить Бюро радіозв'язку (БР) і Радіорегламентний комітет (РРК);
- розвитку електрозв'язку, до складу якого входить Бюро розвитку електрозв'язку (БРЕ);
- стандартизації електрозв'язку.

Сектор радіозв'язку здійснює свою роботу:

- через всесвітні конференції з радіозв'язку, які проводять раз на чотири роки та приймають фундаментальні довгострокові рішення щодо визначення основних напрямів розвитку телекомунікацій;
- регіональні конференції з радіозв'язку;
- асамблеї з радіозв'язку;
- бюро радіозв'язку (ITU-R);
- радіорегламентний комітет;
- дослідницькі комісії з радіозв'язку.

Основним документом, що визначає порядок управління використанням РЧР на міжнародному рівні, є Регламент радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку, що являє собою збірник основних міжнародних постанов щодо використовуваних термінів, параметрів випромінювання радіозасобів, класифікації випромінювань. Спеціальні глави Регламенту присвячені порядку міжнародного присвоєння частот і координації дій країн в області використання частот, а також заходам проти радіозавад. Регламент радіозв'язку визначає правила, які мають бути застосовані при використанні спектра, а також права та зобов'язання, що виникають із такого використання [1].

Таблиця розподілу частот МСЕ є одним із найважливіших компонентів розподілу радіоресурсу. Смуги частот всередині країн розподіляють, як правило, з урахуванням норм регламенту. Класифікація та розподіл радіочастот за діапазонами радіохвиль наведена в табл. 1.1.

Міжнародний регламент радіозв'язку заснований на застосуванні двох базових концепцій [1]:

- розподілу конкретних блоків частот відповідної радіослужби. Ця концепція в цілому дає змогу розподілити взаємно сумісним службам зі схожими технічними характеристиками одну і ту саму смугу частот у певних ділянках спектра. Вона також створює стабільні умови



використання частот і розроблення радіозасобів для Адміністрацій зв'язку, виробників обладнання та користувачів;

- добровільних та обов'язкових регуляторних процедур (координації, заяви і реєстрації), необхідність застосування яких визначена особливостями розподілу смуг радіочастот.

Зведені відомості стосовно особливостей поширення і дальності дії різних видів радіохвиль і практичного застосування смуг радіочастот різних діапазонів наведені в табл. 1.2 [1].

Таблиця 1.1

Розподіл радіочастот за діапазонами

Назва	Умовне позначення		Діапазон частот	Назва хвиль	Довжина хвиль
Дуже низькі частоти	ДНЧ (VLF)	Короткі хвилі (КХ)	3 кГц - 30 кГц	Міріаметрові хвилі	10 км – 100 км
Низькі частоти	НЧ (LF)		30 кГц – 300 кГц	Кілометрові хвилі	1 км – 10 км
Середні частоти	СЧ (MF)		300 кГц – 3 МГц	Гектометрові хвилі	100 м – 1 км
Високі частоти	ВЧ (HF)		3 МГц – 30 МГц	Декаметрові хвилі	10 м – 100 м
Дуже високі частоти	ДВЧ (VHF)	Ультракороткі хвилі (УКХ)	30 МГц – 300 МГц	Метрові хвилі	1 м – 10 м
Ультрависокі частоти	УВЧ (UHF)		300 МГц – 3 ГГц	Дециметрові хвилі	10 см – 1 м
Надвисокі частоти	НВЧ (SHF)		3 ГГц – 30 ГГц	Сантиметрові хвилі	1 см - 10 см
Вельми високі частоти	ВВЧ (EHF)		30 ГГц – 300 ГГц	Міліметрові хвилі	1 мм – 10 мм
Гіпервисокі частоти	ГВЧ (HHF)		300 ГГц – 3 ТГц	Дециміліметрові хвилі	0,1 мм – 1 мм

## Особливості поширення та застосування радіохвиль

Діапазон, частота	Вид	Дальність	Застосування
СЧ (0,3 – 3) МГц	Земна хвиля, іоносферна хвиля	Кілька тисяч кілометрів	Радіозв'язок між пунктами на середніх відстанях, радіомовний і морський рухомий зв'язок
ВЧ (3 – 30) МГц	Іоносферна хвиля	До кількох тисяч кілометрів	Зв'язок між пунктами на великих відстанях, глобальне радіомовлення, рухомий зв'язок
ДВЧ (30 – 300) МГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція	До кількох десятків кілометрів, сотен кілометрів при ДТР	Зв'язок між пунктами на коротких і середніх відстанях, рухомий і персональний зв'язок, локальні мережі, звукове та телевізійне мовлення
УВЧ (0,3 – 3) ГГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція, у мережах прямої видимості	До 50 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких і середніх відстанях, рухомий, стільниковий, супутниковий зв'язок, звукове і телевізійне мовлення, локальні мережі
НВЧ (3 – 30) ГГц	У мережах прямої видимості	До 20 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких відстанях, рухомий, персональний і супутниковий зв'язок, звукове і телевізійне мовлення, локальні мережі
ВВЧ (30 – 300) ГГц	У мережах прямої видимості	До 20 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких відстанях, мікростільникові та локальні мережі, персональний і супутниковий зв'язок

У регламенті налічують більше чотирьох десятків служб:

- фіксована служба – служба радіозв'язку між певними фіксованими пунктами;

- повітряна служба – призначена в основному для забезпечення повітряної навігації і регулярності, ефективності та економічності роботи повітряного транспорту;

- сухопутна рухома служба – рухома служба між базовими станціями і сухопутними рухомими станціями чи між сухопутними рухомими станціями. Ця служба найбільш використовується для організації мереж загального користування, наприклад стільникових мереж і технологічних потреб у господарських цілях.

Коли йдеться про послуги зв'язку, частіше використовують поняття радіотехнології, системи і стандарти радіозв'язку [1].

**Радіотехнологія** – сукупність способів формування, передавання, приймання (обробки) радіосигналів, які складають єдиний технологічний процес і застосування якої передбачає використання радіочастотного ресурсу.

**Система радіозв'язку** – сукупність пристроїв, призначених для передавання та приймання інформації будь-якого роду по каналах радіозв'язку.

Загалом система радіозв'язку має конкретну структуру, базовану на застосуванні основних принципів певної радіотехнології та реалізації певного стандарту радіозв'язку. У межах однієї радіотехнології може існувати досить багато систем радіозв'язку, розроблених різними виробниками засобів телекомунікацій.

**Стандарт радіозв'язку** являє собою сукупність нормованих параметрів і характеристик певної системи радіозв'язку. У межах однієї радіотехнології можна застосовувати декілька стандартів зв'язку. Стандарт радіозв'язку визначає вимоги щодо технічних параметрів сигналів, структури сигналу, протоколів обміну даними.

Використання конкретних радіотехнологій і систем радіозв'язку конкретизовано в національних нормативних документах.

## **1.2. Державне регулювання використання радіочастотного спектра в Україні**

В Україні державне регулювання та управління у сфері користування радіочастотного спектра здійснюють на основі Закону України «Про електронні комунікації», який набув чинності з 01.01.2022 року [2]. У зв'язку з цим Закони України «Про радіочастотний ресурс України» і «Про телекомунікації» втратили чинність.

Згідно зі статтею 1 Закону України «Про електронні комунікації» визначена сфера дії цього закону, поширена на відносини у сферах електронних комунікацій і радіочастотного спектра щодо надання та отримання електронних комунікаційних послуг.

Дія цього Закону не поширена на відносини, пов'язані з електронними комунікаційними мережами, що не мають взаємоз'єднання з мережами загального користування (крім відносин у сфері радіочастотного спектра) [2].

Правонаступником Національної комісії з регулювання зв'язку та інформатизації України (НКРЗІ) є Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку (НКЕК), яка є основним регуляторним органом із цих питань [3]. Крім того, до регуляторних органів із питань РЧР також належать Національна рада з питань телебачення і радіомовлення і Генеральний штаб Збройних сил України [3].

За Законом [3], який набув чинності 13.02.2022 року, до сфери повноважень НКЕК належить:

- ліцензування у сфері користування РЧР України;
- розроблення та затвердження нормативно-правових актів щодо регулювання у сфері користування РЧР України;
- встановлення порядку реалізації та експлуатації РЕЗ на території України;
- забезпечення міжнародної координації та міжнародного захисту частотних присвоєнь, участь у роботі МСЕ та інших міжнародних організацій.

Державне підприємство «Український державний центр радіочастот» (УДЦР), що перебуває у сфері управління НКЕК, має право здійснювати такі види діяльності:

- 1) розрахунки електромагнітної сумісності, присвоєння радіочастот;
- 2) радіочастотний моніторинг користування радіочастотним спектром загальними користувачами;
- 3) моніторинг якості електронних комунікаційних послуг у мережах загального користування;
- 4) участь у проведенні первинного технічного контролю радіообладнання на місці експлуатації;
- 5) здійснення заходів щодо виявлення джерел радіозавад;
- 6) ведення автоматизованої інформаційної системи управління радіочастотним спектром загального користування;
- 7) здійснення заходів щодо забезпечення електромагнітної сумісності радіообладнання;
- 8) технічна експертиза з питань попереднього оцінювання можливості виконання умов електромагнітної сумісності при видачі ліцензії на користування радіочастотним спектром;
- 9) міжнародна координація супутникових мереж і систем, присвоєнь радіочастот.

Окремий розділ Закону регулює умови застосування технічних засобів електронних комунікацій і кінцевого обладнання та основи стандартизації у сфері радіочастотного спектра [2]. При цьому необхідно забезпечити зближення розподілу смуг в Україні з міжнародним розподілом, визначеним у Регламенті радіозв'язку МСЕ. Закон забезпечує технологічну нейтральність при застосуванні різних радіотехнологій.

Основним документом із регулювання радіочастотного ресурсу є План розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні [4].

Радіочастотний моніторинг передбачає збирання, вимірювання, оброблення, збереження, аналіз параметрів радіовипромінювання. Радіочастотний моніторинг здійснюють із метою визначення стану користування радіочастотним спектром і контролю забезпечення електромагнітної сумісності.

Радіочастотний моніторинг здійснюють УДЦР у смугах радіочастот загального користування, Генеральний штаб Збройних Сил України у смугах радіочастот спеціального користування.

Користування радіочастотним спектром здійснюється суб'єктами господарювання для надання електронних комунікаційних послуг на підставі ліцензій на користування радіочастотним спектром у ліцензованому діапазоні радіочастот. Технологічні користувачі, не пов'язані з наданням електронних комунікаційних послуг, використовують РЧР на підставі радіочастотних присвоєнь.

Присвоєння радіочастот для радіобладнання загальних користувачів здійснюється УДЦР на підставі відповідності Плану розподілу і користування РЧС в Україні і розрахунку електромагнітної сумісності [5]. Для розрахунку електромагнітної сумісності радіобладнання загальних користувачів застосовують рекомендації ITU-R [6].

Використання імпортованого обладнання радіозв'язку можливе за відповідності Плану розподілу і користування РЧС в Україні та умовам електромагнітної сумісності.

Заходи з виявлення джерел радіозавад здійснювані УДЦР на договірних засадах.

Планування використання РЧР України відбувається за багаторівневою схемою і охоплює процедури від розподілу радіочастот між радіослужбами до присвоєння частоти конкретному РЕЗ [1]. Детальна послідовність і зміст окремих етапів порядку регулювання використання РЧР України наведений на рис. 1.1.

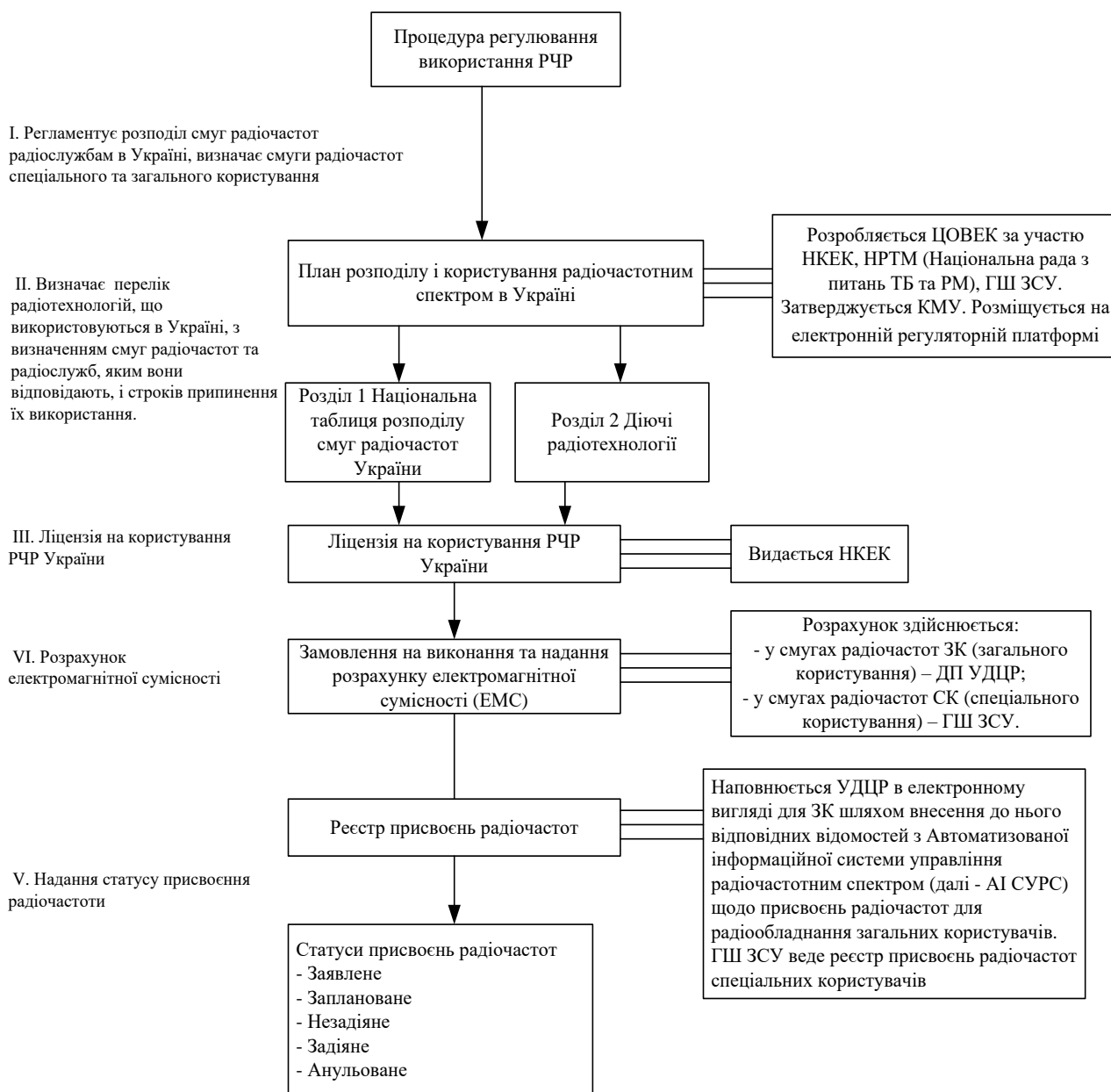


Рис. 1.1. Порядок планування та регулювання використання РЧС України

Верхнім рівнем планування використання РЧС України є розподіл смуг радіочастот між радіослужбами. На першому етапі процедури регулювання використання РЧС на підставі застосування міжнародної таблиці розподілу частот (МТРЧ) розробляють План розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні, затверджений Постановою КМУ від 19.12. 2023 року № 1340 [4]. Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України є складовою Плану розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні, яким регламентовано розподіл смуг радіочастот радіослужбам в Україні і розподіл на смуги спеціального та загального користування [4].

До спеціальних користувачів радіочастотного спектра належать підрозділи і організації Міністерства оборони України та інших силових структур.

У Плані [4] встановлено перелік радіослужб в Україні – 35 радіослужб. Системи залізничного технологічного радіозв'язку є типовими представниками сухопутної рухомої служби. На залізниці знаходиться в експлуатації розгалужена мережа систем технологічного радіозв'язку, яка налічує понад 40 тис. радіостанцій різного призначення.

На другому етапі виділяють смуги для певних радіотехнологій і стандартів радіозв'язку. Виділення радіочастот закріплено в Плані використання радіочастотного ресурсу України.

Наступний етап – розрахунки електромагнітної сумісності і внесення запису в реєстр радіочастот.

Присвоєння радіочастот здійснюється УДЦР стосовно конкретних РЕЗ із певними географічними координатами, технічними та експлуатаційними характеристиками. УДЦР аналізує умови забезпечення ЕМС. Порядок виділення смуг радіочастот конкретному користувачу наведений на рис. 1.2.



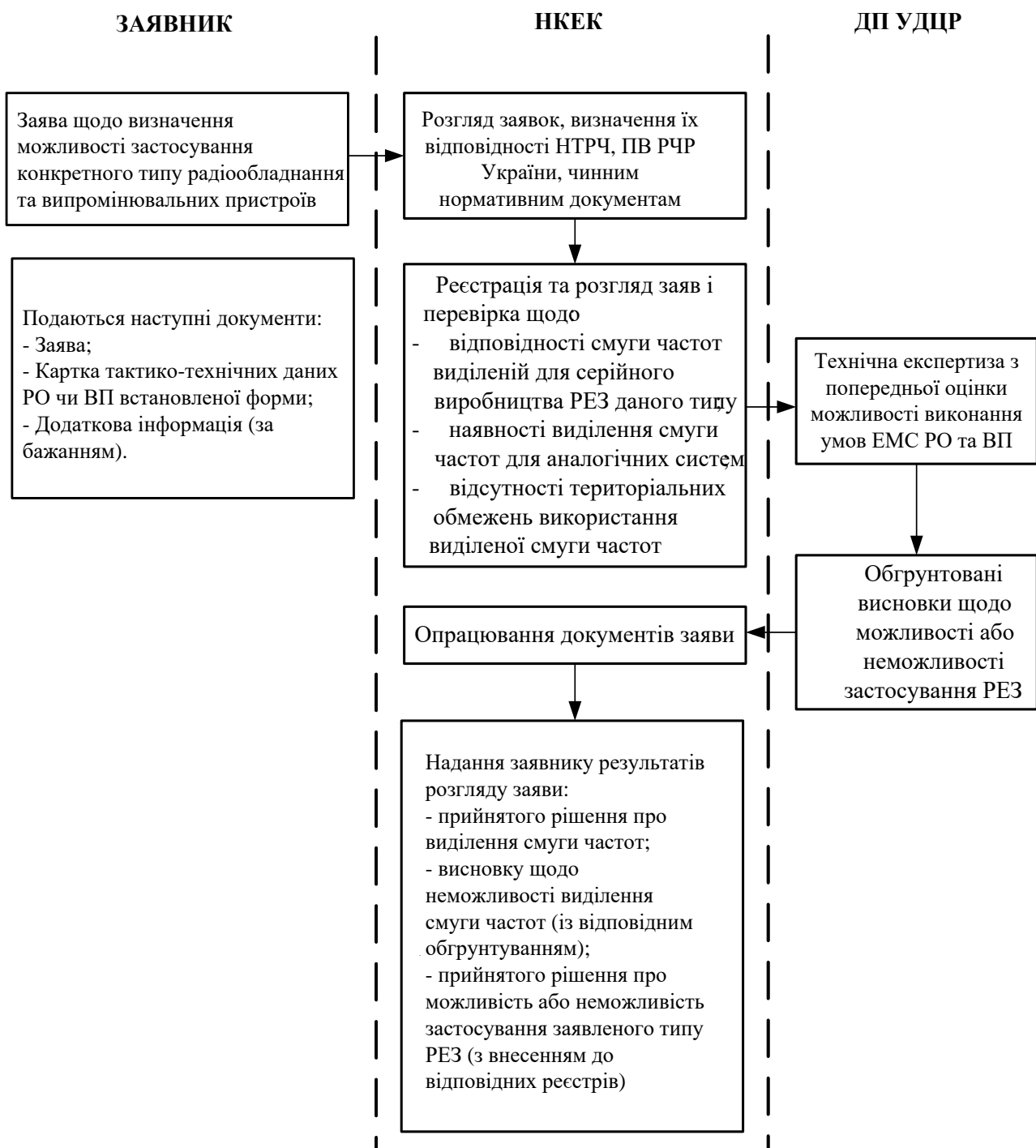


Рис. 1.2. Чинний порядок виділення смуг радіочастот

Рішення про виділення радіочастот в Україні базоване на застосуванні «Порядку виконання та надання розрахунку електромагнітної сумісності для загальних користувачів» (далі Порядок) [5] і «Порядку

ведення реєстру присвоєнь радіочастот загальних користувачів» (далі Реєстр ПРЧ) [7].

Розрахунок електромагнітної сумісності для загальних користувачів надає УДЦР. Розрахунок ЕМС визначає результати оцінювання можливості забезпечення ЕМС між раніше заявленими, запланованими, задіяними присвоєннями радіочастот для радіобладнання.

Для розрахунку ЕМС УДЦР використовує Автоматизовану інформаційну систему управління радіочастотним спектром (далі АІ СУРС).

Замовник звертається до УДЦР із замовленням для виконання та надання Розрахунку ЕМС (далі Замовлення).

Залежно від результатів розрахунків ЕМС визначають необхідність проведення натурних випробувань на місці встановлення.

Натурні випробування призначають за необхідності експериментального підтвердження виконання умов ЕМС між радіобладнанням Замовника та заявленим, запланованим, задіяним радіоелектронних засобів інших користувачів. Фахівці УДЦР беруть участь у проведенні первинного технічного контролю та натурних випробувань.

У разі позитивного результату розрахунку ЕМС, після надходження оплати за відповідним рахунком УДЦР, у Реєстрі присвоєнь радіочастот загальних користувачів змінюють статус присвоєння радіочастоти з «заявлене» на «заплановане».

Після надходження оплати за розгляд і опрацювання декларації про забезпечення ЕМС РО та після отримання повідомлення про початок експлуатації радіобладнання статус присвоєння радіочастоти змінюють із запланованого на задіяне присвоєння радіочастоти.

Важливим документом НКЕК є Реєстр радіобладнання та випромінювальних пристроїв, дозволених для застосування на території України загальними користувачами в смугах радіочастот загального користування [8].

При впровадженні нових радіозасобів і радіотехнологій необхідно отримання рішення НКЕК щодо можливості застосування конкретного типу радіоелектронного засобу на території України на основі поданої заявки.

В Україні для рухомої сухопутної служби виділені певні смуги частот на різних ділянках (діапазонах) радіочастотного спектра.

Відповідно до Плану розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні для залізничного транспорту виділено смуги частот у метровому діапазоні 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц для організації технологічного радіозв'язку АТ «Укрзалізниця».

У смугах частот дециметрового діапазону за використання цифрових транкінгових технологій виділено смуги частот 413-420 МГц і 423-430 МГц для використання в системах TETRA і його модифікацій, APCO 25.

У мережах стільникового технологічного радіозв'язку GSM-R на залізницях передбачено використання смуг частот 876 – 880 МГц і 921 – 925 МГц (рис. 1.3).

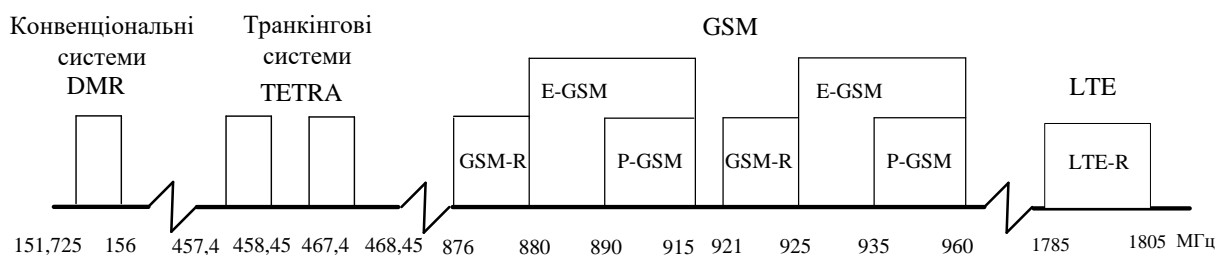


Рис. 1.3. Смуги частот рухомого радіозв'язку

Для систем LTE використовують смуги радіочастот у діапазонах 1800 і 2600 МГц [4]. Для створення технологічних мереж радіозв'язку на залізницях для рухомої служби стандарту LTE може бути виділена смуга частот 1785 – 1805 МГц.

Перспективні напрями розвитку залізничного технологічного радіозв'язку розглянуто в підрозд. 3.4 посібника.

Встановлено, що користування радіочастотним спектром загального користування здійснюється на платній основі. Користувачі радіочастотного спектра оплачують послуги, розглянуті раніше, які надає Український державний центр радіочастот. Ставки рентної плати за користування радіочастотним спектром розраховують за методикою, затвердженою Кабінетом Міністрів України. Порядок нарахування і сплати рентної плати за користування радіочастотним спектром визначено Податковим кодексом України.

### **1.3. Відомче регулювання використання радіочастотного спектра на залізницях України**

Нормативно-технічне регулювання технологічного радіозв'язку залізничного транспорту України здійснюється на основі цілої низки відомчих нормативних документів. Визначальними є Правила технічної експлуатації залізниць України. Вони встановлюють основні положення та порядок роботи залізниць і працівників залізничного транспорту України, систему організації руху поїздів і принципи сигналізації [7].

У межах виділеної смуги частот у Правилах технічної експлуатації залізниць України регламентують використання каналів для керівництва технологічними процесами роботи в усіх ланках перевізного процесу.

Відповідно до Правил технічної експлуатації залізниць України мережі радіозв'язку класифікують за технологічними ознаками і розрізняють мережі станційного (СРЗ), поїзного (ПРЗ) і ремонтно-оперативного (РОРЗ) радіозв'язку [9].

Станційний радіозв'язок має забезпечувати двосторонній радіозв'язок у мережах маневрового і гіркового радіозв'язку, радіозв'язку станційних технологічних центрів, пунктів технічного обслуговування вагонів і локомотивів, радіозв'язку пунктів комерційного огляду вагонів, контейнерних майданчиків, бригад з обслуговування і ремонту технічних засобів (СЦБ, зв'язку, колії, контактної мережі тощо), підрозділів воєнізованої охорони [10, 11].

Поїзний радіозв'язок має забезпечувати надійний двосторонній зв'язок машиністів поїзних локомотивів, спеціального самохідного рухомого складу з поїзним диспетчером у межах всієї диспетчерської ділянки; черговими по станціях, що обмежують перегін; зашиністами зустрічних і тих, що йдуть позаду, локомотивів, моторвагонних поїздів, спеціального самохідного рухомого складу, що знаходяться на одному перегоні; черговими по переїздах та депо; керівниками ремонтних робіт і сигналістами; стрілками воєнізованої охорони в поїздах і на об'єктах; помічником машиніста при виході його з кабіни; начальником (механіком-бригадиром) пасажирського поїзда [13].

Для управління ремонтними роботами на перегонах і станціях вантажонапружених ліній має бути застосований оперативний радіозв'язок, призначений для забезпечення надійного двостороннього зв'язку в межах ремонтних підрозділів із керівником робіт, керівника робіт із машиністами локомотивів, машиністами спеціального самохідного рухомого складу і черговим апаратом відповідної служби [9].

Частотний план технологічного радіозв'язку встановлює систематизований розподіл окремих смуг частот і каналів між різними службами, підрозділами і видами радіозв'язку без прив'язки до конкретних станцій і територій. Відповідно до плану обладнують радіозасобами станції і диспетчерські ділянки.

Відповідно до чинного частотного плану технологічного радіозв'язку залізничного транспорту встановлено розподіл каналів у метровому діапазоні радіохвиль для організації комплексу мереж станційного, поїзного та ремонтно-оперативного радіозв'язку [4]. Для організації каналів технологічного зв'язку в метровому діапазоні були виділені ділянки спектра: 151,725 – 154,000 МГц (92 канали з частотним рознесенням 25 кГц) і 155,000 – 156,000 МГц (41 канал) для організації поїзного, станційного та ремонтно-оперативного радіозв'язку.

На рис. 1.4 наведено сітку частот радіоканалів у мережах технологічного радіозв'язку, показано умовні номери радіоканалів (від 1 до 133) і їхню частоту з кроком сітки частот 25 кГц.

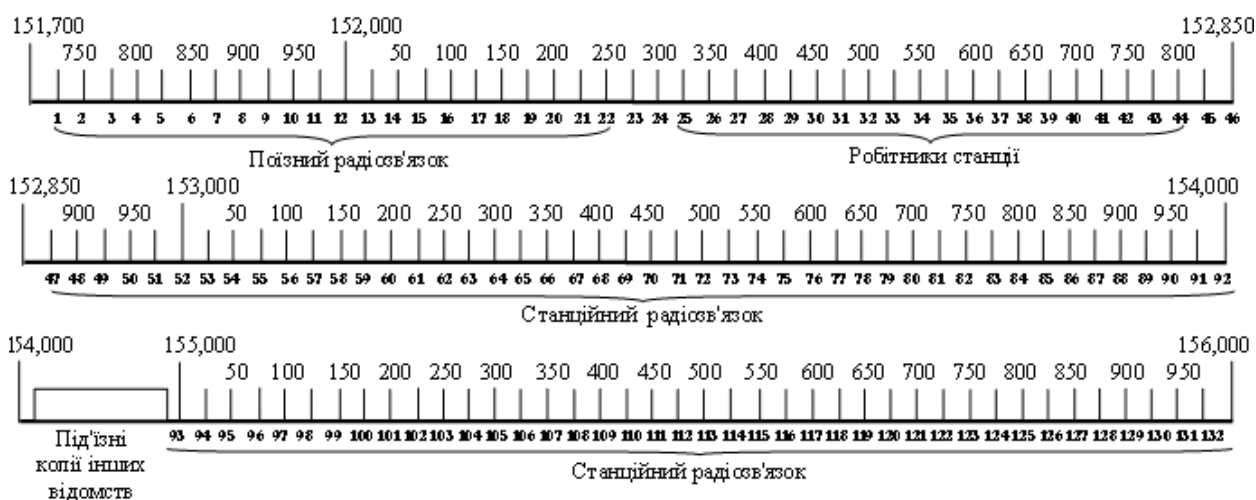


Рис. 1.4. Частотний план технологічного радіозв'язку

Показано розподіл смуг частот для радіомереж різного призначення: у поїзному радіозв'язку канали в смугах частот 151,725 – 152,250 МГц. Для організації радіомереж станційних технологічних абонентів СРЗ-Т виділені канали з 25 по 44; інші канали можна використовувати в мережах станційного та ремонтно-оперативного радіозв'язку. Смуга частот 155,000 –

156,000 МГц передбачена для організації радіомереж СРЗ та РОРЗ на великих залізничних станціях і вузлах.

Прийнята нумерація каналів замість шестизначних цифр робочої частоти спрощує розподіл робочих каналів між різними службами і категоріями абонентів.

За рішенням Національної комісії з регулювання зв'язку та інформатизації від 19.10.2006 року № 411, для підвищення ефективності використання частотного ресурсу необхідно забезпечити перехід на використання радіозасобів із сіткою частот 12,5 кГц [14]. При цьому технічні параметри обладнання мають відповідати вимогам ДСТУ 4184:2003 [15]. Технологічні користувачі повинні здійснити перехід на нову каналну сітку 12,5 кГц на час закінчення терміну дії дозволів на експлуатацію РЕЗ шляхом переоформлення дозволів відповідно до законодавства.

При цьому робочі частоти каналів із кроком сітки частот 12,5 кГц необхідно розраховувати за формулою в смузі частот 150,05-168,5 МГц (симплекс, дуплекс відповідно до Плану використання радіочастотного ресурсу України) як

$$F = 150,05 + (n - 1) \cdot 0,0125;$$

$$n = 1 \dots 1476.$$

Отже, перший канал із відведених для технологічного зв'язку АТ «Укрзалізниця» можна визначити як

$$F = 150,05 + (135 - 1) \cdot 0,0125 = 151,725 \text{ МГц},$$

де  $n$  складає 135.

Останній канал на частоті 156,000 МГц визначають як

$$F = 150,05 + (477 - 1) \cdot 0,0125 = 156,000 \text{ МГц}.$$

де  $n$  складає 477.

У перехідний період при запровадженні радіозасобів із кроком каналної сітки частот 12,5 кГц необхідно забезпечити спільну експлуатацію різних радіозасобів. Необхідне розроблення нового частотного плану, який би впорядкував експлуатацію радіозасобів із кроком сітки частот 12,5 кГц з урахуванням системи нормативно-технічного забезпечення, що склалася.

В усіх нормативно-технічних документах використовують умовну нумерацію каналів, призначених для організації мереж від першого (151,725 МГц) до 133 (156,000 МГц), а відповідні їм робочі частоти можна визначити за сіткою частот (рис. 1.4).

Для нової сітки частот, на відміну від чинної, пропонувано вести нумерацію починаючи з 201 каналу для частоти 151,725 МГц. В обох системах нумерація частот непарних каналів збігається.

У табл. 1.3 наведено фрагмент відповідності номерів каналів для сітки з кроком частот 25 і 12,5 кГц. При впровадженні нових радіозасобів буде розширено використання каналів відповідно до сітки частот 12,5 кГц.

Таблиця 1.3

Відповідність номіналів частот і номерів каналів для сітки з рознесенням частот каналів 25 і 12,5 кГц

Частота, МГц	Номер каналу 25 кГц	Номер каналу 12,5 кГц	Частота, МГц	Номер каналу 25 кГц	Номер каналу 12,5 кГц	Частота, МГц	Номер каналу 25 кГц	Номер каналу 12,5 кГц
151,7250	1	201	152,2750	23	245	152,8250	45	289
151,7375		202	152,2875		246	152,8375		290
151,7500	2	203	152,3000	24	247	152,8500	46	291
151,7625		204	152,3125		248	152,8625		292
151,7750	3	205	152,3250	25	249	152,8750	47	293



У подальшому частотний план буде містити тільки частотні присвоєння з номерами каналів 201 – 464. На нашу думку, використовувати умовні номери каналів зручніше, ніж семизначну цифру несучої частоти. Це дасть змогу використовувати чинні нормативні документи з розподілу смуг частот у мережах технологічного радіозв'язку.

Розроблено нормативні документи, які регламентують використання технологічного радіозв'язку.

При проектуванні радіомереж ПРЗ використовують нормативні документи з організації і розрахунку каналів поїзного радіозв'язку в метровому та гектометровому діапазонах радіохвил [16].

Третю групу відомчих нормативних документів складають документи, які регламентують питання експлуатації радіомереж [13, 15, 16]: правила експлуатації поїзного радіозв'язку; інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку.

Правила експлуатації поїзного радіозв'язку визначають порядок експлуатації і обслуговування засобів поїзного радіозв'язку із використанням стаціонарних, возимих (локомотивних) і носимих радіостанцій, що працюють у діапазонах гектометрових (ГМХ) і метрових (МХ) хвиль. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку є обов'язковими для всіх працівників залізничного транспорту, що користуються пристроями поїзного радіозв'язку і забезпечують їхнє технічне обслуговування.

Інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку відповідно до вимог Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України ЦД-0058 визначає:

- порядок експлуатації та обслуговування засобів маневрового та гіркового радіозв'язку з використанням стаціонарних, локомотивних і носимих радіостанцій, пристроїв двостороннього паркового зв'язку;

- відповідальність посадових осіб за правильне використання технічних засобів.

Інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку є обов'язковою для всіх працівників залізничного транспорту, що користуються радіозасобами та забезпечують їхнє технічне обслуговування.

На додачу до цієї Інструкції, враховуючи місцеві умови та наявне технічне обладнання, на станціях розробляють місцеві Інструкції, затверджені начальником дирекції залізничних перевезень.

У посібнику в розд. 3 розглянуто принципи побудови та основні технічні характеристики мереж технологічного радіозв'язку різного призначення.

### **Контрольні запитання**

1. Зміст поняття «радіочастотний спектр».
2. Класифікація діапазонів радіохвиль.
3. Співвідношення між частотами та довжинами хвиль у діапазонах радіочастот.
4. Що таке «радіослужба»? Навести класифікацію радіослужб. Чому для радіослужб виділено різні ділянки радіоспектра?
5. Якими є особливості використання і регулювання радіочастотного ресурсу?
6. Що означає термін «управління використанням РЧС»?

7. Які основні документи регламентують використання РЧС в Україні?

8. Навести структуру Плану розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні.

9. За рахунок чого досягають підвищення ефективності використання спектра?

10. У яких випадках необхідна координація частотних присвоєнь?

11. Пояснити сутність державного регулювання та управління у сфері телекомунікацій в Україні.

12. Функції Національної комісії з електронних комунікацій.

13. Функції Українського державного центру радіочастот УДЦР.

## **2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

### **2.1. Загальні положення**

В Україні діє система встановлення, регулювання та контролю електричних і техніко-експлуатаційних характеристик засобів радіозв'язку, що забезпечує реалізацію засад державної політики в галузі електронних комунікацій.

Державний стандарт [15] встановлює класифікацію, загальні технічні вимоги і методи вимірювання основних параметрів передавачів і приймачів радіостанцій із кутовою модуляцією, що їх використовують у сухопутній рухомій службі. Цей стандарт є обов'язковим для підприємств, установ та організацій, які діють у цій сфері.

Державні стандарти регулюють вимоги до основних техніко-експлуатаційних характеристик засобів радіозв'язку щодо стійкості до впливу механічних і кліматичних факторів при роботі радіостанцій.

Основні технічні характеристики радіозасобів мають відповідати вимогам Державних стандартів. «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») є головною організацією з питань стандартизації. Державний центр вирішує питання з розроблення, прийняття і перегляду національних стандартів.

На рівні Державних стандартів нормують характеристики, які безпосередньо впливають на працездатність радіообладнання. Деякі характеристики нормовані в Технічних умовах на конкретні радіозасоби, розроблювані виробниками радіозасобів, і погоджені у встановленому порядку.

Апаратура в експлуатаційних умовах має бути міцною і стійкою до впливу зовнішніх факторів.

Радіостанції залежно від умов експлуатації поділяють на такі групи:

- стаціонарні, які працюють у приміщеннях із нормальними кліматичними умовами;
- стаціонарні, які працюють на відкритому повітрі;
- возимі, які встановлюють на локомотивах та інших рухомих об'єктах;
- носимі радіостанції, які працюють на відкритому повітрі.

Залежно від умов експлуатації на всі типи радіозасобів встановлюють вимоги до механічних і кліматичних впливів. Для носимих і портативних радіозасобів визначено більш жорсткі умови випробувань.

Відповідно до ДСТУ 4384:2003 залежно від категорії радіостанцій встановлюють і деякі електричні характеристики. Основні електричні параметри радіозасобів розглянуті в підрозд. 2.3-2.5 посібника.

## **2.2. Техніко-експлуатаційні характеристики радіозасобів**

До техніко-експлуатаційних характеристик належать параметри радіозасобів, які визначають можливості застосування та умови експлуатації різних типів радіостанцій. Радіостанція містить один або більше прийомопередавачів із блоками живлення, антенно-фідерними пристроями та допоміжним обладнанням [18].

Смуга робочих частот є однією з визначальних експлуатаційних характеристик радіозасобів. Вона показує межі, у яких може працювати радіостанція заданого типу відповідно до технічних умов. Як правило, радіостанції забезпечують двосторонній зв'язок, при цьому можливі симплексний або дуплексний режими роботи радіостанцій.

У симплексному режимі передавання та приймання сигналів здійснюється по чергово на одній або двох різних робочих частотах. За дуплексного режиму передавання і приймання радіосигналів здійснюється одночасно з необхідним дуплексним рознесенням робочих частот.

Смуга робочих частот передавачів радіостанцій встановлена для певної категорії користувачів відповідно до Плану використання радіочастотного ресурсу України [4]. Для залізничного транспорту виділені смуги частот у метровому діапазоні 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц для організації технологічного радіозв'язку АТ «Укрзалізниця».

Температура, вологість і тиск повітря навколишнього середовища впливають на діелектричну проникність навколишнього середовища, що у свою чергу спричиняє зміни параметрів деяких елементів і відповідні порушення стабільності частоти. Для зменшення впливу показників вологості при виготовленні радіотехнічних пристроїв не використовують гігроскопічні матеріали та застосовують поглиначі вологості (селікогелі). Щоб зменшити вплив зміни температури, використовують спеціальні схеми температурної стабілізації режимів роботи, а в необхідних випадках термостатування. Зміна атмосферного тиску теж може вплинути на параметри схем. Щоб уникнути цього, використовують герметизовані елементи передавальних і приймальних пристроїв. Механічні коливання теж впливають на стабільність частоти генерованих сигналів. У посібнику [19] розглянуто теоретичні основи стабілізації частоти і методи зменшення впливу.

У посібнику наведено нормативні вимоги для механічних і кліматичних факторів, встановлені для радіотехнічних засобів, згідно з чинними стандартами та методи проведення відповідних випробувань.

Більшість стаціонарних радіозасобів технологічного радіозв'язку працює в службово-технічних приміщеннях з опаленням, за нормальних умов експлуатації (категорія С1). Возимі радіозасоби на залізницях

використовують на локомотивах та інших рухомих об'єктах, вони належать до категорії В5. Носимі радіозасоби переважно використовують на відкритому повітрі, вони відповідають категорії Н6. Відповідно до категорії радіозасобів встановлено кліматичні та механічні показники.

Окрім кліматичних вимог, нормують характеристики стійкості до механічних впливів. Державний стандарт встановлює нормативні параметри цих впливів. За результатами випробувань оглядом і вимірюванням основних параметрів встановлено відповідність радіозасобу нормативним вимогам.

Деякі категорії випробувань проводять додатково, якщо це визначено в ТУ на радіозасоби конкретного типу.

Важливими є масо-габаритні характеристики радіозасобів і вимоги до електроживлення, встановлені в Технічних умовах на конкретну радіостанцію.

Для носимих радіостанцій, які працюють у найбільш несприятливих умовах, встановлено такі види перевірки стійкості до кліматичних і механічних впливів: випробування при зниженій і підвищеній температурі, вплив вібрації, механічних ударів, стійкість при падінні, випробування при підвищеній вологості і температурі. У повному обсязі такі операції здійснюють за типових випробувань перед запуском у виробництво радіозасобів.

Відповідно до Технічних умов на сучасні локомотивні радіостанції необхідно, щоб було забезпечено стійке безперебійне функціонування за таких максимальних значень впливу механічних і кліматичних факторів:

- відносна вологість повітря 93 % за температури 25 °С;
- синусоїдальна вібрація в діапазоні частот 10 – 100 Гц за амплітудного значення прискорення 4g;
- знижена робоча температура – мінус 40 °С;
- знижена гранична температура – мінус 55 °С;

- підвищена робоча температура – плюс 55 °С;
- підвищена гранична температура – плюс 65 °С.

Пульти управління радіостанції мають забезпечувати стійке безперебійне функціонування за значень зниженої робочої температури мінус 25 °С і підвищеної робочої температури плюс 55 °С.

Надійність є складним поняттям і в загальному випадку характеризується безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю і збереженістю, часом напрацювання на відмову. Для сучасних радіозасобів, які належать до високо безвідмовних пристроїв, за СОУ 45.020-00034045-002:2006 [20], напрацювання радіостанції на відмову має бути понад 20000 год. Відновлення працездатності радіостанції має відбуватися шляхом заміни складових, які відмовили, на справні. Середній час відновлення кваліфікованим спеціалістом – не більше 0,5 год шляхом заміни змінних блоків. Термін служби радіостанції встановлено не менше 10 років. Гарантійний термін роботи - не менше трьох років.

За будь-якої відмови одного з блоків радіообладнання у дводіапазонних радіостанцій має бути збережена працездатність радіостанції у другому діапазоні.

Електроживлення стаціонарних радіостанцій має здійснюватися від мережі змінного струму напругою  $220_{-10}^{+20}$  В із резервуванням акумуляторними батареями, які забезпечують роботу не менше 8 год і двох годин за наявності резервного дизель-генератора.

Блоки живлення радіостанцій, встановлених на локомотивах, мають працювати від джерел живлення бортової мережі з номінальною напругою 50,0, 75,0 або 110 В. Електроживлення носимих радіостанцій має здійснюватися від акумуляторних батарей із ємністю, яка забезпечує безперервний режим роботи радіостанції 12 год за співвідношення режимів роботи 5/5/90 %, і 10 год із циклом 10/10/80 % (відсоток часу – передавання/приймання/режим очікування (чергове приймання)).



Стаціонарні і локомотивні радіостанції залізничного технологічного радіозв'язку розраховані на безперервну роботу з режимами передавання/приймання/режим очікування (чергове приймання) із циклом 10/20/70 %, у тому числі безперервна робота на передавання 15 хв, з автоматичним переходом у режим приймання через 1 хв після останнього натискання клавіші передача.

Управління режимами «приймання» і «передавання» за симплексної роботи радіостанцій здійснюється при натисканні тангенти (спеціальної клавіші на мікротелефонній трубці) або ножної педалі управління.

Якість передавання мови в радіоканалах оцінюють величиною розбірливості. Розбірливість мови – це відношення правильно прийнятих елементів мови (звуків, слів) до загальної кількості переданих. Для каналів високої якості необхідно забезпечити розбірливість звуків понад 85 % і розбірливість слів понад 92 %. Нормативи встановлено в технічних умовах на конкретні типи радіостанцій.

Правильність передавання дискретних сигналів є основною характеристикою, яка визначає міру відповідності прийнятого повідомлення переданому. Кількісною характеристикою правильності є ймовірність помилкового приймання символів. За рекомендацією ДСТУ, при передаванні цифрових сигналів коефіцієнт помилок за бітами не має перевищувати  $10^{-4}$  [15].

У приймачах радіостанцій із симплексним режимом роботи має бути передбачений шумоподавлювач сигналів, який блокує прослуховування шумів радіоприймача за відсутності корисного сигналу. Зараз більш поширені спектральні шумоподавлювачі, дія якого полягає в оцінюванні співвідношення потужності корисного сигналу і шумів. За низького значення співвідношення підсилювач низької частоти приймача блокуваний. За ДСТУ, мінімальний поріг спрацьовування шумоподавлювача не має перевищувати чутливості приймача.

### 2.3. Електричні параметри радіопередавальних пристроїв

Основним нормативним документом, який встановлює і регламентує параметри радіостанцій, використовувані в рухомому радіозв'язку, є ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання [15]. Основними параметрами передавальних пристроїв є:

1. Вихідна потужність передавача.
2. Вид модуляції й параметри модульованого сигналу (девіація частоти, смуга частот, що модулюють).
3. Ширина смуги випромінювання, яка залежить від виду й параметрів модуляції.
4. Нелінійні частотні та фазові спотворення.
5. Допустиме відхилення частоти передавача, які нормують у вигляді абсолютної та відносної нестабільності частоти.
6. Рівень побічних випромінювань, тобто випромінювань поза встановленою смугою робочих частот.

Державний стандарт встановлює нормативні значення цих параметрів і методи вимірювань. Відповідно до стандарту регламентовано параметри радіостанцій із частотним рознесенням сусідніх каналів 12,5, 20 і 25 кГц.

На сьогодні на залізничному транспорті України переважно використовують радіозасоби з кроком сітки частот 25 кГц. За рішенням Національної комісії з регулювання зв'язку та інформатизації від 19.10.2006 року № 411, для підвищення ефективності використання частотного ресурсу необхідно забезпечити перехід на використання радіозасобів із сіткою частот 12,5 кГц [14]. При цьому технічні параметри обладнання мають задовольняти вимоги ДСТУ 4184:2003 [15]. Технологічні користувачі повинні перейти на нову каналну сітку 12,5 кГц на час закінчення терміну дії дозволів на експлуатацію РЕЗ шляхом

переоформлення дозволів відповідно до законодавства. Отже, деякий час в експлуатації будуть одночасно знаходитися радіостанції з різним рознесенням сусідніх каналів, які розрізняються параметрами випромінювання та приймання сигналів.

Значення потужності несівної частоти передавача різних типів наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Класифікація радіостанцій залежно від потужності

Тип радіостанції	Потужність несівної частоти передавача	Експлуатаційне призначення
1	до 60 Вт	Стаціонарні
2	до 25 Вт	Стаціонарні, возимі
3	до 5 Вт	Возимі, носимі
4	до 1 Вт	Носимі, портативні

Конкретне номінальне значення потужності несівної частоти передавача і допустимі відхилення від неї встановлюють у ТУ на радіостанції конкретного типу.

Для стаціонарних і возимих радіостанцій залізничного радіозв'язку значення потужності несівної частоти передавачів встановлено 10 Вт. Потужність визначають за напругою високочастотного коливання відповідної частоти, яке вимірюють на еквіваленті антени з опором  $R_n = 50$  Ом. Вихідну потужність розраховують, Вт, як

$$P = \frac{U^2}{R_n},$$

де  $U$  – вихідна напруга передавача на еквіваленті навантаження, В;

$R_n$  – опір еквівалента навантаження, дорівнює 50 Ом.

Ширина спектра частот випромінювання передавача за частоти модулюючого коливання від 300 до 3400 Гц наведена в табл. 2.2 за різних значень відносного рівня. Смуга залежить від кроку сітки частот і встановленого нормативного значення девіації частоти. Для частотно модульованого коливання девіація частоти – це максимальне відхилення частоти від значення несівної.

На графіках рис. 2.1 показано порівняльні характеристики випромінювання сигналів із різними параметрами девіації частоти і канального рознесення сигналів. Крива 1 відповідає характеристиці випромінювання за рознесення каналів 12,5 кГц, а крива 2 – характеристиці випромінювання за рознесення каналів 25 кГц. Для порівняння показано характеристики випромінювання за рознесення між частотами 12,5 кГц.

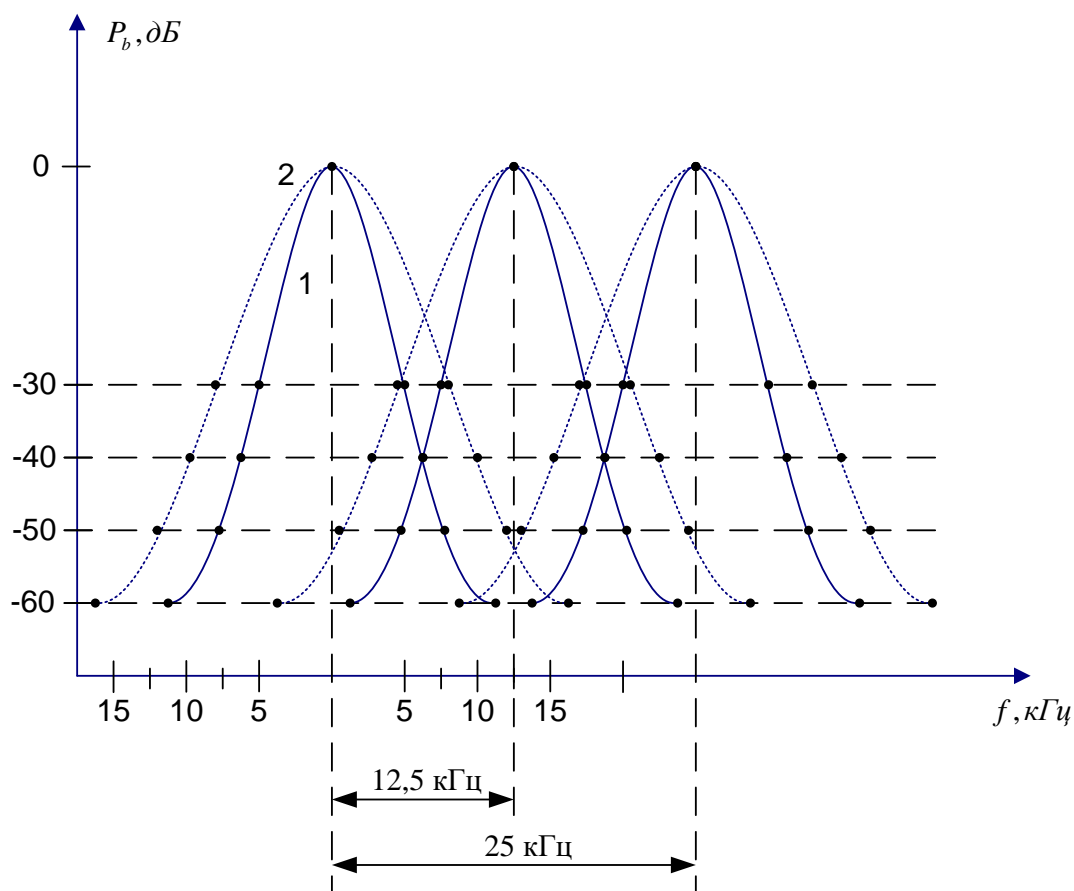


Рис. 2.1. Характеристики випромінювання радіозасобів із різним частотним рознесенням каналів

Графіки дають уявлення про різницю характеристик випромінюваних сигналів за різної девіації частоти:  $\Delta f = 25\text{кГц}$  – максимальна девіація частоти складає 5 кГц;  $\Delta f = 12,5\text{кГц}$  – 2,5 кГц [15].

Нормована ширина смуги випромінювання на рівні мінус 60 дБ для кроку частот  $\Delta f = 12,5\text{кГц}$  складає 23,9 кГц, а за рознесення каналів  $\Delta f = 25\text{кГц}$  складає 35,2 кГц, що призводить до часткового перекриття характеристик. Це ускладнює умови спільної експлуатації радіозасобів із різним частотним рознесенням.

Значення девіації частоти і коефіцієнта нелінійних спотворень передавача наведені в табл. 2.2.

Для вимірювання девіації частоти і коефіцієнта нелінійних спотворень використовують схему на рис. 2.2.

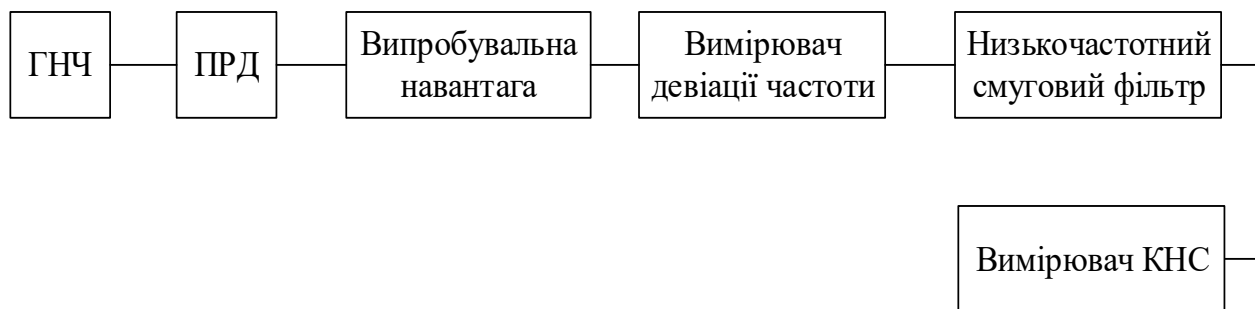


Рис. 2.2. Схема вимірювання девіації частоти і коефіцієнта нелінійних спотворень передавача

За вимірювання девіації частоти модульованого сигналу на модуляційний вхід передавача подають сигнал 1000 Гц. До виходу передавача під'єднують випробувальне навантаження та вимірювач девіації. Збільшують отриманий рівень вхідного сигналу на 10 дБ. Підтримуючи рівень модульованого сигналу, змінюють його частоту від 300 до 3400 Гц і вимірюють максимальне значення девіації частоти передавача.

## Основні характеристики випромінювання передавачів

Основні електричні параметри передавача			
Параметр	Значення параметра за номінального частотного рознесення між сусідніми каналами, кГц		
	12,5	20	25
1. Максимально допустима девіація частоти, кГц, у межах	$\pm 2,50$	$\pm 4,00$	$\pm 5,00$
2. Рівень випромінювання передавача в сусідньому каналі:			
для потужності несівної частоти до 25Вт, мкВт, не більше		2,5	
для потужності несівної частоти вище 25 Вт, дБ, не більше	-60	-70	-70
3. Відхил частоти передавача від номінального значення, кГц, у межах, у смузі частот:			
до 47 МГц	$\pm 0,600$	$\pm 0,600$	$\pm 0,600$
від 47 до 137 МГц	$\pm 1,00$	$\pm 1,35$	$\pm 1,35$
від 137 до 300 МГц	$\pm 1,00$ (Б) $\pm 1,50$	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$
від 300 до 500 МГц	$\pm 1,00$ (Б) $\pm 2,00$ (М)	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$
від 500 до 1000 МГц	$\pm 2,5$	$\pm 3,00$ (М)	$\pm 3,00$ (М)
4. Ширина смуги частот випромінювання передавача, кГц, не більше, для смуги модульованих частот від 300 до 3000 Гц (від 300 до 3400 Гц) на рівнях:			
мінус 30 дБ - контрольне	11,8 (12,2)	16,00 (16,80)	
мінус 40 дБ	12,1 (12,6)	21,90 (23,10)	
мінус 50 дБ	17,2 (18,1)	27,10 (28,80)	
мінус 60 дБ	22,6 (23,9)	32,90 (35,20)	

Для вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень передавача девіометр використовують як прецизійний детектор модульованих коливань, до низькочастотного виходу якого підключають вимірювач нелінійних спотворень. За вимірювання встановлюють девіацію частоти модульованого коливання 0,6 від максимальної.

Нелінійні спотворення у схемі передавача оцінюють на вимірюванні співвідношення напруги гармонік і напруги всього продетектованого сигналу за формулою

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 \dots}},$$

де  $\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}$  – середньоквадратичне значення гармонік, В;

$\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}$  – напруга всього сигналу, В.

При цьому коефіцієнт нелінійних спотворень вимірюють безпосередньо вимірювачем нелінійних спотворень (більш детально у підрозд. 2.3).

У деяких нормативних документах використовують коефіцієнт гармонік

$$K_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}}{U_1},$$

де  $U_1$  – значення першої гармоніки напруги, В.

При цьому окремо вимірюють кожну з гармонійних складових вибірково показанням рівня, а потім розраховують  $K_2$ . За малих значень  $K_{нс}$  різниця показників не перевищує 0,1 %.

Нестабільність частоти несівної нормується абсолютними і відносними показниками.

Зазвичай відносну нестабільність частоти визначають як відношення абсолютної нестабільності частоти до встановленої частоти.

$$\Delta = \left( \frac{f_n - f_v}{f_n} \right),$$

де  $f_n$  – номінальне значення частоти;

$f_v$  – вимірне значення робочої частоти.

$\Delta f = |f_{\text{випр}} - f_{\text{присв}}|$  – абсолютна нестабільність;

$\frac{\Delta f}{f_{\text{присв}}}$  – відносна нестабільність.

Для значень несівної в смузі частот 137 – 300 МГц допустиме абсолютне відхилення частоти становить 2 кГц, при рознесенні  $\Delta f = 25 \text{ кГц}$  і 1 кГц за рознесення каналів  $\Delta f = 12,5 \text{ кГц}$ .

Потужність побічних випромінювань і випромінювань у сусідньому каналі, тобто випромінювань поза встановленою смугою робочих частот, за потужності несівної передавача до 25 Вт не має перевищувати 2,5 мкВт незалежно від рознесення каналів [15].

В умовах експлуатації періодично вимірюють значення основних параметрів відповідно до технологічного процесу обслуговування передавальних і приймальних пристроїв:

- перевірка потужності несівної передавача;
- перевірка максимальної девіації частоти передавача;
- перевірка відхилення несівних частот передавача від номінального;
- значення нелінійних спотворень гармонійних сигналів.



## 2.4. Основні електричні параметри радіоприймальних пристроїв

Основними параметрами приймачів є:

1. Діапазон робочих частот - смуга частот, у межах якої забезпечена робота, тобто діапазон можливих частот настроювання радіоприймача.
2. Вихідна потужність радіоприймача - потужність коливань у кінцевому навантаженні радіоприймача.
3. Вид модуляції і параметри модульованого сигналу:
  - а) максимальна девіація частоти;
  - б) смуга модулюючих частот.
4. Смуга пропускання приймального пристрою, яка має відповідати ширині смуги частот, яку займає модульоване коливання сигналу, що приймають.
5. Нестабільність частоти гетеродину, що задається гранично допустимим відхилення частоти гетеродину від номінального значення у вигляді абсолютних і відносних значень.
6. Допустимі величини спотворень сигналу: лінійні, нелінійні.
7. Параметри чутливості та вибірконості.

Лінійні спотворення не призводять до зміни спектра. Вони виникають у лінійних колах. Розрізняють амплітудно-частотні спотворення і фазо-частотні спотворення (АЧС і ФЧС). АЧС полягають у зміні амплітуди різних частотних складових у спектрі прийнятого сигналу. АЧС проявляються в зміні тембру мови. Вони є наслідком неідеальності АЧХ, де спостерігають зменшення напруги корисного сигналу в області нижніх  $K_n$  і верхніх частот  $K_v$  прийнятого сигналу. Це викликано наявністю реактивних елементів у схемі, опір яких залежить від частоти сигналу (рис. 2.3).

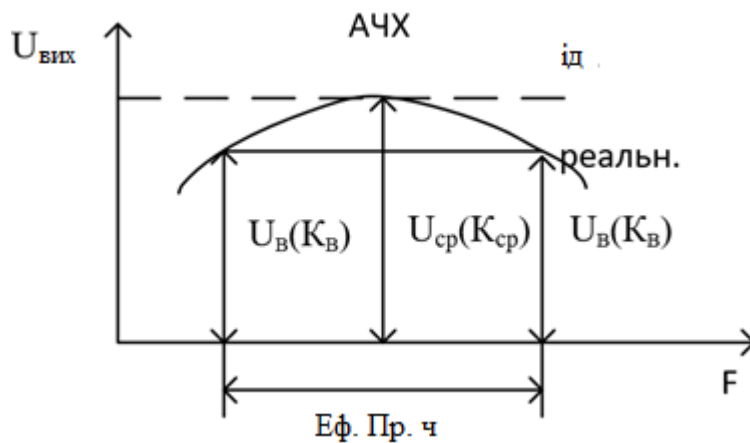


Рис. 2.3. Визначення коефіцієнта частотних спотворень за АЧХ

Коефіцієнт частотних спотворень

$$M_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{сп}}}{U_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{сп}}}{U_{\text{в}}} = \frac{K_{\text{сп}}}{K_{\text{н}}}$$

$$M_{\text{ч}} \approx 1,1 - 1,4,$$

$$M_{\text{ч}} = 20 \log \frac{U_{\text{сп}}}{U_{\text{н}}}, \text{ дБ}, M_{\text{ч}} = 3 \text{ дБ}$$

За ДСТУ [15], допустиме значення величини амплітудно-частотних спотворень складає не більше 3 дБ.

Фазо-частотні спотворення (ФЧС) виникають у результаті відхилення фазо-частотної характеристики від лінійної залежності (рис. 2.4).

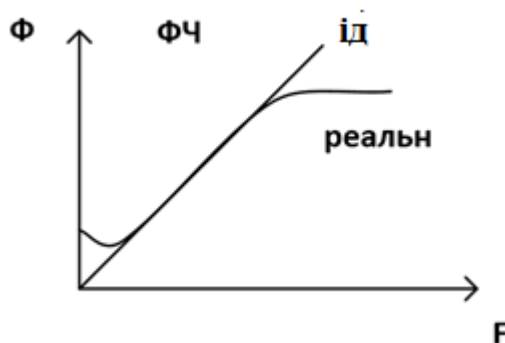


Рис. 2.4. Виникнення фазо-частотних спотворень

Фазо-частотні спотворення нормують різницею часу проходження сигналів різних частот. ФЧС практично не впливають на приймання мовних сигналів і не нормовані для аналогових каналів. Але ФЧС істотно впливають на приймання дискретних сигналів, оскільки порушуються фазові співвідношення в спектрі дискретного сигналу між різними частотними складовими.

Нелінійні спотворення сигналу виникають у колах із нелінійною ВАХ, що призводить до спотворення форми синусоїдального коливання. При цьому в спектрі сигналу з'являються додаткові гармоніки, відсутні до того.

Прийнято величину нелінійних спотворень вимірювати і нормувати за ступенем спотворень синусоїдального коливання. Нелінійні спотворення нормують величиною коефіцієнта гармонік або коефіцієнта нелінійних спотворень (підрозд. 2.3). Вимірюють безпосередньо вимірювачем нелінійних спотворень на виході приймача [15].

У табл. 2.3 наведені основні характеристики приймальних пристроїв.

За ДСТУ, допустимі значення коефіцієнта  $K_g$  залежать від категорії радіостанції: стаціонарні – 5 %, возимі – 7 %, носимі – 10 %. Нелінійні спотворення впливають на якість приймання, знижуючи розбірливість мови.

Діапазон робочих частот і кількість робочих каналів встановлюють у ТУ на радіостанції конкретного типу. Номінальний діапазон частот інформаційного сигналу, що передається, має бути від 300 до 3400 Гц. Номінальне значення ширини смуги пропускання приймача на рівні мінус 6 дБ має бути встановлено в ТУ на радіостанції конкретного типу в межах від 14,5 до 22 кГц, тобто не унормовано так жорстко, як характеристики випромінювання.

Найбільш важливими і специфічними характеристиками приймача є його чутливість і вибірковість.

## Основні характеристики радіоприймальних пристроїв

Основні електричні параметри приймача			
Параметр	Значення параметра за номінального частотного рознесення між сусідніми каналами, кГц		
	12,5	20	25
1. Вибірковість приймача за сусідніми каналами, дБ, не менше	50,00 (60,00) <sup>1)</sup>	60,00 (70,00) <sup>1)</sup>	60,00 (70,00) <sup>1)</sup>
2. Вибірковість приймача за побічними каналами, дБ, не менше	65,00(700,00) <sup>1)</sup>		
3. Максимальна чутливість приймача, мкВ, не більше:			
- для мови	4 (2) <sup>1)</sup>		
- даних	2,8 (1,4) <sup>1)</sup>		
4. Інтермодуляційна вибірковість приймача від завад, дБ, не менше:			
- для базових (Б) станцій	65,00 (70,00) <sup>1)</sup>		
- рухомих станцій (М)	60,00 (65,00) <sup>1)</sup>		
5. Погіршення чутливості в дуплексному режимі, дБ, не більше	3,0		
6. Коефіцієнт помилок за бітами	10 <sup>-4</sup>		

Примітка. <sup>1)</sup> За нормальних кліматичних умов і номінальної напруги живлення

Чутливість – це здатність приймача забезпечити приймання слабких сигналів. Чутливість кількісно визначають як мінімальну напругу корисного сигналу на вході приймача, за якого забезпечена номінальна вихідна потужність при заданому відношенні корисного сигналу і шумів.

Чутливість приймача, за ДСТУ, вимірюють за схемою на рис. 2.5.

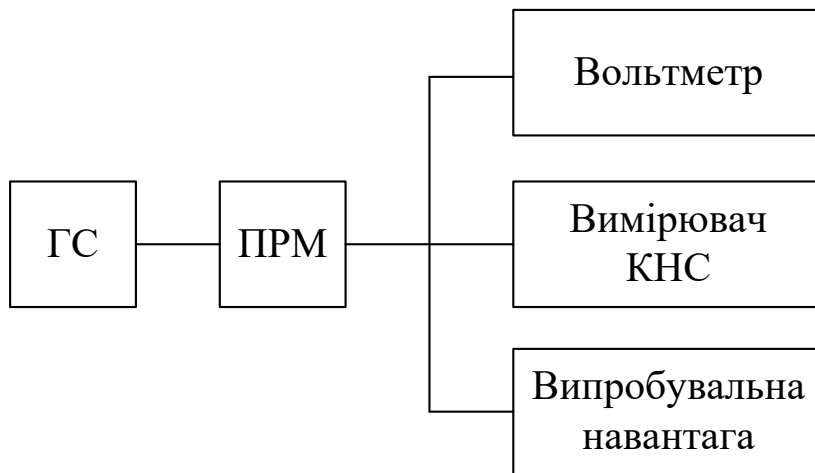


Рис. 2.5. Вимірювання чутливості приймача

За вимірювання чутливості на вход радіоприймача подають модульоване коливання встановленої частоти від генератора сигналів. Вимірюють відношення сигнал/шум за допомогою вимірювача нелінійних спотворень за методом СИНАД (англ. *SINAD* - *Signal-to-noise and distortion ratio*) без вилучення модуляції сигналу генератора за формулою

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{U_c^2 + U_{ш}^2 + U_i^2}}{\sqrt{U_{ш}^2 + U_i^2}},$$

де  $U_c$  – напруга корисного сигналу на виході приймача;

$U_{ш}$  – напруга власного шуму приймача;

$U_i$  – напруга спотворень, які виникають у приймачі при проходженні частотно-модульованого сигналу.

Спочатку вимірюють напругу сигналу з усіма складовими за калібрування і розглядають як показання 100%. На другому етапі вимірюють тільки напругу гармонік і власних шумів за виключенням корисного сигналу. Ця напруга безпосередньо покаже величину коефіцієнта нелінійних спотворень. Метод СИНАД враховує, окрім

гармонічних складових, і власні шуми приймача, є більш об'єктивною мірою, зручніший при вимірюванні.

Напруга вхідного сигналу за співвідношення сигнал/шум – 12 дБ (чотири рази), що відповідає показанням вимірювача нелінійних спотворень 25 % і становить значення чутливості приймача.

За ДСТУ, максимальна чутливість приймача для приймання мовних сигналів – не більше 2 мкВ; передавання даних – 1,4 мкВ за нормальних кліматичних умов. У технічних умовах на залізничні радіостанції чутливість задана 0,4 мкВ.

Вибірковість є властивістю приймача виділяти корисний сигнал з усієї сукупності сигналів, що діють на вході. Розрізняють характеристики вибірковості, які вимірюють односигнальними та багатосигнальними методами.

Односигнальну вибірковість кількісно визначають як відношення рівня сигналу на заданій частоті до його рівня на частоті настроювання, яку вимірюють при подаванні одного вхідного сигналу (рис. 2.6).

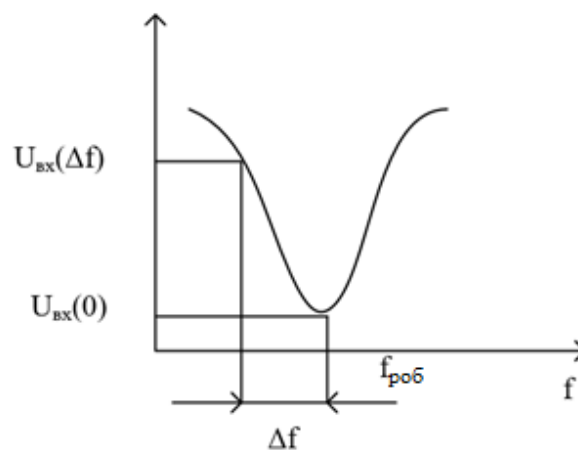


Рис. 2.6. Визначення вибірковості радіоприймального пристрою

Отже, фактично односигнальна вибірковість показує, на скільки необхідно збільшити рівень корисного сигналу на вході радіоприймача

порівняно з випадком настроювання приймача на встановлену робочу частоту.

$$V(\Delta f) = \frac{U_{ВХ}(\Delta f)}{U_{ВХ}(0)};$$

$$V(\Delta f) = 20 \lg \frac{U_{ВХ}(\Delta f)}{U_{ВХ}(0)}, \text{ дБ.}$$

Вибірковість визначають для певного значення  $\Delta f = f_{роб} - f_1$  як відношення напруг, які необхідні при розстроюванні  $\Delta f$  ( $U_{ВХ}$ ) і роботі на частоті робочого каналу.

В умовах КРП перевіряють важливі в умовах експлуатації характеристики радіоприймачів відповідно до технологічного процесу: чутливість, нестабільність частоти гетеродина, параметри спотворень.

## **2.5. Характеристики вибірковості радіоприймальних пристроїв**

Вище були розглянуті основні функціональні параметри приймачів, які характеризують їхні можливості за призначенням. Особливу групу складають параметри, які визначають умови забезпечення електромагнітної сумісності. Під електромагнітною сумісністю (ЕМС) радіоелектронних засобів розуміють забезпечення умов їхньої одночасної спільної роботи без недопустимих взаємних завад.

За реальних умов роботи радіомереж для характеристики вибірковості необхідно враховувати ефект одночасної дії на вході приймача корисного сигналу і сигналів радіостанцій, що заважають. У цих випадках вибірковість вимірюють багатосигнальними методами.

За нормативними документами з проектування радіомереж необхідно забезпечити електромагнітну сумісність радіомереж за умовами

виключення недопустимого блокування сигналів та недопущення інтермодуляційних завад [1, 15].

Вимоги до нелінійних ефектів блокування та інтермодуляції в радіоприймачах нормують у термінах вибіркості. Важливими параметрами для розрахунку електромагнітної сумісності радіозасобів є характеристики вибіркості приймачів: вибіркості приймача за побічними каналами, вибіркості за сусідніми каналами  $S_2$ , інтермодуляційна вибіркості  $S_3$  [15].

Блокуванням називають зменшення рівня сигналу або співвідношення сигнал/шум на виході приймача внаслідок дії інтенсивної радіозавади, частота якої не збігається з частотами основного і побічного каналів приймання. Це відбувається в результаті перевантаження вхідних каскадів приймача. Блокування спостерігають лише за одночасної дії на вході приймача корисного сигналу і завади.

Параметром, що характеризує сприйнятливості приймача до блокування, є його двосигнальна вибіркості  $S_2$ , яку вимірюють на частоті сусіднього каналу.

Двосигнальну вибіркості вимірюють за схемою згідно з ДСТУ (рис. 2.7).

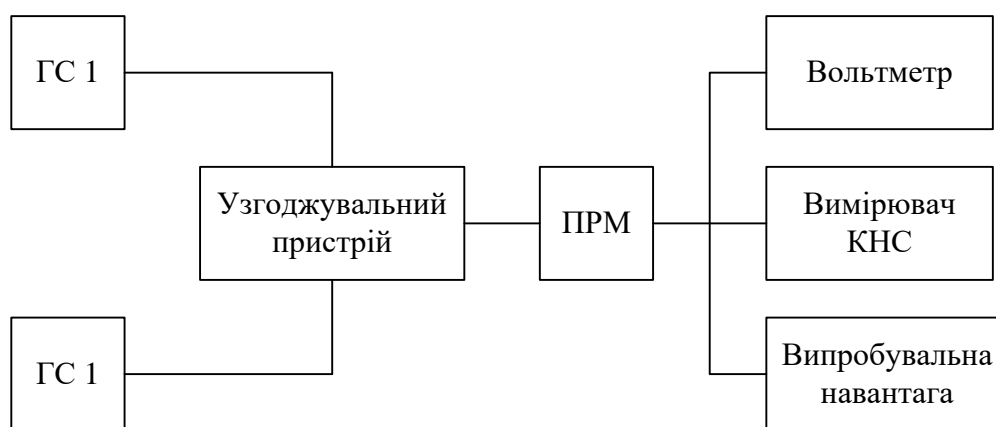


Рис. 2.7. Схема вимірювання вибіркості по сусідньому каналу двосигнальним методом



Через узгоджуючий пристрій подають корисний сигнал за відсутності заважального та на рівні чутливості приймача  $U_c$ , при цьому на виході співвідношення сигнал/шум дорівнює 12 дБ. Від другого генератора подають заважальний сигнал на частоті сусіднього каналу, модульований частотою 400 Гц. Вимірювач нелінійних спотворень на виході приймача контролює досягнення рівня сигнал/шум 12 дБ за методом СИНАД, за дії заважального сигналу.

Відповідно до ДСТУ 4184:2003 [15] двосигнальну вибірковість визначають за формулою, дБ,

$$S_2 = 20 \lg \left( \frac{U_{зав}}{U_c} \right), \quad (2.1)$$

де  $U_c$  – напруга корисного сигналу;

$U_{зав}$  – напруга сигналу, що заважає, на частоті сусіднього каналу.

З урахуванням формули (2.1) двосигнальну вибірковість приймачів так само називають динамічним діапазоном з блокування. Залежно від кроку сітки частот для стаціонарних і возимих радіостанцій із рознесенням 12,5 кГц двосигнальна вибірковість на частоті сусіднього каналу –  $S_2 = 50$  дБ за робочих умов експлуатації [15, 21], а за рознесення каналів 25 кГц двосигнальна вибірковість складає  $S_2 = 60$  дБ. Тобто зі зменшенням частотного рознесення каналів погіршуються умови забезпечення ЕМС. За  $S_2 = 50$  дБ заважальний сигнал не має перевищувати корисний у 316 разів, щоб уникнути недопустимого блокування, а за  $S_2 = 60$  дБ заважальний сигнал не має перевищувати корисний у 1000 разів.

Інтермодуляцією називають явище виникнення завад на виході приймача за дії на його вході двох або більше радіосигналів, частоти яких

не збігаються з частотами основного і побічного каналів приймання. Інтермодуляція обумовлена нелінійними ефектами перетворення коливань двох і більше заважальних сигналів у тракті приймання, у результаті якого утворюється заважальний сигнал на робочій частоті приймача.

При вимірюванні інтермодуляційної вибірковості  $S_3$  разом із корисним подають два заважальних сигнали з однаковим рівнем. Частота першого з них більше робочої частоти на 25 кГц, а другого – на 50 кГц більша від робочої частоти. Рівні заважальних сигналів збільшують до отримання значення сигнал/шум на виході приймача 12 дБ. Інтермодуляційну вибірковість визначають як

$$S_3 = 20 \lg \left( \frac{U_{2,3}}{U_1} \right), \quad (2.2)$$

де  $U_1$  – напруга корисного сигналу;

$U_{2,3}$  – напруга заважальних сигналів.

Інтермодуляційна вибірковість однакова для радіозасобів із різним кроком сусідніх каналів і для базових станцій складає 65 дБ [15], а за  $S_3 = 65 \text{ дБ}$  заважальний сигнал не має перевищувати корисний у 1778 раз.

Розрахунки електромагнітної сумісності радіозасобів на основі використання показників блокування та інтермодуляції розглянуто в розд. 4.

### Контрольні запитання

1. Що таке техніко-експлуатаційні характеристики?
2. Основні техніко-експлуатаційні характеристики радіостанцій рухомого радіозв'язку.

3. Склад обладнання радіостанцій.
4. Вимоги до механічних і кліматичних умов за експлуатації радіозасобів рухомого радіозв'язку.
5. Вимоги до систем електроживлення радіостанцій.
6. Надійнісні показники роботи радіозасобів.
7. Основні електричні параметри радіопередавачів.
8. Основні електричні параметри радіоприймачів.
9. Вимоги до стабільності частоти передавачів.
10. Що таке чутливість радіоприймача?
11. Що таке вибіркковість радіоприймача?
12. Як визначають вибіркковість приймача багатосигнальними методами?
13. Причини блокування сигналів при прийманні.
14. Що таке інтермодуляційні завади в радіоприймачі?
15. Що таке нелінійні і частотні спотворення в радіозасобах?
16. Методи вимірювань спотворень сигналів і нормативні показники.
17. Режими роботи радіостанцій.
18. Причини використання багатосигнальних методів вимірювань вибіркковості.
19. Принципи вимірювання нелінійних спотворень передавачів.
20. Що таке електромагнітна сумісність радіозасобів?

### **3. МЕРЕЖІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

#### **3.1. Призначення та класифікація мереж технологічного радіозв'язку**

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

Впровадження технологічного радіозв'язку на залізницях розпочалося на початку 1950-х років із мереж станційного радіозв'язку гектометрового діапазону. У наступні роки проводили роботи з удосконалення технічних засобів радіозв'язку та розширення сфер їх застосування. У 1972 році було розпочато впровадження уніфікованих радіостанцій поїзного та станційного радіозв'язку ЖР-У, розрахованих на роботу у двох діапазонах радіохвиль – гектометровому і метровому.

Найбільш значні роботи з модернізації проводили при створенні комплексної системи залізничного технологічного радіозв'язку «Транспорт» на початку 1980-х років. У цей період була розроблена вся номенклатура радіостанцій різного призначення і створена нормативно-технічна база з організації, проектування та експлуатації мереж. Певною мірою сучасні системи залізничного технологічного радіозв'язку в Україні є результатом реалізації системи «Транспорт».

На сьогодні аналогові мережі технологічного радіозв'язку працюють у гектометровому (2,13 і 2,15 МГц) і метровому діапазонах радіохвиль у смугах частот 151,725 - 154,000 МГц і 155,000 - 156,000 МГц [16].

Відповідно до Правил технічної експлуатації залізниць України мережі радіозв'язку класифікують за технологічними ознаками і розрізняють мережі станційного (СРЗ), поїзного (ПРЗ) і ремонтно-

оперативного (РОРЗ) радіозв'язку [9]. Класифікація мереж технологічного радіозв'язку наведена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Класифікація мереж технологічного радіозв'язку:

СРЗ-МГ – мережі маневрового і гіркового радіозв'язку;

СРЗ-Т – мережі технологічних абонентів;

ПРЗ-Л – лінійні мережі поїзного радіозв'язку;

ПРЗ-З – зонні мережі поїзного радіозв'язку;

ПРЗ-П – мережі службового пасажирського радіозв'язку;

РОРЗ-В – внутрішні мережі в зоні виконання робіт;

РОРЗ-Л – лінійні мережі ремонтно-оперативного радіозв'язку

Кожен із різновидів радіозв'язку містить окремі мережі, які відрізняються складом абонентів, принципами побудови і особливостями застосування.

Станційний радіозв'язок призначений для забезпечення радіопереговорів абонентів при виконанні різних технологічних процесів на території залізничних станцій і вузлів.

Мережі станційного радіозв'язку можна поділити на дві групи: мережі маневрового і гіркового радіозв'язку (СРЗ-МГ) і мережі технологічних абонентів (СРЗ-Т).

До першої групи відносять працівників, які безпосередньо беруть участь у виконанні маневрової і гіркової роботи. Радіомережі технологічного персоналу СРЗ-Т організують для працівників, які забезпечують огляд і ремонт рухомого складу, контроль і охорону вантажів, технічне обслуговування і ремонт станційних пристроїв.

Мережі поїзного радіозв'язку призначені для оперативного управління перевізним процесом і підвищення безпеки руху поїздів. Поїзним радіозв'язком користуються працівники, які беруть участь в організації перевізного процесу і знаходяться на стаціонарних пунктах, у поїздах і на перегонах уздовж шляху проходження поїздів.

Мережі поїзного радіозв'язку можна поділити на три категорії:

- лінійні мережі (ПРЗ-Л), які діють у межах усієї диспетчерської ділянки, для зв'язку поїзного диспетчера з машиністами магістральних локомотивів;

- зонні мережі (ПРЗ-З), які забезпечують радіозв'язок безпосередньо в зоні дії радіостанцій абонентів;

- зонні мережі службового пасажирського радіозв'язку (ПРЗ-П), призначені для переговорів начальника поїзда з абонентами в поїзді та на пасажирських станціях [16].

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 зонової радіомережі.

Ремонтно-оперативний радіозв'язок – комплекс мереж технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами, які організують при проведенні технічного обслуговування і ремонту пристроїв, аварійно-відбудовних робіт на станціях і перегонах.

Ремонтно-оперативний радіозв'язок включає два типи мереж. Лінійні диспетчерські мережі РОРЗ-Л призначені для переговорів керівників

ремонтних робіт на перегонах із диспетчерським апаратом відповідних служб.

Внутрішні радіомережі в зоні проведення робіт на перегоні РОРЗ-В забезпечують радіозв'язок керівників ремонтних і аварійно-відбудовних робіт на перегонах із виконавцями і сигналістами, які огорожують зону робіт.

Смуги частот УКХ діапазону використовують спільно всі категорії абонентів технологічного радіозв'язку. Розподіл частот для кожної категорії абонентів встановлений відомчими нормативними документами.

Детальний аналіз характеристик радіомереж різного призначення та принципи організації розглянуто в роботах [22, 23].

Застосування засобів радіозв'язку з рухомими об'єктами дає змогу підвищити безпеку руху поїздів і маневрової роботи і сприяє надійності транспортного комплексу.

За рахунок підвищення оперативності передавання інформації при управлінні різними технологічними процесами залізниць прискорено їх виконання. Завдяки цьому покращуються техніко-експлуатаційні показники роботи залізниць: дільнична швидкість руху поїздів, провізна та пропускна спроможність дільниць, простій вагонів на сортувальних станціях, терміни виконання робіт із закриттям перегонів та інше; використання технічних засобів транспорту (продуктивність локомотивів, оборот вагонів та інші) і економічні показники (собівартість перевезень, продуктивність праці тощо) [24].

Використання технологічного радіозв'язку дає змогу покращити умови праці багатьох працівників залізничного транспорту.

### 3.2. Побудова мереж поїзного радіозв'язку

Мережі технологічного радіозв'язку, за сучасною класифікацією, є конвенціональними. Основні ознаки таких систем: робота на закріплених каналах, нема виходу на мережі загального користування. У мережах можуть бути використані різні методи організації радіозв'язку.

Мережі технологічного радіозв'язку працюють у симплексному одночастотному режимі з груповим викликом абонентів.

Радіостанції в мережі можуть працювати в режимі «Відкритого каналу», при якому викличні пристрої вимкнені. При цьому радіостанції знаходяться в режимі «Приймання», а абоненти прослуховують усі переговори в мережі. Цей режим забезпечує найвищу оперативність передавання інформації.

Прослуховування всіх переговорів створює дискомфорт. Щоб позбутися примусового прослуховування переговорів, які не стосуються певної категорії абонентів, у радіостанціях передбачено вмикання пристроїв індивідуального і групового викликів. У цьому випадку радіостанції знаходяться в режимі «Чергове приймання», і переговори, що ведуть у радіомережі, не прослуховуються. Для виклику потрібного абонента необхідно послати спеціальний викличний сигнал. При прийманні групового виклику всі радіостанції певної категорії абонентів переходять у режим приймання, необхідного абонента викликають голосом, і він вступає в переговори, інші радіостанції автоматично переходять у режим «чергового приймання».

Усі ділянки залізниць України мають бути обладнані поїзним радіозв'язком у гектометровому (короткохвильовому КХ) і метровому (ультракороткохвильовому УКХ) діапазонах [16].

Система поїзного радіозв'язку (ПРЗ) складається з окремих радіомереж, що за принципом побудови поділяють на лінійні й зони.



Лінійна мережа ПРЗ призначена для безпосереднього зв'язку диспетчера з рухомими об'єктами уздовж усієї дільниці, а зонава – у виділених зонах на ділянках залізниць, як правило, підходах до станцій і їхніх територіях.

Лінійні радіомережі ПРЗ організовані в гектометровому діапазоні радіохвиль, а зонаві – у діапазоні метрових хвиль. Основним каналом ПРЗ є канал лінійної мережі, а додатковим – канал зонової радіомережі.

Поїзний радіозв'язок у гектометровому діапазоні здійснюється на частотах 2,13 і 2,15 МГц. Частоту 2,13 МГц використовують для зв'язку машиніста локомотива з поїзним диспетчером, а частоту 2,15 МГц – для зв'язку машиніста з черговим по депо. Поїзні локомотиви обладнують возимими радіостанціями, що можуть працювати у двох діапазонах частот: гектометровому діапазоні – у мережах ПРЗ-Л і метровому діапазоні – у зонних мережах ПРЗ-З.

У радіомережах ПРЗ-Л передбачають реєстрацію всіх переговорів, що ведуться, з фіксацією поточного часу.

До складу лінійної мережі поїзного радіозв'язку входять:

- розпорядча станція поїзного диспетчера;
- стаціонарні радіостанції;
- возимі (локомотивні) радіостанції;
- портативні (носимі) радіостанції діапазону метрових хвиль;
- провідний канал зв'язку, організований за допомогою аналогових або цифрових систем проводового зв'язку;

- у гектометровому діапазоні напрямні лінії для ВЧ-сигналу, якими можуть бути спеціально підвішені проводи (одно- і двопровідні хвилеводи), проводи ліній електропередачі з необхідними елементами облаштування, а також Г- або Т-подібні стаціонарні антени.

Лінійні радіомережі ПРЗ-Л слід будувати за радіопровідним принципом із встановленням стаціонарних радіостанцій на всіх роздільних пунктах, де є постійне чергування працівників служби руху. Стаціонарні радіостанції (РС) підключають до спеціально виділеного лінійного каналу

ПРЗ. При цьому безпосередньо по радіоканалу здійснюється зв'язок між стаціонарною і возимою радіостанцією в межах їхніх зон дії, а через провідну лінію зв'язку – між стаціонарними радіостанціями і розпорядчою станцією у диспетчера.

Схема організації мережі ПРЗ-Л наведена на рис. 3.2.

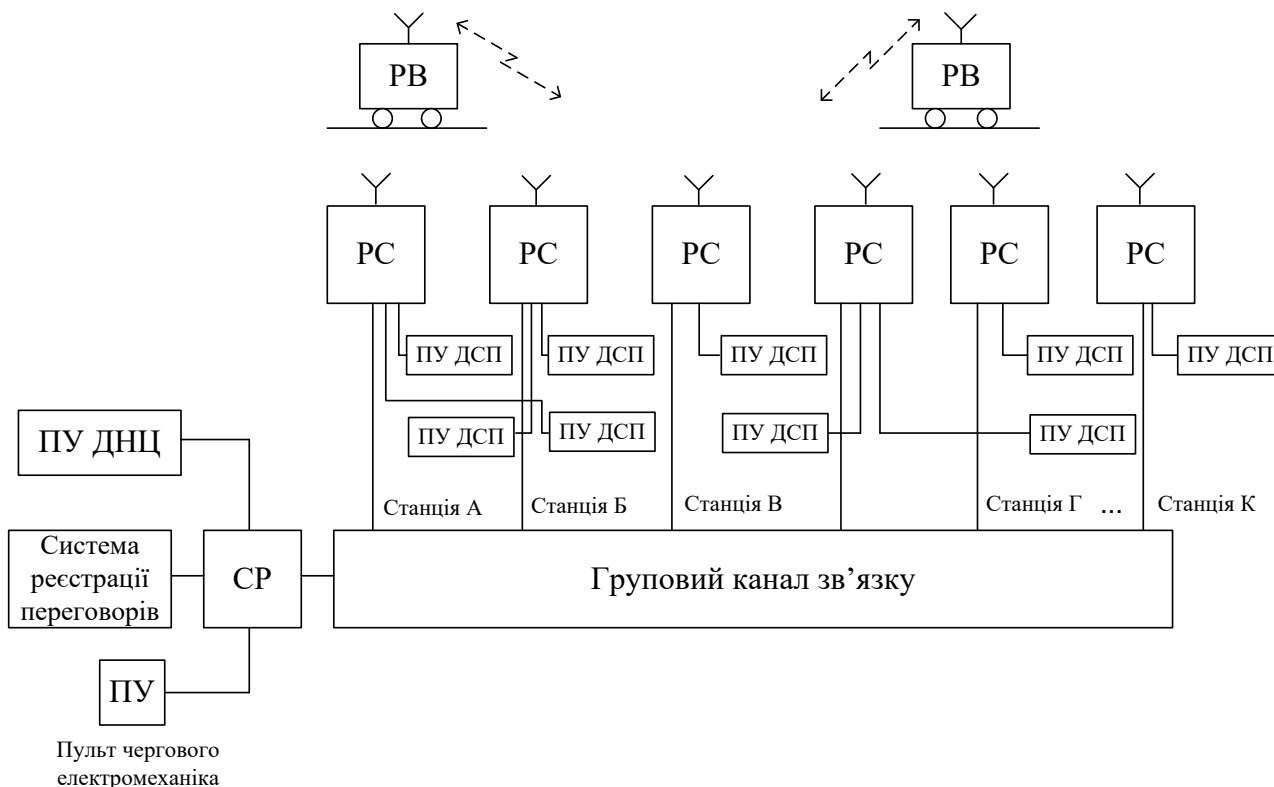


Рис. 3.2. Схема організації поїзного радіозв'язку

При передаванні викличного сигналу від розпорядчої станції до лінійного каналу ПРЗ підключають стаціонарну радіостанцію, у зоні дії якої знаходиться локомотив, що викликають. За групового виклику сигнал може бути прийнятий декількома локомотивними радіостанціями. Диспетчер голосом викликає потрібного машиніста локомотива.

При надходженні виклику від локомотивної радіостанції має здійснюватись автоматичний вибір стаціонарної радіостанції з найбільшим рівнем корисного сигналу.

Зонні мережі організують на окремих ділянках для абонентів, розосереджених вздовж перегонів. Радіозв'язок здійснюється безпосередньо в зоні дії кожної радіостанції. Зонні мережі поїзного радіозв'язку будують за радіальним принципом. До складу зонної мережі поїзного радіозв'язку входять:

- стаціонарна радіостанція метрового діапазону;
- возимі (локомотивні) радіостанції;
- портативні радіостанції діапазону метрових хвиль.

Виклик необхідного абонента в мережі ПРЗ-3 здійснюється на закріпленій за ним робочій частоті.

Основні абоненти поїзного радіозв'язку: чергові по станціях, чергові по переїздах і машиністи поїзних локомотивів - використовують загальну робочу частоту, єдину в межах усієї диспетчерської дільниці. За іншими категоріями абонентів, у тому числі службового пасажирського радіозв'язку, частоти закріплені відповідно до табл. 3.1. Мережі ПРЗ-3 працюють у симплексному режимі з груповим викликом абонентів. Поїзні локомотиви обладнують возимими радіостанціями РВ-4, що можуть працювати у двох діапазонах частот: гектометровому – у мережах ПРЗ-Л(с) і метровому – у зонних мережах ПРЗ-3. Стаціонарні абоненти оснащують радіостанціями РС-6 [22, 23].

На рис. 3.3 наведений фрагмент пульта управління локомотивної радіостанції РВ-4 і умовно показані радіостанції інших абонентів мережі ПРЗ-3.

У мережах ПРЗ-3 використовують шість груп робочих частот для виключення взаємних впливів від радіостанцій радіомереж, організованих на сусідніх ділянках залізниць, що особливо важливо на підходах до великих залізничних вузлів (табл. 3.1). Мережі ПРЗ-3 працюють у симплексному режимі з груповим викликом абонентів.

Стаціонарні абоненти оснащені радіостанціями РС-3 або РН-3, а рухомі – носимими радіостанціями РН. У радіостанції РВ-1 передбачений

спрощений режим встановлення зв'язку з абонентами мережі ПРЗ-3 шляхом подвійного короткочасного натискання відповідної кнопки на пульті управління.

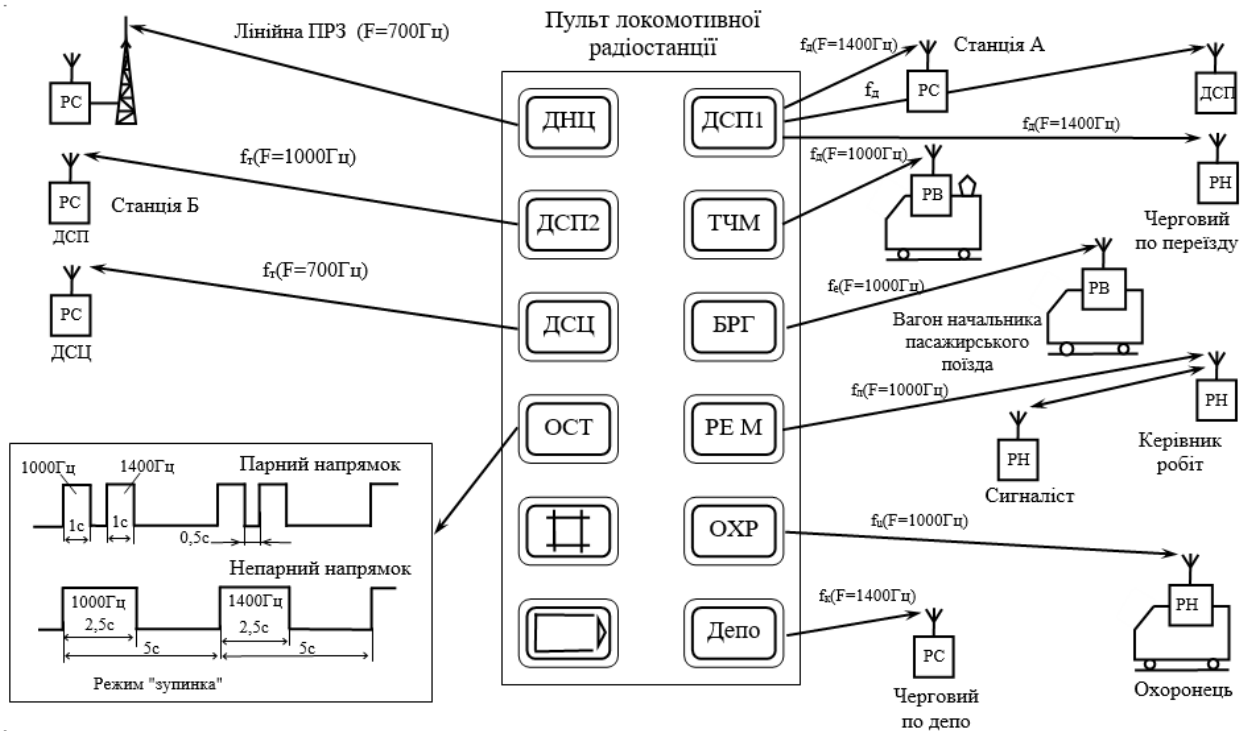


Рис. 3.3. Схема радіозв'язку машиніста поїзного локомотива

Таблиця 3.1

Номери каналів зонної мережі поїзного радіозв'язку

Канали в групі	Номер групи					
	1	2	3	4	5	6
Основний канал ПРЗ	26	25	22	16	14	9
Начальник поїзда	34	34	34	34	34	34
Відомча охорона	12	12	12	12	12	12
Черговий по депо	11	11	11	11	11	11
Керівник ремонтних робіт	8	3	15	7	1	2
Чергові по станції і вокзалу	3	21	6	3	6	29
Допоміжний канал ПРЗ	36	36	36	36	36	36

Для виключення впливів, що заважають, від сусідніх радіостанцій, особливо на підходах до великих станцій і вузлів, де завантаження каналу поїзного радіозв'язку досить значне, передбачена можливість роботи ДСП на допоміжній частоті. У цьому випадку машиніст, маючи попередження, що на цій станції чергового викликають подвійним натисканням кнопки «ДСП2», і натискаючи цю кнопку два рази, переключує радіостанцію на частоту 26 каналу і передає викличний сигнал ( $F = 1400$  Гц). Черговий по станції може натисканням відповідних кнопок на пульті управління своєї радіостанції настроїти її і передати сигнал виклику ТЧМ ( $F = 1000$  Гц).

### **3.3. Організація мереж станційного радіозв'язку**

У мережах СРЗ для кожної категорії абонентів, пов'язаних із виконанням спільного технологічного процесу, організують окремі радіомережі. Принципом розподілу частот є виключення інترمодуляційних завад.

Радіомережі маневрового зв'язку організують для переговорів маневрового і станційного диспетчерів, старшого помічника начальника станції і чергових по парках приймання, формування і відправлення зі складачами поїздів і машиністами маневрових локомотивів, а також машиністів зі складачами поїздів. Радіомережі маневрового зв'язку організують на проміжних, дільничних, вантажних, сортувальних і технічних станціях, де виконують певні обсяги маневрової роботи.

Радіомережі гіркового зв'язку організують на сортувальних станціях у межах парку приймання і підгіркових колій для зв'язку чергового по гірці ДСПГ і оператора гірки з машиністами гіркових локомотивів, складачами, сигналістами, регулювальниками швидкості руху відчепів.

Мережі СРЗ-МГ будують за радіальною схемою з використанням одночастотного симплексного режиму роботи.

У радімережі маневрового зв'язку (рис. 3.4) передбачений груповий виклик машиністів локомотивів, складачів і сигналістів з боку чергового по станції, а також машиністів маневрових локомотивів, складачів і сигналістів між собою. З боку машиністів локомотивів можливий індивідуальний виклик одного зі станційних командирів.

Радіомережу гіркового зв'язку, як правило, для підвищення оперативності організують при роботі з відкритим каналом у симплексному режимі без посилення викличних сигналів.

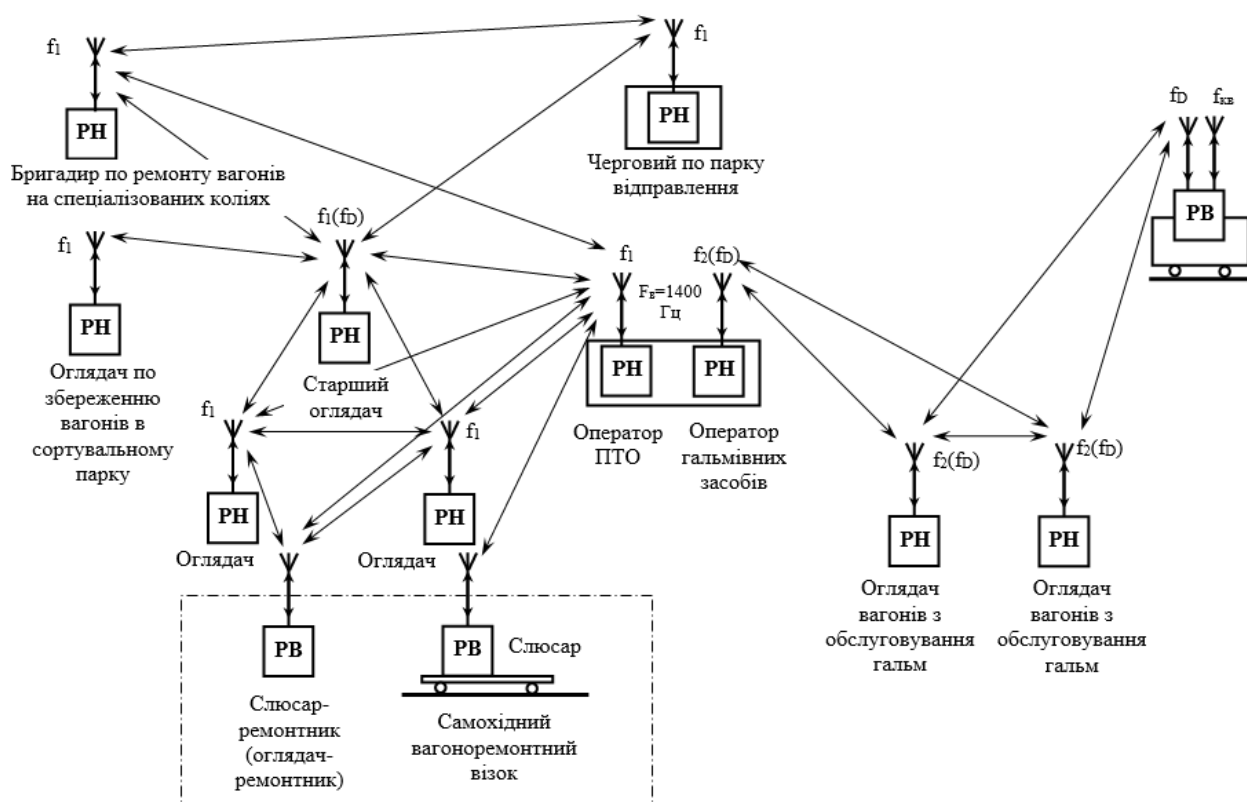


Рис. 3.4. Схема організації станційного радіозв'язку

Саме на великих сортувальних залізничних станціях зосереджена значна кількість радіомереж різного призначення.

Основні експлуатаційно-технічні характеристики радіомереж СРЗ для сортувальної станції наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

## Основні характеристики мереж технологічного радіозв'язку на станціях

Радіомережа	Склад абонентів радіомереж	Кількість радіостанцій за автономної організації радіомереж		
		стаціо- нарних РС	вози- мих РВ	носи- мих РН
Гірковий радіозв'язок	Черговий по гірці (оператор), машиністи гіркових локомотивів, гіркові складачі, регулювальники швидкості відчеплень	1-2	2-4	2-7
Маневровий радіозв'язок	Маневровий диспетчер, чергові по парках, складачі поїздів, машиністи маневрових локомотивів	1-3	2-5	2-5
Радіозв'язок працівників ПТО	Оператор ПТО, оператор гальмових засобів, оглядачі вагонів, оглядачі автогальм	1-2	-	4-12
Радіозв'язок працівників ПКО	Оператор ПКО, комерційні оглядачі, працівники з усунення браку	1-2	-	2-14
Радіозв'язок працівників СТЦ	Оператор СТЦ, переписувачі вагонів	1	-	1-3
Радіозв'язок працівників ВОХР	Начальник варті, стрільці- вартові	1	-	3-5
Радіозв'язок електромеханіків СЦБ і зв'язку	Старший електромеханік, електромеханіки СЦБ і зв'язку	1-2	-	2-7

Для мереж маневрового і гіркового радіозв'язку рекомендовано використовувати робочі частоти радіомереж відповідно до табл. 3.3. Виходячи з «Частотного плану технологічного радіозв'язку» у кожній колонці табл. 3.3 підібрано комплекти інтермодуляційно сумісних частот, що полегшує забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів.

Кожна група в табл. 3.3 містить набір із шести інтермодуляційно сумісних робочих частот, рекомендованих до застосування на одній станції. Частоти підбрані так, щоб виключити інтермодуляційні завади третього порядку між радіостанціями і полегшити забезпечення умов їхньої одночасної спільної роботи без недопустимих взаємних завад.

Таблиця 3.3

Номери каналів станційного радіозв'язку

Призна- чення частот	Група													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ДСПП,	45	47	50	65	67	70	54	73	93	95	98	113	115	118
ДСПГ	46	48	52	66	68	72	53	74	94	96	100	114	116	120
ДСПФ,	49	51	56	69	71	76	85	86	97	99	104	117	119	124
ДСПО	55	57	58	75	77	78	87	88	103	105	106	123	125	126
ДСЦ,	60	59	61	80	79	81	90	89	108	107	109	128	127	129
ДСЦС	62	64	63	82	84	83	92	91	110	112	111	130	132	131

Радіомережі технологічних абонентів СРЗ-Т організують для працівників, які забезпечують технологічні процеси обробки составів поїздів на станціях, але не беруть участь безпосередньо в маневровій і гірковій роботі.

Усі перераховані вище радіомережі є найпростішими радіальними мережами симплексного зв'язку. Вони забезпечують ведення двосторонніх переговорів між керівниками станцій, у яких встановлюють стаціонарні радіостанції РС, і технічними працівниками, які знаходяться в межах станції й оснащені носимими радіостанціями РН.

Частоти підбирають виходячи з необхідності створення комплектів інтермодуляційно сумісних частот для станцій.



Робочі частоти для організації різних радіомереж технологічних абонентів СРЗ-Т вибирають для кожного району станції відповідно до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Номери каналів для радіозв'язку технологічних абонентів СРЗ

Канал у групі	Група каналів															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ПТО	10	27	45	47	50	65	67	70	54	73	93	95	98	113	115	118
СТЦ	13	28	46	48	52	66	68	72	53	74	94	96	100	114	116	120
Охорона	17	44	49	51	56	69	71	76	85	86	97	99	104	117	119	124
ПКО	19	31	55	57	58	75	77	78	87	88	103	105	106	123	125	126
Зв'язок і СЦБ	32	39	60	59	61	80	79	81	90	89	108	107	109	128	127	129
Вантажний двір	40	37	62	64	63	82	84	83	92	91	110	112	111	130	132	131

### 3.4. Організація ремонтно-оперативного радіозв'язку

Лінійні мережі РОРЗ-Л організують на вантажонапружених ділянках залізниць за окремим завданням. Мережу будують аналогічно лінійним мережам ПРЗ у метровому діапазоні радіохвиль.

Радіомережі лінійного ремонтно-оперативного зв'язку РОРЗ-Л призначені для зв'язку керівників ремонтних робіт, а також машиністів і механіків рухомих одиниць ремонтних служб із поїзним диспетчером ДНЦ, енергодиспетчером ЕЧЦ, а також диспетчерами дистанцій колій ПЧ, сигналізації і зв'язку ШЧ, контактної мережі ЕЧК. Такі мережі є мережами колективного користування служб електропостачання, колії, руху, сигналізації і зв'язку. Схема організації радіомережі РОРЗ-Л наведена на рис. 3.5.

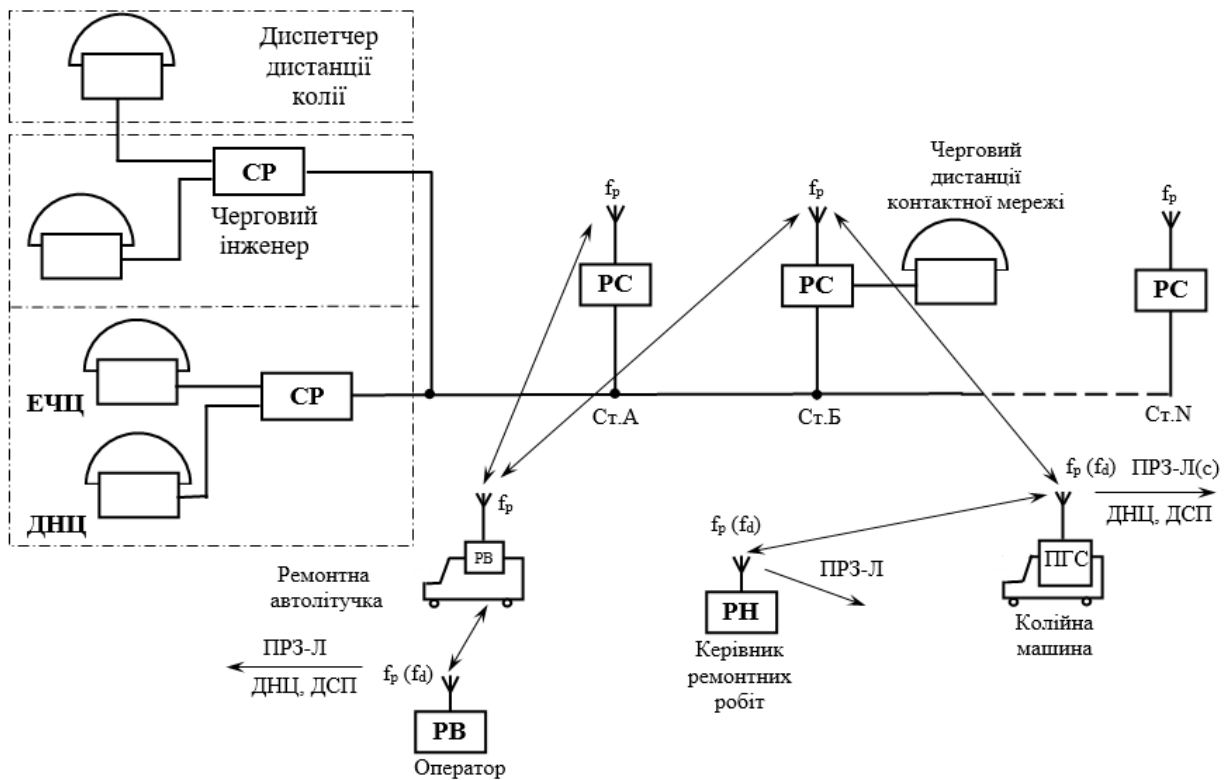


Рис. 3.5. Схема організації лінійної мережі ремонтно-оперативного радіозв'язку РОРЗ-Л

Мережа РОРЗ-Л має лінійну структуру побудови, аналогічну структурі мережі РОРЗ-Л. Радіозв'язок організують у симплексному режимі з груповим викликом у метровому діапазоні хвиль. При цьому використовують стаціонарні радіостанції Оріон РС-6, установлені на проміжних станціях уздовж диспетчерських ділянок і з'єднані лінійним каналом зв'язку між собою і розпорядчою станцією Оріон-УСР, встановленою в диспетчерських пунктах.

Станція розпорядча Оріон-УСР складається з двох напівкомплектів, кожний із яких може бути підключений у будь-якому місці до двопровідного лінійного каналу з урахуванням розташування диспетчерських пунктів. Кожний із двох пультів управління може бути підключений до розпорядчої станції по двопровідній лінії на відстанях до 5 км.

Пульти управління встановлюють у службових приміщеннях поїзного й енергодиспетчера, диспетчерів дистанцій колії, сигналізації і зв'язку, контактної мережі. На рухомих об'єктах ремонтних підрозділів усіх служб установлюють возимі радіостанції Оріон-РВ-4. Рухомі абоненти забезпечені носимими радіостанціями Оріон-РН. Зв'язок у радіомережі здійснюється на частотах відповідно до таблиці розподілу каналів у симплексному радіозв'язку.

Для виклику ремонтної бригади диспетчер натискає на пульті управління одну з кнопок із зазначенням станції, поблизу якої виконують ремонтні роботи. У лінію посилається сигнал вибіркового підключення відповідної стаціонарної радіостанції – двочастотний послідовний код, а підключена радіостанція Оріон РС-6 автоматично посилає викличний сигнал групового виклику рухомих абонентів частотою 1000 Гц. Потім диспетчер голосом викликає потрібного абонента.

Усі возимі радіостанції рухомих об'єктів, що знаходяться в зоні дії стаціонарної радіостанції (яка підключилася) і режимі «*Чергове приймання*», при прийманні виклику частотою 1000 Гц переходять у режим «*Приймання*»; на 10 с відкриваються низькочастотні тракти, і в гучномовцях прослуховують викличний сигнал від диспетчера. Викликуваний абонент переводить свою станцію в режим «*Передавання*» і відповідає диспетчерові, а всі інші возимі радіостанції знову переходять у режим «*Чергове приймання*».

Виклик пульта управління радіостанції Оріон РС-6 здійснюється посиленням виклику частотою 1400 Гц. Це можуть бути ДСП станцій, що обмежують перегін, на якому виконують роботи, а також інші абоненти, у яких можуть бути встановлені радіостанції Оріон РС-6, наприклад лінійні пункти дистанцій контактної мережі тощо.

Вибірний виклик кожного комплекту розпорядчої станції Оріон УСР здійснюється двома різними кодовими сигналами, сформованими в Оріон

РС-6 при прийманні від керівника робіт викличних сигналів частотою 700 або 2100 Гц.

У цьому випадку стаціонарна радіостанція приймає сигнал виклику, підключається до лінійного каналу і передає сигнал виклику розпорядчій станції. Потрібного керівника уточнюють голосом, і він вступає в переговори.

Якщо в розпорядженні керівника робіт є тільки портативна радіостанція РН, то зв'язок із диспетчерами може бути забезпечений лише поблизу радіостанції Оріон РС-6 на відстанях до 3-4 км. Для організації зв'язку з будь-якої точки перегону ремонтна бригада оснащена переносною радіостанцією Оріон РВ-4, що розгортається в районі проведення робіт з установленням тимчасової антени на телескопічній щоглі висотою 5 м, або возимими радіостанціями РВ-4, встановленими на рейковому або автомобільному транспорті бригади.

Застосування радіомереж РОРЗ-Л забезпечує істотне зменшення часу закриття перегону («вікон») за рахунок своєчасного передавання і приймання вказівок і повідомлень про відкриття або закриття перегону, підвищення швидкості руху, час підходу до фронту робіт або причини затримок шляхових машин тощо.

Радіомережі внутрішнього ремонтно-оперативного радіозв'язку РОРЗ-В забезпечують зв'язок керівників ремонтних робіт із виконавцями і сигналістами огороження в локальних зонах проведення робіт на перегонах.

У зоні проведення робіт має бути забезпечена сигналізація про наближення поїзда і гучномовне оповіщення працівників.

У радіомережі має бути передбачена можливість зв'язку сигналістів із машиністами поїзних локомотивів на ділянках наближення до зони проведення робіт, а також зв'язок керівника робіт із черговими найближчих станцій [2, 3].

Радіомережі внутрішнього ремонтно-оперативного радіозв'язку РОРЗ-В забезпечують зв'язок керівників ремонтних робіт (начальників колон, відбудовних і пожежних поїздів, бригадирів, центральних сигналістів і інших) із виконавцями (майстрами, монтерами, водіями дрезин, автомотрис та інших рухомих об'єктів) і сигналістів огороження в локальних зонах провадження робіт на перегонах на відстанях 1-3 км.

У зоні провадження робіт також має бути сигналізація про наближення поїзда і гучномовне оповіщення ремонтних працівників.

У радіомережі РОРЗ-В має бути передбачена можливість зв'язку сигналістів із машиністами поїзних локомотивів на ділянках наближення до зони провадження робіт, а також зв'язок керівника робіт із черговими найближчих станцій [23].

Мережа радіозв'язку РОРЗ-В побудована в основному на базі носимих радіостанцій Оріон-РН, що працюють у симплексному режимі з груповим викликом, а так само пристроїв гучномовного оповіщення працівників – УГО (рис. 3.6).

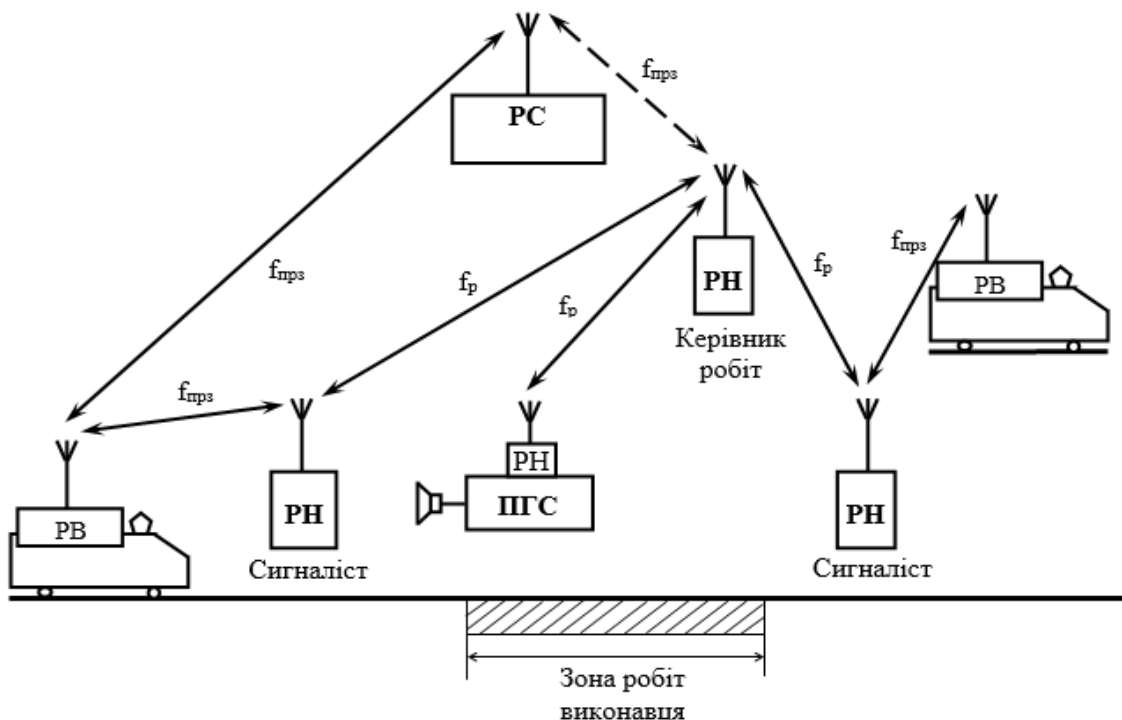


Рис. 3.6. Схема організації мережі радіозв'язку керівника ремонтних робіт на перегоні

Пристрої УГО виконують у трьох варіантах: у переносному варіанті УГО-П, встановлюваному безпосередньо в зоні провадження робіт із живленням від акумуляторів, возимому варіанті – УГО-В, встановлюваному на рухомих об'єктах різних типів із живленням від бортової мережі, стаціонарному варіанті УГО-С з живленням від мережі змінного струму 220 В.

До складу УГО всіх типів входить портативна радіостанція РН, через яку забезпечено дистанційне управління пристроями сповіщення. Радіостанція РН-4 побудована на базі РН-12 і відрізняється від останньої наявністю пульта управління ПМ-803, завдяки якому забезпечується взаємодія з УГО, а саме:

- періодичне посилення контрольного сигналу частотою 900 Гц для перевірки працездатності устаткування;
- посилення сигналу частотою 700 Гц для ввімкнення сирени, що попереджає про наближення поїзда;
- посилення сигналу частотою 2800 Гц для дистанційного ввімкнення підсилювачів звукової частоти і трансляції мовних повідомлень.

Зв'язок керівника робіт із виконавцями всередині зони провадження робіт і сигналістами огороження здійснюється на одній із частот ремонтно-оперативного зв'язку (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Номери каналів усередині фронту ремонтних робіт

Канал у групі	Групи каналів					
Колійні працівники	43	20	23	43	38	23
Енергетики	41	33	30	41	33	30
Зв'язківці	18	42	35	18	42	35

### 3.5. Перспективні напрями розвитку залізничного технологічного радіозв'язку

Широко використовувані на залізницях мережі технологічного радіозв'язку в наш час є системами конвенціонального радіозв'язку, які працюють в аналоговому режимі на закріплених каналах. Для сучасних систем рухомого технологічного радіозв'язку існують більш досконалі технічні рішення на основі цифрових методів, які дають змогу розширити можливості застосування. Уже розглядають адаптовані для умов залізничного транспорту цифрові радіотехнології, наведені на рис. 3.7. Перспективними є системи конвенціонального цифрового стандарту мобільного радіозв'язку DMR-R (for railway), системи стільникового радіозв'язку GSM-R, на основі стандарту цифрового мобільного зв'язку загального користування GSM та широкосмугові системи радіозв'язку стандарту LTE-R [25].

#### *Основні напрями розвитку технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті*



Рис. 3.7. Перспективні радіотехнології

У 2005 році Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI) був розроблений стандарт DMR (Digital Mobile Radio – цифрове мобільне радіо) як єдиний відкритий загальноєвропейський стандарт цифрового мобільного радіозв'язку [26]. Він забезпечує завдання «цифровізації» систем конвенціонального радіозв'язку і дає змогу модернізувати аналогові мережі шляхом поступової заміни аналогового обладнання на цифрове без порушення діючих систем технологічного радіозв'язку з частковим використанням сучасної інфраструктури.

Застосування вокодерних методів передавання мовної інформації в цифрових радіозасобах стандарту DMR дає змогу зменшити необхідну ширину смуги частот у радіоканалі за рахунок того, що замість мовного сигналу передають тільки значення його окремих параметрів. Завдяки цьому швидкість передавання цифрового сигналу в каналі радіозв'язку можна зменшити до 2,4-9,6 кбіт/с. На приймальному боці за вимірними параметрами синтезують мовний сигнал.

Технологія стандарту DMR побудована на частотному розподілі каналів із рознесенням 12,5 кГц. У системі передбачено організацію часового розподілу каналів для окремого передавання мовної і дискретної інформації.

Цифрові мережі технологічного радіозв'язку в стандарті DMR, окрім одночастотного симплексного режиму, можуть працювати в режимі двочастотного симплексу або дуплексу. При цьому рознесення частот приймання і передавання має бути більше 1 МГц.

В основу роботи цифрових радіостанцій покладено принцип передавання цифрових пакетів. Загальна функціональна схема радіостанції подана на рис. 3.8.

Від абонента (джерела інформації) може надходити два види сигналів – дані або мова. При передаванні цифрових сигналів дані безпосередньо надходять у блок формування пакетів.



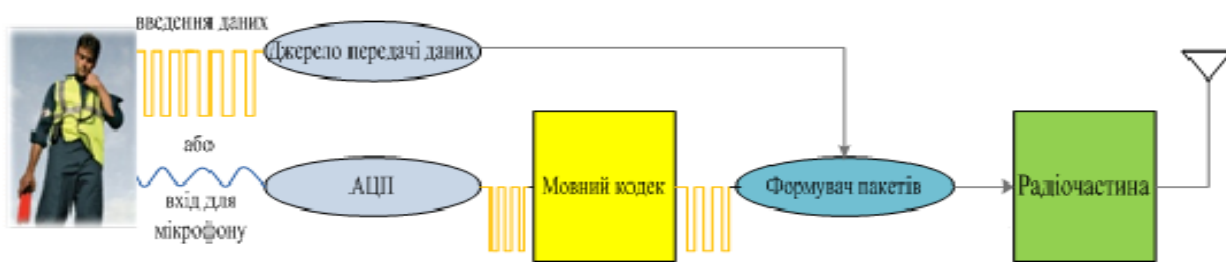


Рис. 3.8. Функціональна схема цифрової радіостанції DMR

При передаванні мовних сигналів через мікрофонний вхід звук надходить у звичайний аналого-цифровий перетворювач. На його виході формується цифровий потік зі швидкістю передавання 64 кбіт/с. Цифровий потік із такою швидкістю передавати по радіоканалу з шириною 12,5 кГц неможливо. Тому для передавання мовної інформації в радіоканалі використовують кодування сигналу. Технологія кодування AMBE+2 заснована на розподілі мовних сигналів на короткі сегменти тривалістю 30 мс, із яких виділяють найбільш важливі параметри мови. Далі сигнал зі швидкістю 3,6 кбіт/с подається в пристрій формування пакетів, а далі на радіопередавач.

Стандарт DMR передбачає різні методи корекції помилок у каналі з використанням завадозахищених методів кодування. Залежно від вибраного методу корекції помилок у каналі швидкість передавання даних можлива від 1,6 до 6,4 кбіт/с.

Впровадження радіозасобів стандарту DMR на мережах технологічного радіозв'язку залізниць забезпечує таке:

- використання наявної сітки частот, що дає змогу спростити завдання перехідного періоду і забезпечити перехід на рознесення частот сусідніх каналів 12,5 кГц;

- ідентичність параметрів радіостанцій за основними характеристиками радіоінтерфейсу дає змогу зберегти умови дальності зв'язку та ЕМС;

- збереження сформованих алгоритмів роботи мереж і прийнятої сигналізації;
- можливість одночасного передавання голосу і даних за рахунок використання часового розподілу каналів.

Перехід на сітку частот із рознесенням каналів 12,5 кГц дає змогу збільшити кількість робочих каналів у тій самій смузі частот порівняно з наявними аналоговими системами радіозв'язку. Це дасть змогу в подальшому ширше використовувати радіоканали метрового діапазону у відведених для залізничного транспорту смугах частот 151,725-154,000 МГц і 155,000-156,000 МГц для організації мереж станційного радіозв'язку, зонних мереж поїзного радіозв'язку, окремих мереж ремонтно-оперативного зв'язку та мереж передавання даних для систем управління.

Певний досвід організації дослідної ділянки цифрових мереж стандарту DMR є і в АТ «Укрзалізниця» [27].

Стандарт GSM-R створено на основі найбільш поширеного стандарту стільникового мобільного зв'язку загального користування GSM, адаптованого для залізничного транспорту. Апаратна частина системи GSM-R потребує мінімального доопрацювання. Програмними засобами реалізовано специфічні вимоги залізниць: групові і циркулярні виклики, система пріоритетів, функціональна адресація та адресація залежно від місцезнаходження, які необхідні в мережах залізничного технологічного радіозв'язку [28].

Система GSM-R реалізована для впровадження EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network), це дає змогу забезпечити сумісність транс'європейської мережі залізничного радіозв'язку. За використання GSM-R можна відмовитися від кількох паралельних мереж радіозв'язку, забезпечити високу надійність радіозв'язку на ділянках швидкісного руху, реалізувати послуги на єдиній платформі. За

використання GSM-R у Європейській системі управління залізничним рухом ERTMS (European Railway Traffic Management System) підвищується пропускна спроможність ліній [28].

Основними особливостями стільникових систем є частотно-територіальне планування на основі малих зон обслуговування і повторного використання робочих частот. Системи GSM-R широко впроваджені на залізницях Європи.

На рис. 3.9 наведена структурна схема мережі стільникового зв'язку GSM-R. Мережу GSM-R складають:

- підсистема базових станцій;
- підсистема мобільних абонентських радіостанцій;
- мережева та комутаційна підсистема.

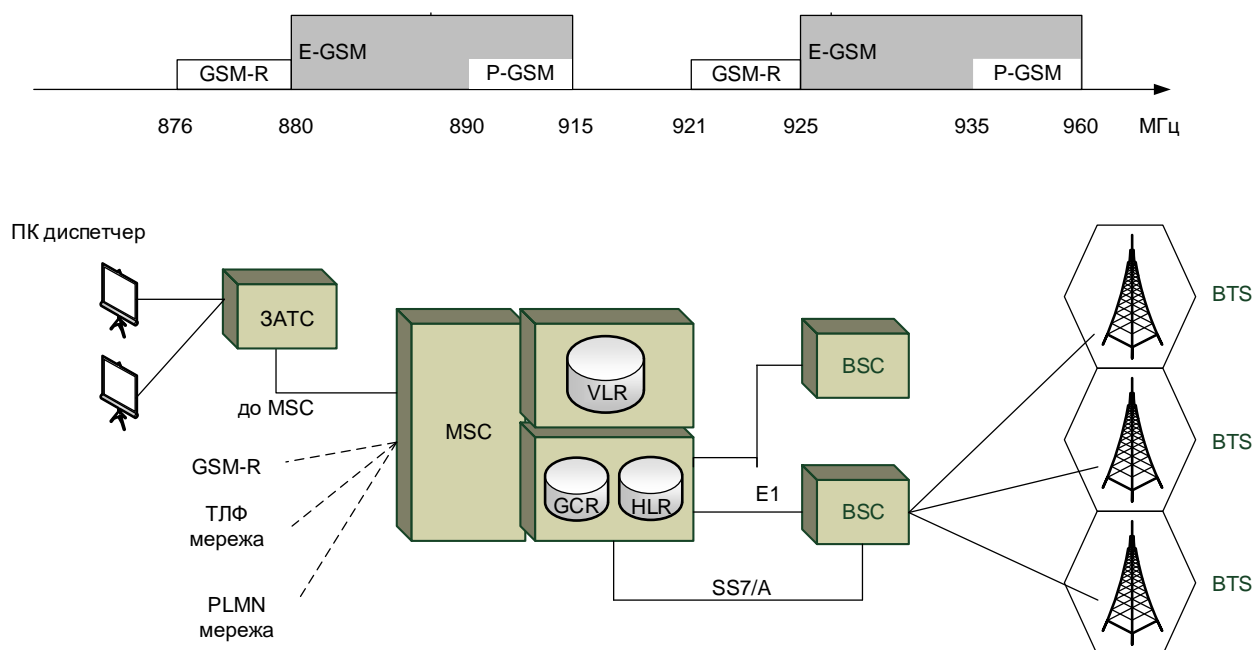


Рис. 3.9. Структурна схема мережі стільникового зв'язку GSM-R

Обладнання підсистеми базових станцій BSS (Base Station Sub-system) включає один контролер базових станцій BSC (Base Station Controller) і декілька базових приймально-передавальних станцій BTS

(Base Transceiver Station). Контролер базових станцій управляє і контролює працездатність усіх блоків базових станцій. Контролери базових станцій з'єднані з центром комутації мобільного зв'язку за допомогою первинного цифрового потоку зі швидкістю 2048 кбіт/с.

Доступ рухомих абонентів до ресурсів мережі GSM-R здійснюється через підсистему мобільних станцій MS (Mobile Station).

Передбачено виробництво абонентських станцій у вигляді носимих і мобільних радіостанцій, встановлюваних на рухомих об'єктах, розроблених із урахуванням потреб залізничників.

Центр комутації мобільного зв'язку MSC (Mobile Switching Center) забезпечує маршрутизацію викликів і функції управління викликами. Крім того, центр комутації MSC забезпечує постійне стеження за рухомими об'єктами, використовуючи реєстри місцезнаходження HLR (Home Location Register) і переміщення VLR (Visited Location Register). У реєстрі HLR зберігається та частина інформації про місцезнаходження будь-якої мобільної станції, яка дає змогу центру комутації доставити виклик, тобто реєстр місцезнаходження фактично являє собою довідкову базу абонентів, зареєстрованих у такій мережі. Реєстр HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента IMSI. Його використовують для впізнання рухомої станції в центрі автентифікації AUC. Практично HLR має довідкову базу даних про постійно прописаних у мережі абонентів. У ній містяться розпізнавальні номери і адреси, а також параметри автентичності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції з зони в зону, - реєстр переміщення VLR.

У мережі рухомого зв'язку GSM стільники згруповані в локальні зони LA, яким присвоєно свій ідентифікаційний номер LAC. Кожен VLR містить дані про абонентів у декількох LA. Коли рухомий абонент

переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місцезнаходження автоматично оновлюються в VLR. VLR також розподіляє номери передавання управління при передаванні з'єднань від одного MSC до іншого.

До мережевої структури GSM-R входить диспетчерська підсистема, що складається з відомчої, АТС для підключення диспетчерських пультів управління і диспетчерського сервера. Встановлення з'єднань між диспетчером і машиністом локомотива здійснюється набором на пульті диспетчера (при вихідному від нього з'єднанні) чи пульті машиніста (при вхідному з'єднанні до диспетчера) відповідного номера радіостанції локомотива чи номера диспетчера.

Спеціалізовані сервіси залізничного транспорту реалізовані новим функціональним елементом – реєстром групових викликів (GCR), у якому міститься інформація про пріоритетність абонентів, а також різні параметри групових викликів. Регістр GCR відповідає за обслуговування групових викликів.

За допомогою групових і циркулярних викликів реалізована можливість встановлювати зв'язок одночасно з декількома абонентами в певній зоні, наприклад усіма машиністами локомотивів у зоні управління певного диспетчера, і передавати інформацію кожному з них.

Система пріоритетів дає змогу за необхідних умов навіть при зайнятих мережевих ресурсах здійснити з'єднання, яке має вищий пріоритет. Різним видам викликів присвоюють різні класи пріоритетів відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу залізниць.

За допомогою функціональної адресації машиніст або абоненти в поїзді, відповідальні за певні функції, можуть бути викликані за рахунок введення змінного номера поїзда і функціонального номера FN, а не фізичного абонентського номера. Окрім звичайного абонентського номера, кожному абоненту мережі GSM-R надано один або декілька

функціональних номерів – FN. Завдяки функції LDA машиністу не потрібно дізнаватися, у якій зоні обслуговування диспетчера він знаходиться в певний час і який номер йому потрібно набирати, щоб встановити зв'язок із потрібним диспетчером. Незалежно від місця чи зони знаходження, машиніст може набирати один і той самий уніфікований скорочений номер, одразу автоматично з'єднуючись з потрібним диспетчером, відповідальним за певну ділянку шляху прямування поїзда [8].

Окрім телекомунікаційних послуг, у мережах GSM-R передбачена можливість використання радіоканалів у системах інтервального регулювання руху поїздів.

Конкуренцію системам GSM-R складають цифрові транкінгові системи TETRA, які працюють у діапазоні частот 450 МГц. Транкінгові системи є найпоширенішими з професійних систем рухомого радіозв'язку, часто приватного характеру. Перевагою системи TETRA є більші додаткові функціональні можливості з забезпечення режиму прямого зв'язку мобільних абонентів, ретрансляції сигналів локомотивними радіостанціями, меншого часу встановлення з'єднання тощо [23].

Транкінгові системи передбачають об'єднання деякої кількості каналів у єдину систему, можуть бути використані всіма абонентами спільно за різними алгоритмами. Це дає змогу забезпечити більш ефективно використання радіочастотного ресурсу.

Необхідність підвищення швидкості передавання даних і збільшення обсягів передавання інформації в автоматизованих системах управління рухом поїздів досягається в системах стандарту LTE. Дослідні ділянки впровадження систем LTE створені на ряді залізниць у деяких країнах [25].

Стандартом LTE передбачено реалізацію системи в різних смугах частот від 400 МГц до 6 ГГц. Ширина радіоканалу може бути різною від 1,4 до 20 МГц. Залежно від використовуваної ширини смуги частот швидкість передавання даних від базової станції до рухомого абонента

може складати 7,8 Мбіт/с за ширини смуги 1,4 МГц і досягати 100 Мбіт/с за максимальної ширини смуги частот і невеликої дальності радіозв'язку з затримкою передавання даних до 5 – 10 мс. У системах LTE використовують новітні технічні рішення. При передаванні від базової станції для забезпечення множинного доступу в системі використовують технологію OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розподілом каналів). Технологія OFDM передбачає передавання широкосмугового сигналу за допомогою незалежної модуляції вузькосмугових піднесучих, розташованих із певним кроком за частотою. У висхідному каналі використовують технологію SC-FDMA (Single-carrier frequency-division multiple access). У мережі стандарту використовують технологію багатоантенних систем (MIMO) [25].

Побудова на основі LTE-R інформаційно-керуючих систем дасть змогу підвищити швидкість обміну даними, знизити до мінімальних значень затримки при обміні інформацією з рухомими об'єктами, розширити склад систем управління рухом поїздів і підвищити безпеку руху.

Радіозасоби LTE-R орієнтовані на застосування на ділянках високошвидкісного руху пасажирських поїздів із використанням автоматизованих систем управління, які потребують великих обсягів і швидкостей передавання інформації.

Використання широкосмугових систем істотно збільшує витрати на організацію мереж за рахунок зниження дальності радіозв'язку. Тому при виборі систем радіозв'язку необхідно орієнтуватися на економічно виправдані витрати з розміщення базових станцій, які визначають розмірами зон обслуговування.

Економічно ефективним є варіант впровадження цифрових систем технологічного радіозв'язку на сучасному етапі, використання радіозасобів стандарту відкритого загальноєвропейського стандарту цифрового

радіозв'язку DMR. Впровадження DMR економічно ефективно на сучасному етапі, але консервує обмежені можливості за швидкістю передавання даних.

Стільникові системи GSM-R доцільно використовувати для залізничних ліній зі швидкісним рухом поїздів, задіяних у системі міжнародних перевезень.

Радіозасоби стандарту LTE-R орієнтовані на застосування на ділянках швидкісного руху з використанням автоматизованих систем управління.

### **Контрольні запитання**

1. Принципи класифікації мереж залізничного технологічного радіозв'язку.
2. Які смуги частот виділено для організації мереж залізничного технологічного радіозв'язку?
3. Станційний радіозв'язок – призначення, склад абонентів, організація радіомереж.
4. Поїзний радіозв'язок – призначення, склад і організація радіомереж.
5. Ремонтно-оперативний радіозв'язок – призначення та склад радіомереж.
6. Що таке «чергове приймання», «відкритий канал»?
7. Що таке «груповий виклик» у каналах залізничного технологічного радіозв'язку?
8. Техніко-економічна ефективність використання технологічного радіозв'язку.
9. Що таке симплексний режим роботи?



10. Загальні принципи побудови стільникових мереж.
11. Основні елементи стільникової мережі стандарту GSM-R.
12. Основні специфічні вимоги при використанні стільникових систем GSM у мережах залізничного технологічного радіозв'язку.
13. Мета створення і впровадження стільникових систем на залізницях.
14. Структура і склад устаткування транкінгових систем.
15. Особливості цифрової транкінгової системи TETRA.
16. Яке додаткове обладнання використовують при організації лінійних мереж радіозв'язку?
17. Які радіотехнології є перспективними для використання на залізницях?
18. Які фактори забезпечують ефективність впровадження систем стандарту DMR на залізницях?

## **4. РОЗРАХУНОК МЕРЕЖ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

### **4.1. Загальні положення та рекомендації**

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

Зона обслуговування в певній радіомережі - це територія, у межах якої забезпечена необхідна якість зв'язку на максимальній відстані від передавача.

У лінійних мережах залізничного технологічного радіозв'язку частіше використовують поняття дальність радіозв'язку. Розрахунки дальності радіозв'язку в діапазонах коротких та ультракоротких радіохвиль суттєво відрізняються.

Енергія високої частоти в мережах ПРЗ діапазону гектометрових хвиль може передаватися від передавача до приймача як за рахунок полів випромінювання, створюваних антенами, так і полів індукції, створюваних у зоні проходження спеціальних напрямних ліній. Другий спосіб забезпечує більшу дальність зв'язку і якість зв'язку, тому що високочастотна енергія передавача концентрується й спрямовується безпосередньо уздовж напрямку руху локомотива [16]. За використання напрямних ліній дальність радіозв'язку зростає, і рівень сигналу мало залежить від рельєфу місцевості.

У підрозд. 4.2 наведена методика розрахунків дальності ПРЗ гектометрового діапазону та приклади розрахунки для ділянки змінного струму з напрямними лініями.

У діапазоні УКХ поширення відбувається виключно шляхом випромінювання антен базових станцій, розташованих вздовж перегону. У діапазоні УКХ інфраструктура залізниць має більший вплив на умови поширення радіохвиль [16].

У результаті екранування істотної області при поширенні радіохвиль перешкодами і розсіювання енергії електромагнітної хвилі середнє значення напруженості поля в точці приймання менше, ніж при поширенні на відкритій місцевості за інших однакових умов.

Перешкоди на трасах поширення радіохвиль стають ефективними перевипромінювачами електромагнітної енергії, що визначає багатопроменевий характер радіоканалу і складну інтерференційну структуру поля. У результаті виникають більш значні просторові флуктуації напруженості поля, які впливають на надійність радіоканалу по полю.

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

Детальний розгляд методики розрахунку каналів в УКХ діапазоні наведений у підрозд. 4.3. Використано графоаналітичний метод розрахунку на основі використання експериментальних кривих поширення радіохвиль.

З розробленням частотно-територіальних планів мереж технологічного радіозв'язку слід розрахувати умови забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів. При цьому використовують графоаналітичний метод розрахунку на основі статистичних кривих, наведених на рис. 4.5. Розглядають умови відсутності недопустимих завад між антенами стаціонарних радіостанцій у результаті блокування та інтермодуляції. За роботи радіостанцій, які працюють на однаковій частоті, ЕМС радіозасобів визначають за умови відсутності спрацювання шумоподавлювача та прослуховування заважального сигналу. Методика та приклади розрахунку ЕМС наведені в підрозд. 4.5.

## 4.2. Розрахунок мереж поїзного радіозв'язку гектометрового діапазону

У мережах ПРЗ гектометрового діапазону широко застосовують передавання високочастотних сигналів провідними напрямними лініями, які проходять вздовж залізничних колій. При цьому вихід передавача стаціонарної радіостанції підключають не до антени, а через спеціальну систему збудження до прямої лінії. Поширення радіохвиль у цьому випадку відбувається з меншим загасанням (насамперед за рахунок концентрації електромагнітної енергії безпосередньо в зоні проходження лінії), і дальність радіозв'язку зростає. Важливим є і те, що за використання напрямних ліній рівні сигналів мало залежать від характеру місцевості [16, 22].

Як напрямні лінії в ПРЗ гектометрового діапазону використовують або спеціально підвішений хвильоводний провід, або проводи з кольорових металів інших ліній, які проходять вздовж залізниць.

Підключення стаціонарних радіостанцій до напрямних ліній може бути здійснено індуктивним способом або через розподільчі високовольтні конденсатори.

Індуктивний спосіб є основним, бо виключає безпосередній гальванічний зв'язок із проводами високої напруги і зменшує ймовірність потрапляння високої напруги до схеми збудження.

Збуджуючий провід або два проводи (залежно від схеми ввімкнення) довжиною чверть хвилі  $l = (35 \pm 0,5) \text{ м}$  підвішують паралельно проводам прямої 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 хвилевідних проводів [2].

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

У випадку, коли хвильовий канал утворюють один хвилевідний провід або декілька проводів напрямної лінії і земля, таку схему збудження називають синфазною (рис. 4.1).

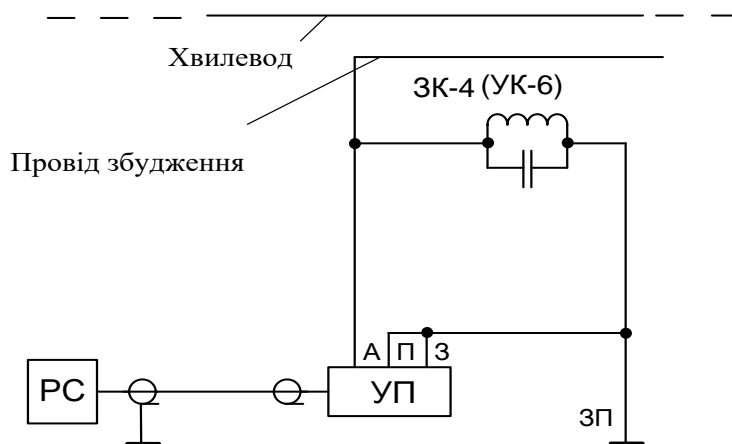


Рис. 4.1. Схема високочастотного збудження однопровідного хвилеводу

У місцях анкерування на кінцях хвилевідного проводу включають узгоджувальні навантаження з опором, рівним хвильовому опору хвилевідного проводу. Заземлення навантажувальних резисторів має здійснюватися на окремий заземлювач з опором не більше 60 Ом (рис. 4.2). Для захисту від перенапруг паралельно блоку узгоджених навантажень необхідно підключати розрядники.

Хвилевідний провід на ділянках з електротягою змінного струму поділено на секції, довжину яких розраховують так, щоб приведена напруга на її кінцях не перевищувала 1000 В у режимі короткого замикання контактної мережі. Сусідні секції з'єднані між собою через розподільчі конденсатори. Кожна секція в середині з'єднана з середньою точкою дросель-трансформатора рейкових кіл через загороджувальний резистор. Опір загороджувального резистора має бути не менше 10 кОм для високочастотних радіосигналів і 500 – 1000 Ом для змінного струму частотою 50 Гц.

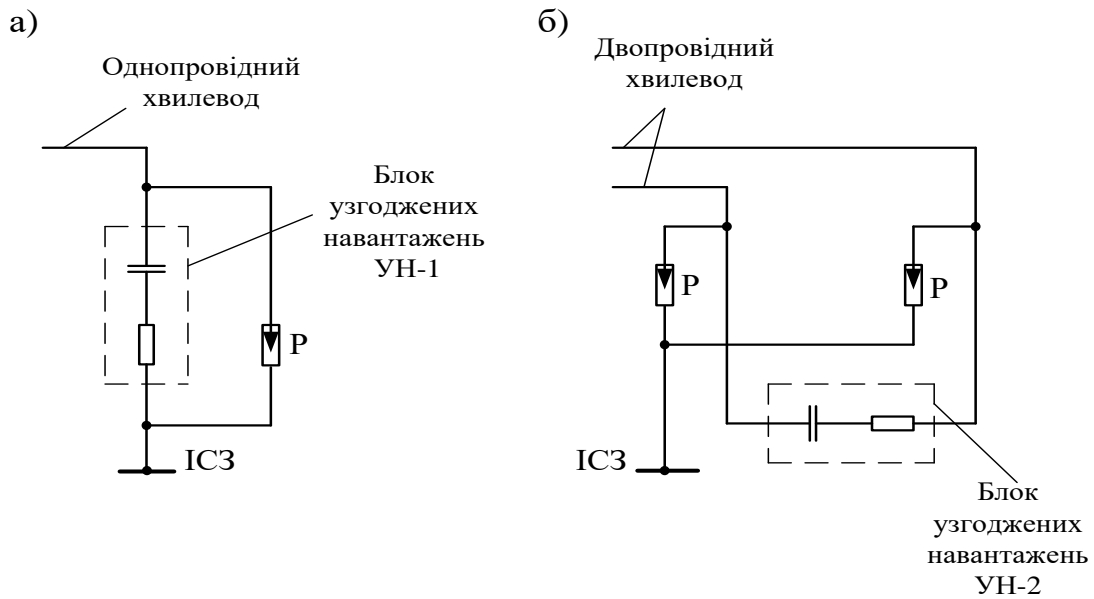


Рис. 4.2. Схеми анкерування однопровідного (а) і двопровідного (б) хвилеводів

Схема секціонування хвилевідного проводу наведена на рис. 4.3.

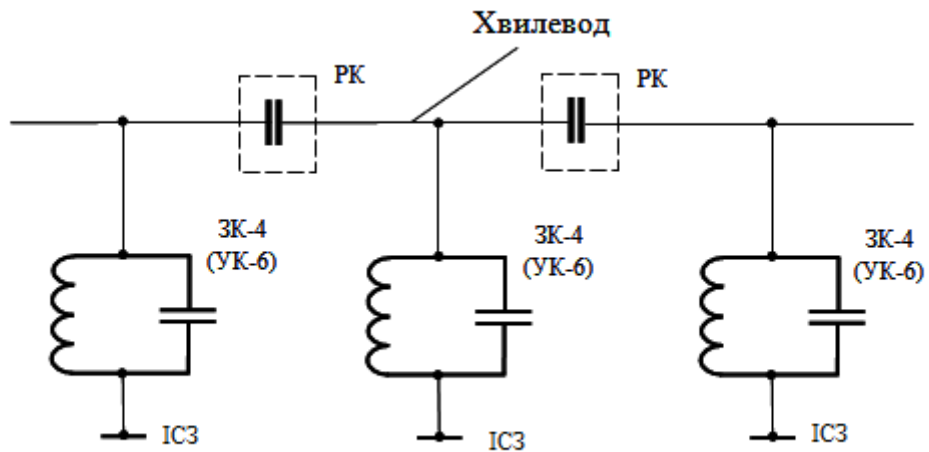


Рис. 4.3. Схеми секціонування однопровідного хвилеводу

На рис. 4.1-4.3 наведені схеми використання лінійних пристроїв у схемах ПРЗ. На практиці для забезпечення мінімального загасання високочастотних сигналів ПРЗ при їх поширенні по проводах напрямних

ліній, а також створення безпечних умов особам, які користуються радіозв'язком, і захисту апаратури ПРЗ від високої напруги використовують низку спеціальних лінійних пристроїв [16]: лінійні узгоджувальні трансформатори (ЛТ), розподільчі високовольтні конденсатори, запірні і узгоджувальні контури ЗК-4 і СК-6, запірні резистори (ЗР), узгоджувальні навантаження (УН), іскрові проміжки (ІП) і розрядники (Р).

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

Дальність дії радіозв'язку між стаціонарною та локомотивною радіостанціями при застосуванні напрямних ліній розраховують за формулою

$$r = \frac{A_{\text{прд}} - U_{\text{мін}} - A_{\text{пер}} - \sum a_{\text{ст}} - \sum a_{\text{лін}} - \sum a_{\text{лок}}}{\alpha_{\text{л}}}, \quad (4.1)$$

де  $A_{\text{прд}}$  – рівень напруги сигналу на виході передавача радіостанції, дБ; для радіостанцій, використовуваних на залізничному транспорті,  $A_{\text{прд}} = 148$  дБ. Якщо радіостанція працює на два навантаження, наприклад на напрямну 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 загасання між проводами напрямної лінії і локомотивною антеною, дБ;

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

$\alpha_{\text{л}}$  – коефіцієнт згаасання сигналу ПРЗ у проводах напрямних ліній, дБ/км.

Мінімально необхідний рівень корисного сигналу

$$U_{\text{мін}} = U_3 + K_{\text{доп}} + K_i, \quad (4.2)$$

де  $U_3$  – квазіпікове значення напруги, дБ, радіозавод на рівні інтегральної ймовірності 0,8 на вході приймача радіостанції за максимальних значень споживаного локомотивом струму і нормальних погодних умов (відсутність паморозі, інею, ожеледі і інших відкладень на напрямних лініях і проводах контактної мережі);

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

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

Значення  $U_3$  і  $U_{\text{мін}}$  для стаціонарних і локомотивних радіостанцій за наявності на локомотивах завадопригнічувальних пристроїв залежно від виду тяги й типу напрямних ліній наведені в табл. 4.1.

Перехідне загасання між проводами напрямної лінії і локомотивною антеною  $A_{\text{пер}}$  і коефіцієнт загасання сигналів у проводах напрямних ліній  $\alpha_{\text{л}}$  вибирають за табл. 4.2.

Значення  $A_{\text{пер}}$  для одноколійних ділянок необхідно брати на 4 дБ менше значень, наведених у табл. 4.2.

Якщо відстань  $R$  між локомотивною антеною й проводами ПЛЗ або ВЛ, підвішеними на окремих опорах, відрізняється від 25 м і перевищує 10 м, то значення  $A_{\text{пер}}$  розраховують за формулою

$$A_{\text{пер}} = 50 + 0,5(R - 25), \quad (4.3)$$

де 50 – значення  $A_{\text{пер}}$ , дБ, за  $R = 25$  м.



Таблиця 4.1

Рівні завад і мінімально необхідні рівні корисних сигналів на вході приймачів стаціонарних і локомотивних радіостанцій ПРЗ

Вид тяги поїздів	Тип напрямної лінії	Рівень завад на вході радіостанції $U_3$		$U_{\text{мін}}$ на вході радіостанції	
		возимої (локомотивної), дБ	стаціонарної, дБ	возимої, дБ	стаціонарної, дБ
1	2	3	4	5	6
Електрична змінного струму 25 кВ	Проводи ДПР, підвішені з одного боку колії	60	58	72	70
	Проводи ДПР, підвішені з різних боків колії	60	56	72	68
	Двопровідний хвилевід	60	56	72	68
	Однопровідний хвилевід, підвішений під проводом ДПР	60	54	72	66
	Два проводи – хвилевідний провід-провід ДПР	60	56	72	68
Електрична змінного струму 2х25 кВ	Провід ДПР і провід живлення ПЖ, підвішені з одного боку 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

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
Тепловозна	Два проводи трифазної ВЛ	38	50	47	59
	Кольорові проводи повітряної лінії зв'язку	38	30	47	39
	Хвилевід, підвішений на окремих опорах:				
	- однопровідний	38	30	47	39
	- двопровідний	38	24	47	34

Примітка. За визначення дальності певного радіозв'язку необхідно приймати найбільше зі значень  $U_{\min}$  для заданого виду тяги і типу напрямних ліній.

Таблиця 4.2

## Параметри напрямних ліній ПРЗ

Вид тяги поїздів	Тип напрямної лінії	$A_{\text{пер}}$ , дБ	$\alpha_c$ , дБ/км	$\alpha_{\text{зб}}$ , дБ/км
1	2	3	4	5
Електрична змінного струму 25 кВ	Проводи ДПР, підвішені: - з одного боку колій - різних боків колії	38	2	1,5
		35	4	2,8
	Однопровідний хвилевід, підвішений під проводами ДПР	38	2	2,1
	Два проводи: хвилевідний провід-провід ДПР	37	1,7	1,5
Електрична змінного струму 2x25 кВ	Проводи ДПР і провід живлення ПЖ, підвішені з одного боку 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

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5
Електрична постійного й змінного струму	Двопровідний хвилевід у тунелі й 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 загасання сигналу ПРЗ у станційних пристроях

$$\sum a_{\text{ст}} = \alpha_{\text{ф}} l_{\text{ф}} + a_{\text{уп}} + a_{\text{зб}} + a_{\text{ос}} + K_{\text{п}}, \quad (4.4)$$

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

$l_{\text{ф}}$  – довжина фідера, який з'єднує радіостанцію з узгоджувальним пристроєм;  $a_{\text{уп}} = 1,5$  дБ - загасання, яке вносить узгоджувальний пристрій;

$a_{\text{зб}}$  – загасання, яке вносить схема збудження проводів напрямної лінії, дБ. У випадку безпосереднього приєднання стаціонарної радіостанції до напрямних проводів  $\alpha_{\text{з}}$  практично дорівнює нулю;

$a_{\text{зб}} = 5-6$  дБ – додаткове загасання за синфазного збудження хвилевідного проводу або проводів повітряної лінії зв'язку;

$K_{\text{п}} = 3$  дБ – коефіцієнт, який враховує поширення високочастотної енергії в обидва боки від місця приєднання стаціонарної радіостанції; у випадку збудження напрямної лінії в місці анкерування  $K_{\text{п}} = 0$  дБ.

Значення загасання  $a_{\text{зб}}$ , дБ, яке вносять схеми збудження різних типів напрямних ліній, наведені в табл. 4.2. Величина загасання  $a_{\text{зб}}$  не залежить від виду тяги поїздів

Сумарне загасання сигналу в лінійних пристроях напрямних ліній ПРЗ розраховують за формулою

$$\sum a_{\text{лін}} = a_{\text{тп}} + a_{\text{р}} + na_{\text{п}} + ma_{\text{тр}}, \quad (4.5)$$

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

$a_{\text{п}}$  – загасання, внесене зміною сторонності напрямної лінії, дБ;  $a_{\text{п}} = 0,7$  дБ за повітряного переходу  $a_{\text{п}} = 2,5$  дБ при кабельному переході проводів з використанням узгоджувальних контурів або лінійних трансформаторів;

$n$  – кількість переходів напрямних ліній у межах перегону;

$m$  – кількість оброблюваних трансформаторів на перегоні;

$a_{\text{тр}}$  – загасання, внесене силовим трансформатором за високочастотної обробки його, дБ;  $a_{\text{тр}} = 0,1$  дБ – при ввімкненні високочастотних загороджувачів у місці відпаювання від напрямної лінії; при ввімкненні загороджувачів біля силового трансформатора  $a_{\text{тр}}$  визначають за графіками на рис. 4.4 залежно від довжини проводів  $l_{\text{тр}}$ , якими трансформатор підключено до напрямної лінії. За використання двопровідної лінії ДПР-ПЖ на ділянках з електричною тягою змінного струму загасання, внесеним одним автотрансформаторним пунктом АТП у тракт передавання енергії високої частоти,  $a_{\text{тр}} = 4$  дБ.

Сумарне загасання сигналу ПРЗ у локомотивних пристроях

$$\sum a_{\text{лок}} = 1,5 \text{ дБ}. \quad (4.6)$$

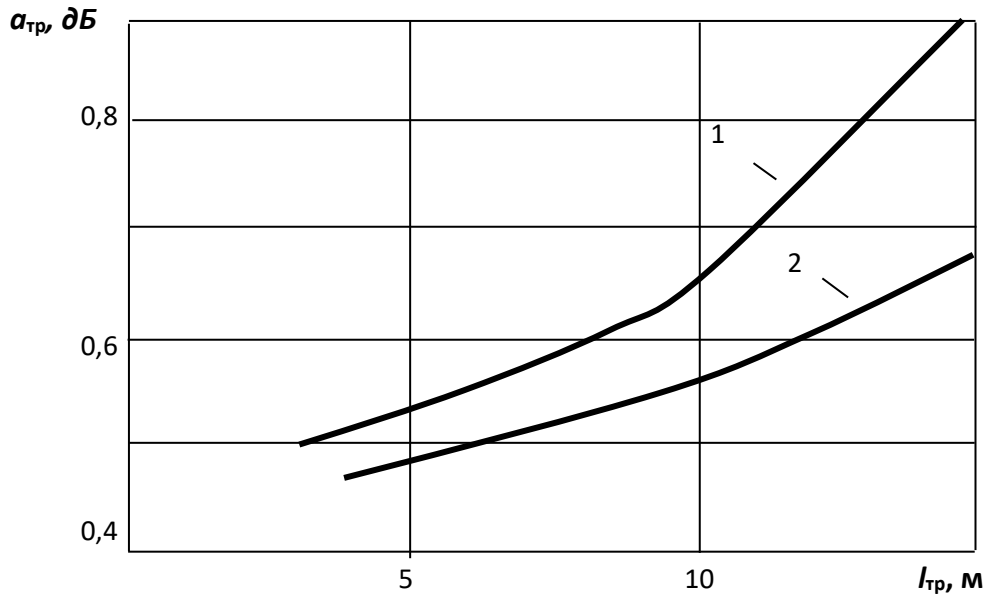


Рис. 4.4. Залежність загасання  $a_{тр}$  від довжини проводів  $l_{тр}$ :

1 – для трифазних трансформаторів; 2 - однофазних трансформаторів

**Приклад 1.** Ділянка залізниці з електричною тягою змінного струму. Напрямна лінія – хвилевідний провід, підвішений на опорах контактної мережі.

*Порядок розрахунку.* Дальність радіозв'язку  $r$  між стаціонарною й возимою радіостанціями за умови використання напрямних ліній різних типів розраховують з формулою (4.1). Лінійні пристрої на перегоні відсутні. У станційних пристроях враховуємо тільки загасання схеми збудження хвилевідного проводу.

$A_{прд} = 148$  дБ;  $U_{мін} = 72$  дБ – за табл. 4.1;  $A_{пер} = 35$  дБ;  $a_{с1} = 2$  дБ/км;  $a_{с2} = 4$  дБ/км (табл. 4.2);  $\sum a_{лок} = 1,5$  дБ/км.

Відповідно до формули (4.4)

$$\sum a_{ст} = \alpha_{\phi} l_{\phi} + a_{уп} + a_{зб} + K_{п} = 0,007 \cdot 30 + 1,5 + 1,5 + 3 = 6,21 \text{ дБ.}$$

Відповідно до формули (4.5)

$$\sum a_{лін} = a_{тп} + n a_{д} + m a_{тр} = 1 + 1 \cdot 2,5 + 2 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ дБ,}$$

де  $a_{тр}$  – за графіком на рис. 4.4 для  $l_{тр} = 10$  м.

Отже,

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

Використання хвилевідних проводів забезпечує значну дальність поїзного радіозв'язку. За використання інших типів напрямних ліній суттєво зростає загасання лінійного каналу.

#### **4.3. Розрахунок зон обслуговування мереж технологічного радіозв'язку метрового діапазону радіохвиль**

Для організації залізничного технологічного радіозв'язку в метровому діапазоні радіохвиль виділено ділянки спектра 151,725 – 154,000 МГц і 155,000 – 156,000 МГц на основі використання радіозасобів із каналною сіткою частот 25 кГц. Запланований перехід на каналну сітку радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону. Це дасть можливість суттєво підвищити ефективність використання виділеного частотного ресурсу для багатьох служб [14].

Канали радіозв'язку в цих смугах використовують спільно для організації мереж поїзного, станційного та ремонтно-оперативного радіозв'язку. Конкретний розподіл робочих частот між різними мережами встановлений відомчими нормативними документами [16, 22].

Розглянуту методику використовують для розрахунку зон обслуговування в каналах різного призначення. Використовують єдине сімейство кривих поширення радіохвиль у різних мережах, а відмінності умов організації враховують відповідними поправочними коефіцієнтами, які визначають для умов перегонів і залізничних станцій, електрифікованих і неелектрифікованих ділянок [16].

Графіки побудовано на основі результатів експериментальних досліджень особливостей поширення радіохвиль в умовах залізниць. Графіки кривих поширення радіохвиль на рис. 4.5 побудовані за певних параметрів радіомереж для умов перегонів на неелектрифікованих ділянках залізниць у середньопересіченій місцевості (тип траси 2), характерній для більшості регіонів України. Криві 1 і 2 на рис. 4.5 побудовані для добутку висот установлення антен  $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ . Потужність передавача прийнято  $P_1 = 1 \text{ Вт}$ . Коефіцієнт підсилення передавальної антени прийнято  $G_1 = 0 \text{ дБ}$  відносно напівхвильового вібратора, загасання 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 децибелах відносно  $1 \text{ мкВ/м}$  і мають місце протягом 50 % часу в 50 % точок приймання, тобто надійність каналу радіозв'язку по полю становить 50 % внаслідок просторових і часових флуктуацій.

У загальному випадку дальність радіозв'язку визначають у напрямку від стаціонарної до возимої радіостанції рухомого об'єкта, оскільки умови приймання сигналів на рухомому об'єкті значно гірше, ніж на стаціонарному, внаслідок більш високого рівня радіозавад у безпосередній близькості від пристроїв контактної мережі [16].

Допускаючи, що на границі зони обслуговування (за максимальної 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,

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{трас}} + \sum B_{\text{імов}}, \text{ дБ}, \quad (4.7)$$

де  $U_{2\text{мін}}$  – мінімальне допустиме значення напруги на вході приймача локомотивної радіостанції залежно від виду тяги поїздів, дБ;

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

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

де  $Z_x$  – хвильовий опір фідера, Ом.

Значення коефіцієнта  $g_2$  для частоти 160 МГц і  $Z_x = 50$  Ом складає 12 дБ;

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

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

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

Значення  $U_{2\text{мін}}$  на вході приймача возимих радіостанцій для різних умов експлуатації радіозасобів, установлених на рухомих об'єктах, наведені в табл. 4.3.

На вході приймачів стаціонарних радіостанцій, які знаходяться в кращих умовах, ніж локомотивні, значення  $U_{2\text{мін}}$  приймають рівним 6 дБ на ділянках залізниць, електрифікованих за системою змінного струму, 2 дБ – ділянках постійного струму, 0 дБ – ділянках із тепловозною тягою.



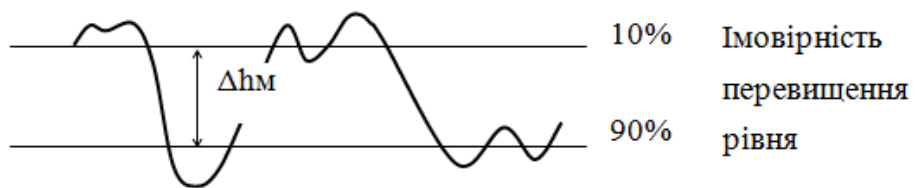
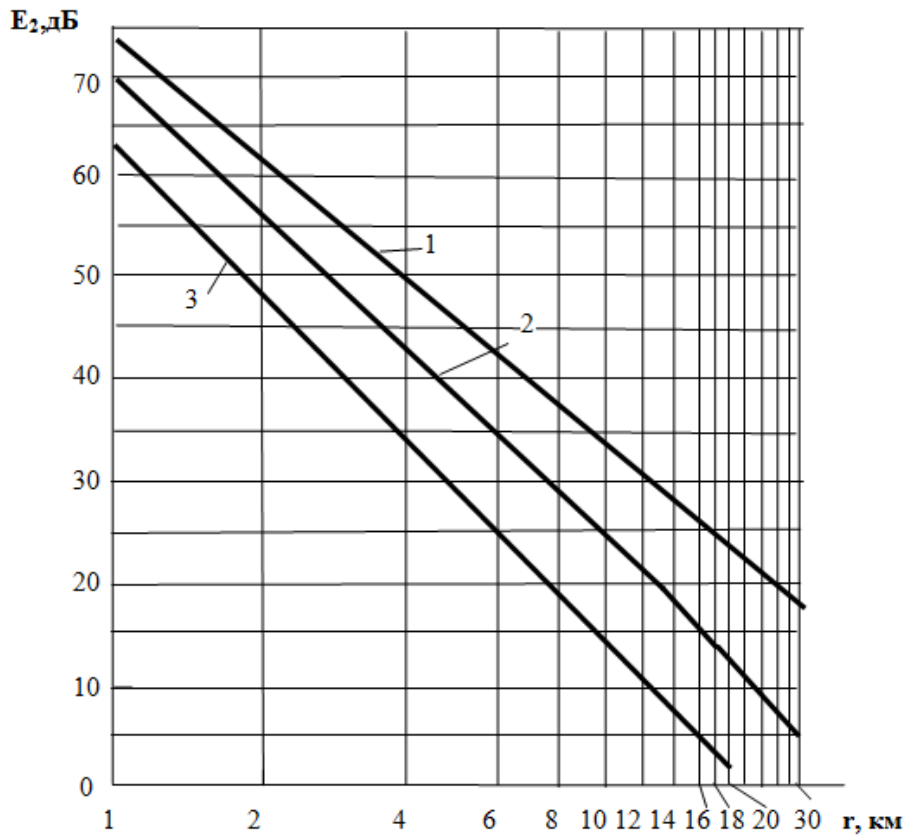


Рис. 4.5. Базові криві поширення радіохвиль метрового діапазону 160 МГц

Таблиця 4.3

Мінімально допустимі рівні корисних сигналів на вході приймачів локомотивних радіостанцій у мережах технологічного радіозв'язку

Умови експлуатації радіозасобів	$U_{2\text{мін}}$ для приймачів радіостанцій, дБ	
	ЖР-У-ЛП «Транспорт» РВ	
1	2	3
Ділянка з тепловозною тягою	4	2
Електровози на ділянках постійного струму за швидкості руху, км/год: до 120	10	8

1	2	3
понад 120	14	12
Електровози на ділянках змінного струму:		
у рівнинній частині	18	14
гірських районах	15	12
Електровози на ділянках змішаної тяги:		
у рівнинній частині	23	16
гірських районах	18	14
Тепловози на станціях з електротягою постійного струму	23	6
Тепловози на станціях з електротягою змінного струму	18	14

Суму поправкових коефіцієнтів, що залежать від параметрів передавача й антенно-фідерних пристроїв, розраховують за формулою

$$\sum V_{\text{парам}} = -V_{\text{п}} - V_{\text{н}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2, \text{ дБ}, \quad (4.8)$$

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,

$$V_{\text{п}} = 10 \lg \frac{P}{P_1}, \text{ дБ}; \quad (4.9)$$

$V_{\text{н}}$  – висотний коефіцієнт, дБ, що враховує відмінність добутку висот установлення антен  $h_1 h_2$  від значення  $100 \text{ м}^2$ , прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль (враховують при розрахунках із використанням кривих 1, 2 на рис. 4.5),

$$B_h = 20 \lg \frac{h_1 h_2}{100}, \text{ дБ}; \quad (4.10)$$

$G_1, G_2$  – коефіцієнти підсилення передавальної й приймальної антен (відносно напівхвильового вібратора), дБ. Коефіцієнти підсилення різних типів стаціонарних антен наведені в табл. 4.4, коефіцієнт підсилення локомотивних антен приймають рівним нулю;

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

Для збільшення дальності радіозв'язку доцільно використовувати направлені стаціонарні антени, параметри яких наведені в табл. 4.4.

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

Рекомендації з вибору антен стаціонарних радіостанцій і їхні основні параметри наведені в табл. 4.4.

Довжину фідерів вибирають орієнтовно, у середньому вона складає  $l_1 = 20-30$  м для стаціонарних радіостанцій і  $l_2 = 5$  м – для локомотивних радіостанцій, коефіцієнт загасання коаксіальних кабелів на частоті 160 МГц складає 0,15 дБ/м.

Таблиця 4.4

## 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 λ/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»	Односпря- мована	50	10/8	4	1965x800 x260
АС-4/2М ХЖ2.092. 224ПС	Складається з двох АС-3/2М, ввімкнених через ВЧ трансформатор 1:2	Двоспрямована типу «вісімка» зі змінним кутом між напрямами максимального випроміню- вання від 180 до 90°	50	7/5	17	4000x800 x520
АС-5/2М ХЖ2.092. 223ПС	Штирєва хвильова (2x5/8λ)	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
Антенa радіо- станції ЖРУ	Чвертьхвильовий петлевий вібратор із противагою	Кругова	75	2/0	2,9	900x510

Сума поправкових коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль у різних мережах радіозв'язку,

$$\sum V_{\text{трас}} = -V_{\text{рел}} + V_{\text{км}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}}, \text{ дБ}, \quad (4.11)$$

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, поділяють на п'ять типів. Кожному типу відповідає певне значення коефіцієнта складності траси  $K_{\text{СТ}}$ , який може змінюватися в межах від 1 до 5 [16].

Траса типу 1 (рівнинна,  $K_{\text{СТ}} = 1$ ) характеризується невисокими пагорбами із глибиною закриття траси до 10 м і коливаннями рівня земної поверхні  $\Delta h$  не вище 15 м.

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

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

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

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

Тип траси радіозв'язку необхідно визначити за її профілем, що будують за топографічною картою. Значення коефіцієнтів  $V_{рел}$  для трас радіозв'язку різної складності наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Значення поправки  $V_{рел}$  залежно від складності траси

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

Значення коефіцієнта  $V_{л}$  залежить від типу локомотива або іншого рухомого об'єкта і місця установлення антени на даху. Рекомендовані значення  $V_{л}$  для діапазону частот 160 МГц наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

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	Низькорозташованої АЛ/2	Дискоконусної АЛП/2, 3, ШИ2.091.302	Штирьової АМ/2
1	2	3	4	5	6
Електровози змінного струму	Над прожектором у середині секції	4	8	3	-
		5	8	3	-
Електровози постійного струму	Над прожектором і в середині даху	3	6	2	-

1	2	3	4	5	6
Тепловози	За будь-якого розташування	2	2,5	0	-
Електро- та дизель-поїзди	На даху головного вагона	2	2,5	0	-
Дрезини та автомотриси	У вільній частині металевого даху.	2	2	0	2
	Поблизу екрануючих об'єктів	8	8	8	8
Вагони	За будь-якого розташування	0	2	0	2

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

Складові поправкових коефіцієнтів  $\sum V_{\text{трас}}$  враховують вплив рельєфу місцевості, якою проходить траса радіозв'язку, і зменшення напруженості поля в результаті впливу контактної мережі і корпусу рухомого об'єкта.

Залізничні станції розташовані на рівнинних ділянках місцевості, але необхідно враховувати наявність забудови міського типу і значний вплив пристроїв контактної мережі та рухомого складу. Ці особливості враховані поправкою  $V_{ст} = 5\text{дБ}$ .

Для умов станцій у формулі (4.7) при розрахунку поправок  $\sum V_{\text{трас}}$  приймають  $V_{\text{рел}} = 0\text{дБ}$  як для трас другого типу за наявності впливу технічних споруд і рухомого складу. На перегонах залізниць необхідно враховувати більший вплив особливостей рельєфу місцевості  $V_{\text{рел}}$  на трасах різної складності [29].

На станціях електрифікованих ділянок залізниць значний вплив пристроїв контактної мережі та додаткових споруд, тому  $B_{км} = 8$  дБ. На перегонах вплив пристроїв контактної мережі істотно менше, що позначено меншими значеннями коефіцієнтів  $B_{км} = 1$  дБ для одноколійних або 2 дБ для двоколійних ділянок [16].

Залежно від місця розташування локомотивної антени на даху електровоза коефіцієнт зменшення рівня сигналу  $B_{л}$  має різні значення [4]. За найгірших умов маневрового радіозв'язку для мереж на станціях  $B_{л} = 9$  дБ.

Поправку  $B_{рн}$ , що враховує погіршення умов зв'язку в каналах з носивними радіостанціями, приймають  $B_{рн} = 4$  дБ на неелектрифікованих ділянках і  $B_{рн} = 2$  дБ на ділянках з електротягою [16].

Напруженість поля сигналу в мережах рухомого радіозв'язку є випадковою величиною за місцем і часом і врахована поправковим коефіцієнтом  $\sum B_{імов}$ . При аналізі просторових флуктуацій напруженості поля в каналах рухомого радіозв'язку розрізняють швидкі і повільні завмирання сигналу. Усі різновиди флуктуаційних процесів є незалежними і їхній спільний вплив визначають за сумою окремих показників [16, 29].

$$\sum B_{імов} = B_i + B_{місц} + B_{час}, \text{ дБ}, \quad (4.12)$$

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 й типів забудови, дБ;

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



При розрахунку каналів значення цих коефіцієнтів вибирають на рівні ймовірності не менше 90 %, для того щоб забезпечити якість зв'язку не нижче задовільного [16].

Коефіцієнт  $V_{\text{місц}}$  залежить від типу траси і його значення для рівня ймовірності 90 % (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

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

Тип траси	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$V_{\text{місц}}$ , 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 різних значень ймовірності подано у вигляді кривих на рис. 4.6 і 4.7 відповідно. На рис. 4.6 крива 1 наведена для електрифікованих, крива 2 – неелектрифікованих ділянок залізниць. На рис. 4.7 номери кривих відповідають типу траси.

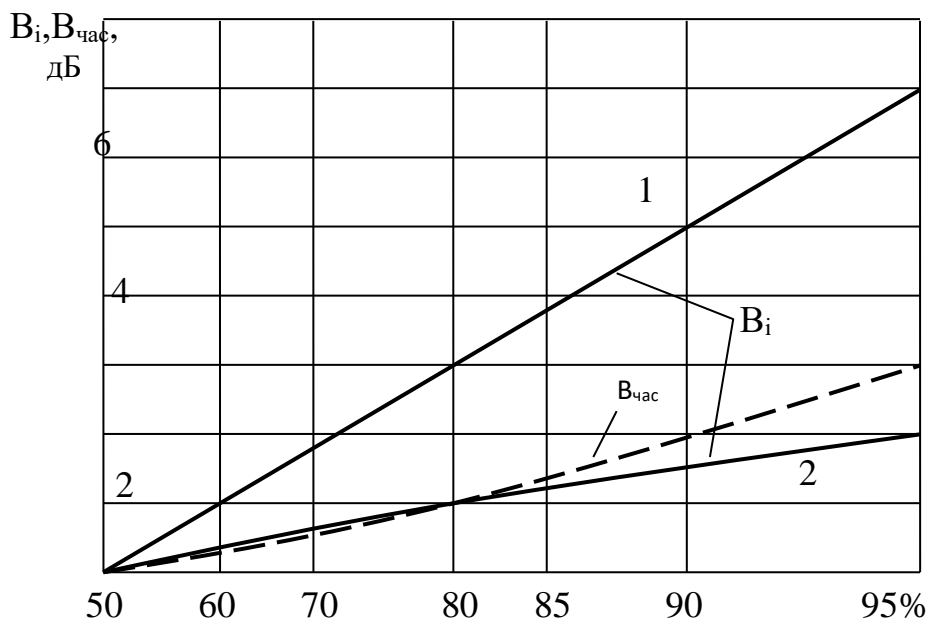


Рис. 4.6. Залежності коефіцієнтів  $V_i$ ,  $V_{\text{час}}$  від рівня ймовірності

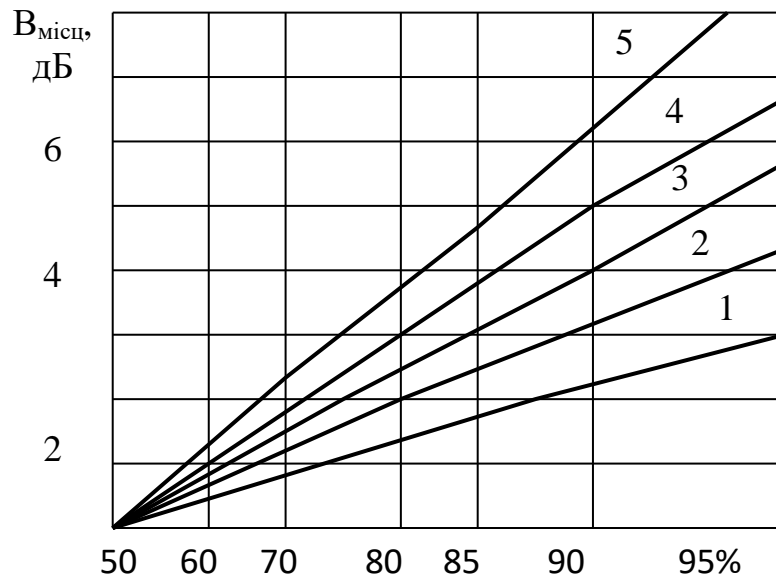


Рис. 4.7. Залежності коефіцієнта  $V_{місц}$  від типів трас

Набір коефіцієнтів, що визначають імовірнісні характеристики сигналів (надійність каналів радіозв'язку по полю)  $\Sigma V_{імов}$ , у каналах ПРЗ враховує більш широкий вплив рельєфу та рефракційних флуктуацій, а для каналів СРЗ він поданий як один еквівалентний коефіцієнт  $V_i$ . Станції розташовані на рівнинних ділянках залізниць, тому поправку  $V_{місц}$  не враховують. 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 [16, 29].

Значення інтегрального коефіцієнта  $V_i$  визначають за графіками на рис. 4.8 залежно від необхідної надійності каналу радіозв'язку. Крива 1 наведена для неелектрифікованих, крива 2 - електрифікованих станцій.

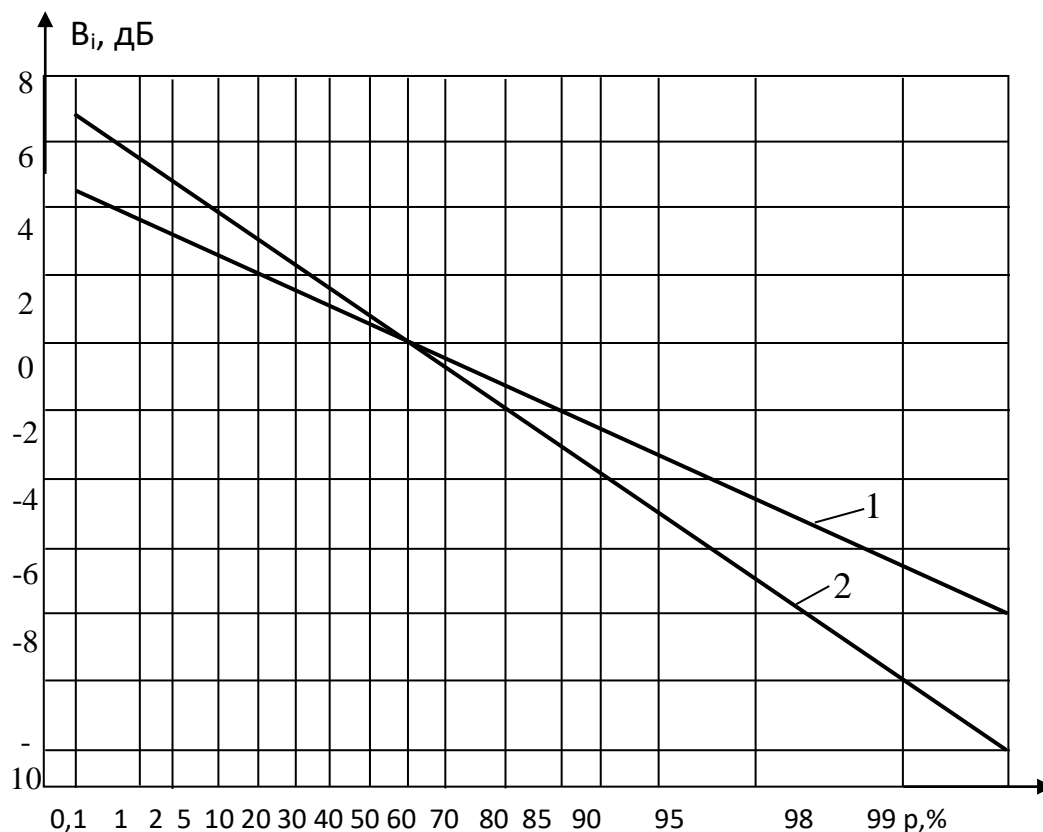


Рис. 4.8. Розподіл рівнів сигналів залежно від надійності радіоканалу по полю

### *Приклади розрахунків дальності радіозв'язку*

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

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача  $P = 10$  Вт; висота установлення антени  $h_1 = 20$  м; антена АС-4/2,  $G_1 = 4$  дБ; погонне загасання фідера РК-50-11  $\alpha_{\phi_1} = 0,15$  дБ/м;  $l_1 = 20$  м. Параметри возимої радіостанції: висота установлення антени  $h_2 = 5$  м; антена АЛ-2,  $G_2 = 0$  дБ; погонне загасання фідера РК-50-7-11  $\alpha_{\phi_2} = 0,15$  дБ/м;  $l_2 = 5$  м.

Розрахункова формула (4.7) для  $E_{2p}$  має вигляд

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

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

Визначимо значення поправкових коефіцієнтів у формулі (4.11):

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

де  $B_{\text{рел}} = 0$  дБ для траси типу 2 (табл. 4.5);

$B_{\text{км}} = 2$  дБ (для двоколієних електрифікованих ділянок);

$B_{\text{л}} = 8$  дБ (табл. 4.6);

$B_{\text{рн}} = 0$  дБ.

Визначимо значення поправкових коефіцієнтів у формулі (4.8):

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

де  $B_{\text{н}} = 10 \lg P = 10 \lg 10 = 10$  дБ;

$G_1 = 4$  дБ;

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

$\alpha_{\text{ф1}} l_1 = 1,5$  дБ;

$\alpha_{\text{ф2}} l_2 = 0,5$  дБ,

$B_{\text{АФУ БС}} = 0$  дБ.

Визначимо значення імовірнісних коефіцієнтів, виходячи з надійності радіозв'язку по полю 90 %, за формулою (4.12):

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

де  $B_{\text{міст}} = 3$  дБ (табл. 4.7) для траси типу 2;

$$B_i = 5 \text{ дБ};$$

$$B_{\text{час}} = 1,8 \text{ дБ}.$$

Визначимо розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в точці приймання:

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

Для напруженості поля  $E_{2p} = 33,8$  дБ, створеної передавачем стаціонарної радіостанції в точці приймання возимої радіостанції, за кривою 1 на рис. 4.5 визначимо очікувану дальність зв'язку:  $r = 10,4$  км.

**Приклад 3.** 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 установлення антени  $h_1 = 15$  м; антена з круговою діаграмою направленості АС  $\frac{1}{2}$  з  $G_1 = 0$  дБ. Погонне загасання фідера РК-50-11  $\alpha_{\phi 1} = 0,1$  дБ/м;  $l_1 = 15$  м. Параметри возимої радіостанції: висота установлення антени  $h_2 = 5$  м; антена АЛ-2,  $G_2 = 0$  дБ; погонне загасання фідера РК-50-7-11  $\alpha_{\phi 2} = 0,1$  дБ/м;  $l_2 = 5$  м.

Визначимо значення поправок, що входять у розрахункову формулу (4.7), 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 поправкових коефіцієнтів  $\sum V_{\text{трас}}$  для умов станцій

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

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

$$G_1 = 0 \text{ дБ};$$

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

$$\alpha_{\text{ф1}} l_1 = 1,5 \text{ дБ};$$

$$\alpha_{\text{ф2}} l_2 = 0,5 \text{ дБ},$$

$$B_{\text{АФУ БС}} = 0 \text{ дБ}.$$

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

У поправковий коефіцієнт  $\sum V_{\text{трас}}$  в умовах станцій внесено додаткове загасання  $V_{\text{ст}} = 5$  дБ порівняно з відкритою місцевістю. Це пов'язано з впливом технічних споруд, великої кількості рухомого складу, забудови міського типу тощо.

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

де  $V_{\text{рел}} = 0$  дБ для умов залізничних станцій;

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

$V_{\text{л}} = 9$  дБ;

$V_{\text{рн}} = 0$  дБ.

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

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

де  $B_{місц} = 0$  дБ для умов залізничних станцій;

$B_i = 7,7$  дБ для умов станцій на електрифікованих ділянках. Значення  $B_i$  визначено за кривою 1 на рис. 4.8 для імовірності (надійності по полю) 95 %;

$$B_{час} = 0 \text{ дБ.}$$

Тоді напруженість поля складе

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

За базовою кривою, що відповідає добутку висот установлення антен  $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$  на рис. 4.5, визначаємо дальність радіозв'язку:  $r = 4,2$  км.

Для умов електрифікації на постійному струмі у формулі (4.7) змінюється тільки значення  $U_{2мін}$ , тому

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

а дальність радіозв'язку складе 6,4 км.

#### **4.4. Особливості організації мереж поїзного технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць**

Для Українських залізниць питання організації мереж поїзного радіозв'язку в тунелях залізниць є актуальним. Понад 2000 км регіональної філії «Львівська залізниця» розташовані в складних умовах

Прикарпатського регіону. На полігоні Львівської залізниці знаходиться понад 7000 штучних споруд і 32 залізничних тунелі. Ці тунелі відіграють значну роль в організації залізничного сполучення з європейськими країнами.

У гектометровому діапазоні проблему забезпечення необхідної дальності в тунелях залізниць вирішують при використанні хвилевідних проводів. Високовольтні лінії, які використовують для передавання високочастотної енергії радіозв'язку на прилеглих перегонах, не заведені в тунелі. Для передавання енергії радіохвиль у гектометровому діапазоні в тунелях використовують однопровідні та двопровідні хвилеводи. За довжини тунелю до 300 м підвішують однопровідний хвилевід, за більшої довжини тунелів – двопровідний хвилевід.

Розрахунки дальності радіозв'язку здійснюють за загальною методикою розрахунків каналів у гектометровому діапазоні радіохвиль з напрямними лініями з відповідною заміною параметрів загасання (табл. 4.8).

Ефективною напрямною системою для організації радіозв'язку в підземних спорудах і тунелях є випромінюючі кабелі.

Таблиця 4.8

Параметри напрямних ліній

Тип напрямної лінії	Коефіцієнт загасання в кабелі $\alpha$ , дБ/км	Перехідне загасання $A_{пер0,5}$ , дБ
Однопровідний хвилевід у тунелі	12	38
Двопровідний хвилевід у тунелі	1,7	38
Випромінюючий кабель: - гектометровий діапазон - метровий діапазон	5,2 50	60,2 51,4



В ультракороткохвильових діапазонах використання відкритих провідних ліній для передавання енергії радіосигналів неможливе. Дальність безпосереднього поширення радіохвиль метрового і дециметрового діапазонів навіть у прямолінійних тунелях, не зайнятих рухомим складом, суттєво обмежена. Це є основною причиною відсутності УКХ радіозв'язку в тунелях залізниць, що не відповідає нормам Правил технічної експлуатації залізниць і вимогам з облаштування залізничних тунелів засобами зв'язку.

Випромінюючий кабель – це різновид радіочастотних коаксіальних кабелів з отворами в зовнішньому провіднику. Завдяки цьому випромінюючий кабель одночасно виконує дві функції: передавання сигналів до заданого місця приймання і функції приймально-передавальної антени завдяки випромінюванню та прийманню енергії радіохвиль.

Конструкція випромінюючого кабелю наведена на рис. 4.9.



Рис. 4.9. Конструкція випромінюючого кабелю

У загальному випадку конструкція випромінюючого кабелю складається з таких елементів:

- внутрішній провідник;

- зовнішній провідник;
- діелектрик;
- захисна оболонка.

Взагалі випромінюючі кабелі не розраховані на використання в області частот нижче 30 МГц. Але у зв'язку з використанням гектометрових радіохвиль на частотах 2,13 МГц для організації технологічного радіозв'язку на залізницях були проведені дослідження параметрів випромінюючих кабелів на цих частотах. Це має практичне значення, оскільки доцільно використовувати випромінюючі кабелі як спільну напрямну систему в каналах гектометрового і метрового діапазонів для організації дводіапазонних мереж поїзного радіозв'язку [30].

За результатами досліджень, коефіцієнт загасання випромінюючого кабелю в тунелі складає не більше  $\alpha_{\text{вк}} = 5,2$  дБ/км в гектометровому діапазоні на частоті 2,13 МГц і  $\alpha_{\text{вк}} = 50$  дБ/км в метровому діапазоні радіохвиль на частоті 151 МГц [30, 31].

Дальність стійкого радіозв'язку в одному плечі схеми складає 1,4 км. Загальна дальність радіозв'язку при використанні двоплечової схеми випромінюючого кабелю в УКХ діапазоні складає 2,8 км за надійністю по полю 95 %.

Запропонована схема дає змогу забезпечити необхідну дальність зв'язку, наприклад в умовах найдовшого в Карпатах Бескидського тунелю довжиною 1822 м.

#### **4.5. Розрахунок електромагнітної сумісності радіозасобів**

Під електромагнітною сумісністю (ЕМС) радіоелектронних засобів розуміють забезпечення умов їхньої одночасної спільної роботи без недопустимих взаємних завад. Розрахунок ЕМС передбачає визначення

необхідного просторового рознесення між антенами радіостанцій і частотного рознесення між робочими каналами радіомереж.

Умови ЕМС визначають між антенами стаціонарних радіостанцій, а можливість впливу носимих і мобільних радіостанцій не враховують.

При проектуванні радіомереж ураховують явища блокування та інтермодуляції в приймачах, які виникають під впливом основного випромінювання заважальних передавачів.

При блокуванні спостерігають зменшення рівня сигналу або співвідношення сигнал/шум на виході приймача внаслідок дії інтенсивної радіозавади. Параметром, який визначає сприйнятливість приймача до блокування, є його двосигнальна вибірковість  $S_2$ , вимірювана двосигнальним методом за одночасної дії корисного сигналу і завади.

Двосигнальна вибірковість, дБ,

$$S_2 = 20 \lg \left( \frac{U_{зав}}{U_c} \right), \quad (4.13)$$

де  $U_c$  – напруга корисного сигналу;

$U_{зав}$  – напруга заважального сигналу на частоті сусіднього каналу.

Збільшення частотного рознесення між корисним і заважальним сигналом  $\Delta f = |f_c - f_{зав}|$  веде до підвищення захищеності приймача.

Залежність двосигнальної вибірковості приймачів типових радіостанцій від частотного рознесення корисних сигналів і заважальних сигналів  $S_2(\Delta f)$  наведена на рис. 4.8 [23].

Така залежність встановлена на основі спеціальних досліджень використовуваних типових радіостанцій, оскільки ДСТУ 4384:2003 передбачає вимірювання вибірковості тільки на частоті сусіднього каналу.

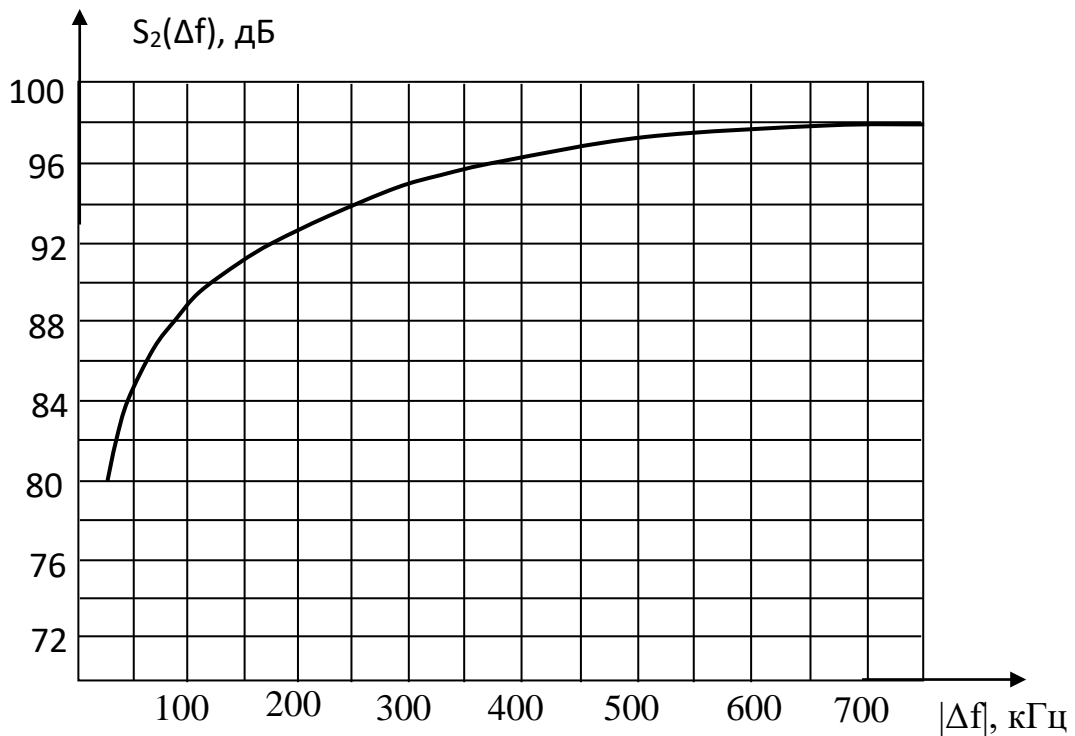


Рис. 4.10. Залежність двосигнальної вибірконості приймача від частотного рознесення корисного і заважального сигналів

Зважаючи на формулу (4.13), двосигнальну вибірконість також називають динамічним діапазоном з блокування. За мінімально допустимого рівня корисного сигналу  $U_{2\text{мін}}$  вплив завад буде найбільшим. Максимально допустимий рівень сигналу для цього випадку

$$U_{2\text{зав.доп.}} = S_2(\Delta f) + U_{2\text{мін}}, \text{дБ}. \quad (4.14)$$

Збільшення рівня корисного сигналу на вході приймача також підвищує захищеність приймача від завад. Але при розрахунках ЕМС виходять із мінімально допустимого рівня корисного сигналу, встановленого для радіомережі.

У табл. 2.5 відповідно до ДСТУ 4384:2003 наведені значення двосигнальної вибірконості. Залежно від кроку сітки частот для стаціонарних і возимих радіостанцій із рознесенням 12,5 кГц двосигнальна

вибірковість на частоті сусіднього каналу  $S_2 = 50$  дБ за робочих умов експлуатації [18], а при рознесенні каналів 25 кГц двосигнальна вибірковість складає  $S_2 = 60$  дБ. Тобто при зменшенні частотного рознесення каналів погіршуються умови забезпечення ЕМС. При  $S_2 = 50$  дБ заважальний сигнал не має перевищувати корисний у 316 раз, щоб уникнути недопустимого блокування, а при  $S_2 = 60$  дБ заважальний сигнал не має перевищувати корисний у 1000 раз.

Мінімальний рівень корисного сигналу складає  $U_{2, \min} = 14$  дБмкВ для ділянок змінного струму, а для ділянок постійного струму  $U_{2, \min} = 8$  дБмкВ. Тому допустимий рівень заважальних сигналів за відсутності недопустимого блокування становить  $U_{2, \text{зав. доп(БЛ)}} = 74$  дБ для змінного струму та  $U_{2, \text{зав. доп(БЛ)}} = 68$  дБ для ділянок постійного струму [16].

Необхідне просторове рознесення заважальної радіостанції буде залежати від умов поширення радіохвиль (приклади розрахунку просторового рознесення наведені нижче).

*Інтермодуляцією* називають явище виникнення завад на виході приймача при дії на його вході двох або більше заважальних радіосигналів. Інтермодуляція зумовлена нелінійними ефектами перетворення коливань двох і більше завад у тракці приймання з утворенням завади на робочій частоті.

Інтермодуляційно несумісними за складовими третього порядку вважають частоти  $f_1, f_2, f_3$ , якщо при їхній взаємодії можуть виникнути коливання робочої частоти

$$\begin{aligned} 2f_1 - f_2 &= f_{\text{роб}}; \\ f_1 + f_2 - f_3 &= f_{\text{роб}}. \end{aligned} \tag{4.15}$$

Порядок інтермодуляційних складових визначають за сумою множників при частотах  $f_1, f_2, f_3$ . Параметром, який визначає сприйнятливість приймача до інтермодуляційного впливу, є його інтермодуляційна вибірковість, вимірювана трисигнальним методом за одночасної дії корисного сигналу і двох завад.

$$S_3 = 20 \lg \left( \frac{U_{2,3}}{U_1} \right), \quad (4.16)$$

де  $U_1$  - напруга корисного сигналу;

$U_{2,3}$  – напруга заважальних сигналів.

Інтермодуляційні завади виникають у нелінійних колах преселектора і далі по каскадах радіоприймача поширюються, як і корисний сигнал, без додаткового ослаблення. Тому  $U_{2зав.дон(ін)}$  не залежить від частотного рознесення сигналів.

Максимально допустимий рівень заважальних сигналів для умов інтермодуляційного впливу визначають як

$$U_{2зав.дон(ін)} = S_3.$$

Для забезпечення електромагнітної сумісності радіомереж необхідно, щоб на вході приймачів рівні сигналів від заважальних радіостанцій не перевищували допустиме значення для певного виду впливів

$$U_{2зав} \leq U_{2зав.дон}. \quad (4.17)$$

Для усунення інтермодуляційного впливу частоти радіостанції, розташовані поблизу, необхідно вибирати інтермодуляційно сумісними, тобто при їхній взаємодії не має бути виконана умова (4.15). Якщо підібрати відповідні частоти неможливо, то виконують розрахунки необхідного територіального рознесення для інтермодуляційно несумісних частот виходячи з величини  $S_3$ .

На залізничних станціях розміщено значну кількість радіостанцій мереж станційного, поїзного і ремонтно-оперативного радіозв'язку. Це створює передумови для виникнення взаємних завад, здатних викликати порушення радіозв'язку.

Саме тому розрахунки ЕМС виконують для радіомереж, організованих на території залізничних станцій. При розрахунках ЕМС використовують графоаналітичний метод зі використанням експериментальних кривих поширення радіохвиль, отриманих для умов залізничних станцій і вузлів (рис. 4.11).

Криві на рис. 4.11 побудовані за різних значень добутку висот установлення антен  $h_1 h_2$  для умов неелектрифікованих ділянок залізниць; значення напруженості поля мають місце в 50 % випадків. Потужність передавача прийнято  $P_1 = 10$  Вт за  $R_{\text{прд}} = 50$  Ом, використовують антени з коефіцієнтами підсилення  $G_1 = G_2 = 0$  дБ відносно напівхвильового вібратора, загасання у фідерах  $\alpha_{\phi 1} l_1 = \alpha_{\phi 2} l_2 = 0$  дБ, .

При розрахунках ЕМС за умовами блокування сигналів розв'язують два типи задач:

- визначення необхідного просторового рознесення  $\Delta r$  між антенами стаціонарних радіостанцій виходячи з заданих робочих частот радіомереж  $f_1$  і  $f_2$  і відповідного частотного рознесення  $\Delta f = |f_1 - f_2|$ ;

- визначення необхідного рознесення робочих частот радіомереж  $\Delta f$  виходячи з заданої відстані між антенами стаціонарних радіостанцій  $\Delta r$ .

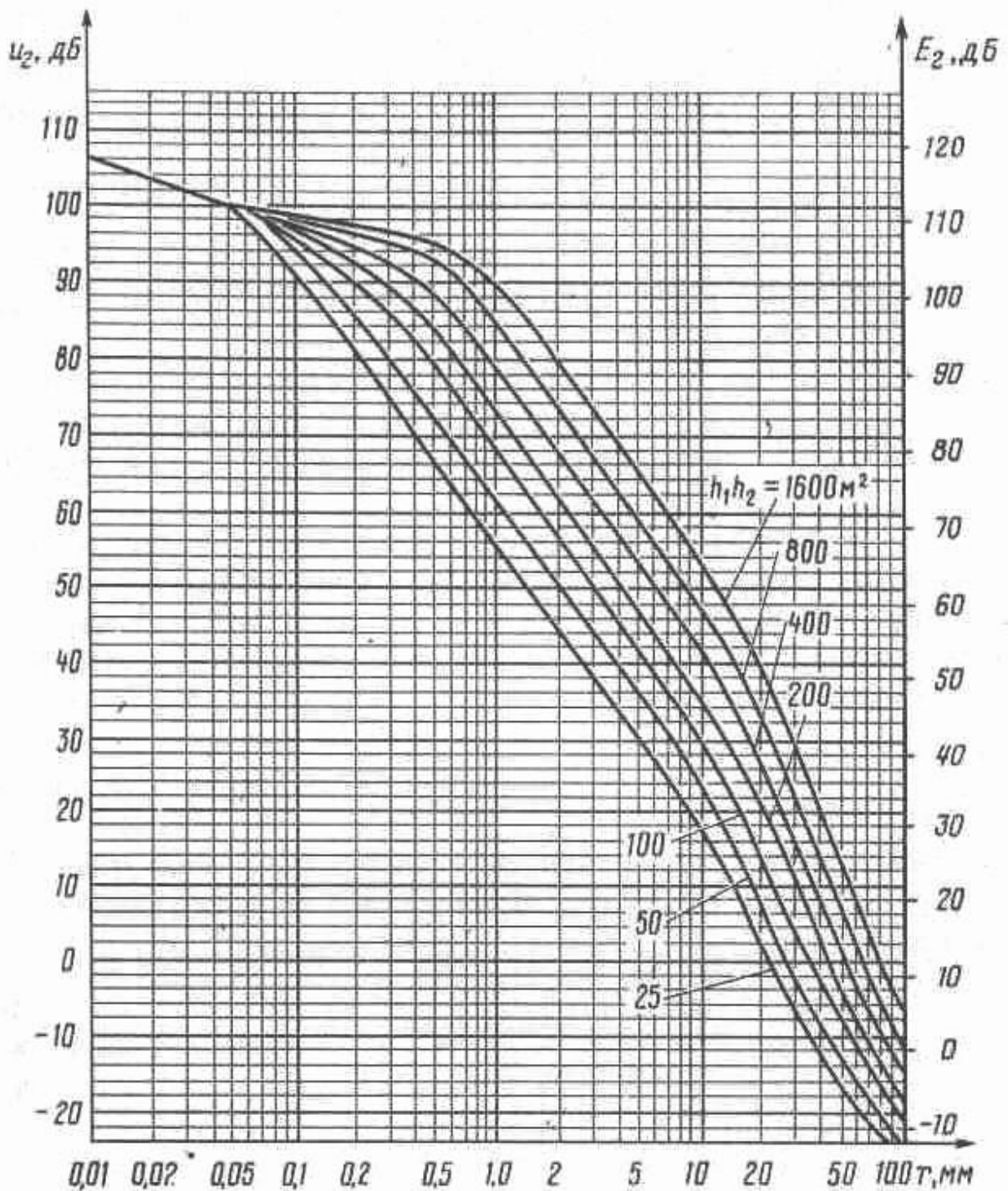


Рис. 4.11. Криві поширення радіохвиль для розрахунку зон обслуговування в станційних мережах

Задачі першого типу розв'язують у такій послідовності. Визначають рознесення робочих частот радіомереж  $\Delta f = |f_c - f_{зав}|$  і обчислюють допустимий рівень заважального сигналу за формулою (4.18). При цьому



значення вибірковості  $S_2(\Delta f)$  визначають за кривою (рис. 4.10) для заданого частотного рознесення  $\Delta f$ .

Наступним кроком визначають розрахунковий рівень заважального сигналу  $U_{2зав.р}$ , який приведено до кривих поширення радіохвиль на рис. 4.11:

$$U_{2зав.р} = U_{2зав.дон} + \sum B_{парам} + \sum B_{імов}. \quad (4.18)$$

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

$$\sum B_{парам} = -B_n - B_h - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2, \text{ дБ}, \quad (4.19)$$

де  $B_n$  – коефіцієнт, дБ, що враховує відмінність фактичної потужності передавача  $P$  від потужності  $P_1 = 10 \text{ Вт}$ , прийнятої при побудові графіків кривих поширення радіохвиль,

$$B_n = 10 \lg \frac{P}{P_1}, \text{ дБ};$$

$B_h$  – коефіцієнт, дБ, що враховує відмінність добутку висот установлення антен  $h_1 h_2$  від значення  $h'_1 h'_2$ , прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль,

$$B_h = 20 \lg \frac{h_1 h_2}{h'_1 h'_2}, \text{ дБ};$$

$G_1, G_2$  – коефіцієнти підсилення передавальної й приймальної антен (відносно напівхвильового вібратора), дБ;

$\alpha_1 l_1$  і  $\alpha_2 l_2$  – загасання, внесені фідерами передавальної і приймальної радіостанцій, дБ;

$\alpha$  – погонне загасання фідера, дБ/м;

$l$  – довжина фідера, м.

При розрахунках ЕМС через малу відстань між антенами стаціонарних радіостанцій, встановленими вище контактної мережі, суму поправок  $\sum V_{\text{трає}} = 0$  дБ.

При розрахунках просторового рознесення значення коефіцієнта  $\sum V_{\text{імов}} = V_i$  визначають тільки для інтерференційної складової, викликаной багатопроменевою структурою поля. Вплив рефракційних змін у тропосфері та зміни рельєфу місцевості не враховують. Значення коефіцієнта  $V_i$  визначають за графіками (рис. 4.8) для ймовірності перевищення заважальним сигналом допустимого рівня 5-10 % за видом тяги, що відповідає надійності забезпечення ЕМС по полю 90-95 %.

Відклавши значення  $U_{2\text{зав.р}}$  на осі ординат, по кривих поширення радіохвиль (рис. 4.11) для заданого добутку висот антен стаціонарних радіостанцій  $h_1 h_2$  на осі абсцис визначають їхнє необхідне просторове рознесення  $\Delta r$ , за якого заважальний сигнал не буде перевищувати допустиме розрахункове значення.

Розрахунок допустимого рознесення частот радіомереж  $\Delta f$ , виходячи з заданої відстані між антенами стаціонарних радіостанцій  $\Delta r$ , здійснюють у такій послідовності.

За кривими (рис. 4.11) визначають напругу заважального сигналу  $U_2$  виходячи з заданих висот установлення антен  $h_1 h_2$  і просторового рознесення між ними  $\Delta r$ .

Потім визначають реальний рівень заважального сигналу на вході приймача радіостанції з урахуванням конкретних параметрів антен, фідерів і необхідної надійності забезпечення ЕМС по полю шляхом вибору значення коефіцієнта  $V_i$ :

$$U_{2\text{ex.зав}} = U_2 - \alpha_{\phi 1} l_1 - \alpha_{\phi 2} l_2 + G_1 + G_2 + B_i - B_n. \quad (4.20)$$

Необхідне значення вибірності, достатнє для забезпечення умов ЕМС з блокування, визначають з урахуванням мінімально допустимого рівня корисного сигналу:

$$S_2(\Delta f) = U_{2_{\text{зав.зав}}} - U_{2_{\text{мін}}} \quad (4.21)$$

Частотне рознесення радіомереж для досягнення необхідного значення вибірності  $S_2(\Delta f)$  визначають за кривими рис. 4.8.

Для відстаней понад 30 км криві поширення радіохвиль подовжені з урахуванням рекомендацій ІТУ-R [6]. Координаційною відстанню називають мінімально допустиму відстань між антенами радіостанцій, які працюють на одній частоті без взаємних заважальних впливів. За реальних умов координаційна відстань складає 50-70 км.

Допустимий рівень напруги заважального сигналу, частота якого збігається з частотою настроювання радіостанції, приймають  $U_{2_{\text{зав.доп.коорд}}} = 0,3$  мкВ (-10 дБ) незалежно від виду тяги поїздів. За такого рівня виключено спрацьовування шумоподавлювача від сигналу заважальної станції, а також його прослуховування за наявності корисного сигналу з рівнями не менше  $U_{2_{\text{мін}}}$ .

Для визначення координаційної відстані обчислюють розрахунковий рівень заважального сигналу (рис. 4.11):

$$U_{2_{\text{зав.коорд.р}}} = \sum B_{\text{парам}} + \sum B_{\text{імов}} - 10. \quad (4.22)$$

Значення поправок  $\sum B_{\text{парам}}$  і  $\sum B_{\text{імов}}$  визначають аналогічно розглянутому раніше для формули (4.13). Поправку  $\sum B_{\text{трас}}$  і у цьому випадку приймають рівною нулю.

Потім для заданого добутку висот установлення антен стаціонарних радіостанцій  $h_1 h_2$  визначають необхідне значення координаційної відстані  $\Delta r_{\text{коорд}}$ .

**Приклад 4.** Антени стаціонарних радіостанцій перебувають на відстані 50 м одна від одної. Визначити, чи є достатнім це просторове рознесення при роботі радіостанції на частотах сусідніх каналів. Якщо необхідно, розрахувати допустиме частотне рознесення каналів.

Ділянка електрифікована змінним струмом, висоти установлення антен  $h_1 = 20\text{м}$ ,  $h_2 = 10\text{м}$ , довжина фідерів  $l_1 = l_2 = 20\text{ м}$ , коефіцієнти загасання коаксіального кабелю  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,15\text{ дБ/м}$ , коефіцієнти підсилення антен  $G_1 = G_2 = 0\text{ дБ}$ , коефіцієнт  $B_i = 4\text{ дБ}$  (рис. 4.8 крива 2 для  $p = 5\%$ ).

Визначаємо допустимий рівень заважального сигналу на вході приймача за формулою (4.14) для умов роботи радіостанцій на сусідніх каналах  $\Delta f = 25\text{ кГц}$ :

$$U_{2_{зав.дон}} = 80 + 14 = 94\text{ дБ.}$$

Розраховуємо допустиму напругу заважального сигналу на вході приймача, приведену до кривих поширення радіохвиль (рис. 4.9):

$$U_{2_{зав.p}} = 94 + 0,15 \cdot 20 - 0 - 4 + 0,15 \cdot 20 - 0 = 96\text{ дБ.}$$

Визначаємо необхідне просторове рознесення антен стаціонарних радіостанцій за кривими рис. 4.9 за  $h_1 h_2 = 20 \cdot 10 = 200\text{ м}^2$  і  $U_{2_{зав.p}} = 96\text{ дБ}$ :

$$\Delta r_{доп} = 0,15\text{ км.}$$

Необхідна допустима відстань зближення антен стаціонарних радіостанцій при роботі на сусідніх каналах становить  $\Delta r_{доп} = 0,15\text{ км}$ , що більше наявної відстані між антенами  $\Delta r = 50\text{ м}$ . Щоб уникнути недопустимих заважальних впливів, слід збільшити частотне рознесення між каналами.

Визначаємо напругу заважального сигналу на вході приймача радіостанції за формулою (4.20) за  $\Delta r = 50\text{ м}$  і  $h_1 h_2 = 200\text{ м}^2$ ,  $U_2 = 100\text{ дБ}$  за кривими рис. 4.11:

$$U_{\text{ex зав}} = 100 - 0,15 \cdot 20 + 0 + 4 - 0,15 \cdot 20 + 0 = 98 \text{ дБ.}$$

Визначаємо необхідний динамічний діапазон з блокування:

$$S_2(\Delta f) = 98 - 14 = 84 \text{ дБ.}$$

За кривою рис. 4.10 визначаємо необхідне значення динамічного діапазону з блокування  $S_2 = 84$  дБ за частотного рознесення  $\Delta f = 50$  кГц.

Збільшення частотного рознесення між корисними сигналами і заважальними сигналами  $\Delta f = |f_c - f_{\text{зав}}|$  призводить до збільшення захищеності приймача.

### Контрольні запитання

1. Основні параметри антенно-фідерних трактів.
2. Які причини застосування горизонтальної частини в антени гектометрового діапазону?
3. Методи настроювання антен гектометрового діапазону.
4. Призначення антенно-узгоджуючих пристроїв у ПРЗ гектометрового діапазону.
5. Причини застосування напрямних ліній у ПРЗ гектометрового діапазону.
6. Типи напрямних ліній, застосовуваних у ПРЗ гектометрового діапазону.
7. Які фактори впливають на вибір напрямних ліній того чи іншого типу?
8. Які вимоги встановлені для дальності поїзного радіозв'язку?
9. Призначення високочастотних загороджувачів у складі лінійних пристроїв і схемах збудження ПРЗ гектометрового діапазону.

10. Як залежить дальність радіозв'язку від виду тяги?
11. Особливості поширення радіохвиль метрового діапазону в умовах залізниць.
12. Методика розрахунку дальності дії каналів технологічного радіозв'язку на залізничних станціях.
13. Що таке надійність каналу радіозв'язку по полю?
14. Що таке криві поширення радіохвиль?
15. Переваги аналітичних методів розрахунку дальності.
16. Методика розрахунку зон обслуговування на перегонах.
17. Характер і причини просторових флуктуацій сигналів у каналах рухомого радіозв'язку.
18. Причини часових флуктуацій у каналах радіозв'язку.
19. Від чого залежить дальність дії радіозв'язку?
20. За яких умов побудовано криві поширення радіохвиль у розрахунках зон обслуговування?
21. Основні причини виникнення взаємних завад за одночасної роботи радіостанцій різних радіомереж.
22. Значення терміна «забезпечення електромагнітної сумісності радіотехнічних засобів».
23. Які частоти радіомереж називають інтермодуляційно сумісними?
24. Які види взаємного впливу враховують при визначенні ЕМС радіомереж технологічного радіозв'язку залізниць?
25. Що таке необхідне рознесення частот радіомереж за умов забезпечення ЕМС?
26. Що таке необхідне просторове рознесення антен стаціонарних радіостанцій за умов ЕМС?
27. Що таке координаційна відстань?

## **5. ЕКСПЛУАТАЦІЯ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ РАДІОЗАСОБІВ**

### **5.1. Організація технічної експлуатації радіозасобів технологічного радіозв'язку**

Основним завданням підрозділів і працівників є забезпечення високоякісного функціонування засобів технологічного радіозв'язку відповідно до призначення. Штатний персонал дистанцій сигналізації та зв'язку АТ «Укрзалізниця» виконує технічне обслуговування засобів телекомунікацій.

Технічне обслуговування – технологічний процес, що поєднує комплекс робіт для підтримання справності, працездатності об'єкта обслуговування при його використанні за призначенням. Включає поточне обслуговування, контроль параметрів і ремонт з метою усунення несправностей.

Вид технічного обслуговування – спосіб організації технічного обслуговування, який встановлює комплекс основних правил для визначення набору, обсягу й періодичності регламентних робіт.

Застосовують три види обслуговування:

- регламентне технічне обслуговування – періодичність регламентних робіт встановлена єдиною для всіх однотипних пристроїв, незалежно від їхнього технічного стану;

- обслуговування за технічним станом – контроль технічного стану пристроїв періодичний, а обсяг решти операцій встановлений за результатами цього контролю та аналізу статистики відмов за попередній період;

- відновлювальне технічне обслуговування – регулярні регламентні роботи не проводять, а здійснюють лише оперативне відновлення роботи

пристроїв після їх відмов у роботі й проведення окремих робіт із підвищення надійності техніки.

Системою технічного обслуговування називають сукупність взаємозалежних виконавців, засобів і документації технічного обслуговування, необхідних для підтримки і відновлення справного стану пристроїв, що обслуговують.

На залізницях України технічне обслуговування локомотивних і стаціонарних радіостанцій покладено на дистанції сигналізації та зв'язку. Основним документом є технологічний процес. Технологічний процес встановлює періодичність, порядок і обсяги виконання основних видів робіт для утримання радіостанцій у справному стані, запобігання несподіваним відмовам радіозв'язку. Технологічний процес призначений для електромеханіків дистанцій сигналізації та зв'язку, які займаються обслуговуванням і ремонтом апаратури радіозв'язку, та інженерно-технічних працівників служби сигналізації та зв'язку залізниці [17].

Технічне обслуговування радіостанцій включає дві групи робіт: поточне обслуговування й контроль на місцях встановлення, ремонт і комплексну перевірку в умовах контрольних пунктів або контрольно-ремонтних пунктів радіозв'язку.

Усі роботи з технічного обслуговування радіостанцій слід виконувати за затвердженим план-графіком технологічного процесу в обсязі та порядку, передбачених технологічним процесом.

Окрему групу складають нормативні документи з технічного обслуговування радіомереж, наприклад «Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Оріон Р-4» та «Оріон РС-6», «Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Kenwood ТК-2260», «Kenwood ТК-7060», Інструкція з технічного обслуговування напрямних ліній (хвилеводів) поїзного радіозв'язку та ін. [13, 17].

У технологічних картах наведені види робіт і їх виконавці, перераховані основні операції і послідовність їх виконання, наведені



прилади, інструменти і матеріали, необхідні для виконання операцій, а також вказівки з використання контрольно-вимірювальної апаратури.

Загалом експлуатація радіоелектронних засобів – цільове використання радіоелектронних засобів відповідно до призначення, що включає надання послуг, технічне обслуговування та ремонт.

Експлуатація мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті здійснюється на основі цілої низки відомчих нормативних документів [12, 13]: правила експлуатації поїзного радіозв'язку; інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку.

Правила експлуатації поїзного радіозв'язку визначають порядок експлуатації і обслуговування засобів поїзного радіозв'язку з використанням стаціонарних, возимих (локомотивних) і носимих радіостанцій, що працюють у діапазонах гектометрових (ГМХ) і метрових (МХ) хвиль. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку є обов'язковими для всіх працівників залізничного транспорту, що користуються пристроями поїзного радіозв'язку і забезпечують їхнє технічне обслуговування.

Засобами поїзного радіозв'язку користується багато працівників різних служб, тому всі працівники, причетні до експлуатації і технічного обслуговування пристроїв і радіостанцій ПРЗ, повинні дотримуватися вимог Правил експлуатації поїзного радіозв'язку, у тому числі:

- начальники і заступники начальників дистанцій сигналізації та зв'язку;
- начальники і заступники начальників локомотивних депо;
- начальники і заступники начальників станцій;
- чергові по станціях, локомотивних депо, переїзду;
- поїзні, локомотивні і енергодиспетчери, станційні і маневрові диспетчери;

- машиністи і помічники машиністів;
- старші електромеханіки радіозв'язку та інші.

Інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку відповідно до вимог Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України ЦД-0058 визначає:

- порядок експлуатації та обслуговування засобів маневрового та гіркового радіозв'язку з використанням стаціонарних, локомотивних і носимих радіостанцій (засобів радіозв'язку), пристроїв двостороннього паркового зв'язку;

- відповідальність посадових осіб за правильне використання та збереження засобів маневрового і гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку.

Інструкція є обов'язковою для всіх працівників залізничного транспорту, що користуються радіозасобами та забезпечують їхнє технічне обслуговування.

На додачу до цієї Інструкції, враховуючи місцеві умови та наявне технічне обладнання, на станціях розроблюють місцеві Інструкції, затверджені начальником дирекції залізничних перевезень.

Контролюють параметри технологічного радіозв'язку на етапах введення в експлуатацію системи поїзного радіозв'язку (приймальні випробування) і в процесі експлуатації (періодичні і контрольні випробування).

Приймальні випробування системи технологічного радіозв'язку передбачають вимірювання електричних параметрів, контроль функціонування і відповідність вимогам ТЗ на систему.

Відповідно до вимог Інструкції з утримання технічної документації на пристрої провідного зв'язку, радіозв'язку та пасажирської автоматики складають паспорти мереж технологічного радіозв'язку.

На кожен дільницю (диспетчерське коло) поїзного радіозв'язку, а також на пристрої станційного радіозв'язку та паркового зв'язку гучномовного оповіщення оформлюють технічні паспорти. Паспорт містить основні характеристики радіозасобів, зазначені в дозволі на експлуатацію та характеристики радіомереж [32].

Паспорт станційного радіозв'язку додатково включає загальну характеристику мереж СРЗ на станції (призначення, схему організації, кількість радіостанцій, встановлених на локомотивах, і їхні типи), план розміщення апаратури, схеми електроживлення та необхідну дальність радіозв'язку.

Паспорт поїзного радіозв'язку має містити схему організації поїзного радіозв'язку диспетчерського кола, схему підключення пристроїв на розпорядчій станції, схему електроживлення, дані про розрахункову і фактичну дальність радіозв'язку.

При організації експлуатації важливим документом є частотний план технологічного радіозв'язку. Особливості чинного частотного плану і рекомендації з розподілу частот розглянуто в розд. 1.

## **5.2. Технологічні процеси обслуговування радіозасобів**

Обов'язковою умовою забезпечення безперебійної дії та високої якості зв'язку є ефективне технічне обслуговування [33]. Цей фактор набуває особливого значення для систем залізничного технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами, де основна частина апаратури знаходиться на локомотивах і працює у важких умовах без постійного нагляду спеціалістів. Стаціонарні радіостанції знаходяться в дещо кращих умовах, але теж працюють без постійного нагляду [17].

Вибір методу технічного обслуговування технологічного радіозв'язку суттєво обмежений, тому що це системи високої надійності, які

використовують для забезпечення безпеки руху поїздів. За таких умов відновлювальний метод не забезпечує безперервності і якості функціонування радіомереж, використовуваних для оперативного управління перевезеннями. Обслуговування за технічним станом передбачає постійний нагляд і контроль працездатності обладнання. На сьогодні воно практично не реалізоване на залізницях.

Фактично застосовують регламентно-профілактичний метод.

На залізницях склалася випробувана система технічного обслуговування засобів радіозв'язку [17, 34]:

- періодична перевірка основних параметрів радіостанцій в умовах контрольно-ремонтних пунктів радіозв'язку;
- періодична оперативна перевірка працездатності радіостанцій і якості зв'язку при проведенні контрольних сеансів зв'язку;
- експлуатаційний контроль каналів радіозв'язку безпосередньо при проїзді вагона-лабораторії радіозв'язку вздовж перегонів залізниць.

Технічне обслуговування локомотивних радіостанцій, стаціонарних радіостанцій разом із антенно-фідерними пристроями, а також лінійних пристроїв, якими оснащені напрямні лінії, покладено на дистанції сигналізації та зв'язку, а на локомотивні депо – технічне обслуговування локомотивних антен, антенних стійок, прохідних ізоляторів, міжблочного електричного монтажу, пристроїв електроживлення, протизавадних пристроїв, установлених на рухомому складі.

Технічне обслуговування напрямних ліній, використовуваних для організації каналу ПРЗ у гектометровому діапазоні, покладено на дистанції електропостачання і дистанції сигналізації та зв'язку.

Структура технічного обслуговування радіозасобів у дистанції сигналізації та зв'язку включає контрольні пункти (КП) ПРЗ при локомотивних депо, контрольно-ремонтні пункти (КРП) з ремонту, регулювання й настроювання апаратури, лінійні підрозділи, що

обслуговують стаціонарні і лінійні пристрої, інші службово-технічні приміщення дистанцій, де знаходяться засоби радіозв'язку.

Електромеханіки, які обслуговують лінійні кола поїзного диспетчерського зв'язку, проводять один раз на 10 днів через розпорядчу станцію перевірку радіозв'язку з локомотивами, через кожен стаціонарну радіостанцію і стаціонарних радіостанцій між собою.

Електромеханік контрольних пунктів перевіряє роботу радіостанції з відміткою про справність у маршрутному листі машиніста при кожному виході локомотива під поїзди.

Основною базою технічного обслуговування пристроїв залізничного радіозв'язку є контрольні-ремонтні пункти (КРП) дистанцій сигналізації та зв'язку. На КРП проводять регламентні і ремонтні роботи для возимих і стаціонарних радіостанцій ПРЗ, контроль їхніх параметрів, ведуть облік технічного стану і пошкоджень апаратури. Регламентні роботи проводять відповідно до вимог технологічних процесів. Контрольно-ремонтні пункти мають підмінний фонд радіозасобів, оснащені вимірювальними приладами та мають висококваліфікований персонал.

Електромеханік КРП радіозв'язку зобов'язаний проводити планову перевірку, ремонт і налаштування стаціонарних, локомотивних і носимих радіостанцій, розпорядчих станцій і лінійних пристроїв відповідно до технологічних процесів обслуговування. Основні параметри вимірюють відповідно до ДСТУ для кожної радіостанції один раз на півтора року, а також за необхідності після ремонту.

Лінійний електромеханік радіозв'язку зобов'язаний проводити огляд і перевірку дії стаціонарних пристроїв радіозв'язку відповідно до графіка технологічного процесу один раз на квартал. Із заданою періодичністю блоки стаціонарних радіостанцій знімають і доставляють на КРП для планового вимірювання параметрів і технічного обслуговування.

Комплексну перевірку роботи пристроїв ПРЗ здійснює дорожня лабораторія зв'язку при проїзді по дільниці у вагоні-лабораторії з

перевіркою працездатності радіостанцій і вимірюванням рівнів корисного сигналу і радіозавад. На основі результатів вимірювань виявляють ділянки з низьким рівнем сигналів, а також місця з високими рівнями радіозавад, після чого вживають відповідних заходів з усунення недоліків.

Але сучасне вимірювальне обладнання вагонів-лабораторій має обмежені функціональні можливості, що не дає змогу вирішувати завдання автоматизації експлуатаційного контролю.

### **5.3. Удосконалення експлуатаційного контролю радіозасобів**

Застосовуваний регламентно-профілактичний метод має деякі недоліки і є затратним. Профілактичні перевірки не дають змогу прогнозувати стан обладнання, а лише фіксують несправності апаратури. При періодичних перевірках виявляють мало пошкоджень, незважаючи на великі експлуатаційні витрати.

Під радіочастотним контролем розуміють комплекс технічних заходів з вимірювання параметрів радіоканалів і визначення характеристик радіосигналів, які діють у відповідних смугах радіочастот [1, 35]. Радіочастотний моніторинг розглядають не тільки як процес вимірювання окремих параметрів радіозасобів, а і збирання, оброблення, збереження та аналіз даних про параметри випромінювання і можливість прогнозування стану обладнання. Саме впровадження елементів радіомоніторингу є ефективним засобом отримання об'єктивної інформації про стан радіомереж і вжиття заходів із забезпечення їхньої необхідної надійності. Отже, радіочастотний моніторинг – процедура вищого рівня, ніж радіочастотний контроль.

Значні обсяги виконуваних вимірювань, необхідність обробки, аналізу і тривалого зберігання та співставлення результатів вимірювань

потребують автоматизації процедур контролю якості каналів технологічного радіозв'язку.

Нові можливості при створенні вимірювальних комплексів для вагона-лабораторії дає застосування сучасних вимірювальних засобів, комп'ютерного управління комплексом і технологій геоінформаційних систем. Це дасть змогу поліпшити якісні показники функціонування каналів технологічного радіозв'язку шляхом підвищення точності, вірогідності і розширення переліку контрольованих параметрів, прогнозування їхнього виходу за рамки допусків для своєчасного реагування. Причому комплекс обладнання «вагона-лабораторії» має бути розрахований на здійснення моніторингу як сучасних, так і перспективних систем радіозв'язку.

Комплекс може бути реалізований на основі сучасних багатофункціональних вимірювальних засобів із високою чутливістю, використання геоінформаційних технологій і програмного управління роботою комплексу для автоматизації процедур.

У роботі [35] розроблено пропозиції зі створення сучасного автоматизованого вимірювального комплексу вагона-лабораторії, який забезпечує вирішення всіх завдань радіочастотного моніторингу поїзного радіозв'язку.

Для реєстрації координат точки вимірювання в складі вимірювального комплексу має бути система визначення координат шляху. У розроблюваному комплексі пропонується вирішення такого завдання з використанням сучасних технологій геоінформаційних систем (ГІС). Сучасні ГІС дають можливість оперативно отримувати візуальне подання картографічних даних із різним інформаційним навантаженням. Основу технологій ГІС складають електронні карти місцевості з необхідною деталізацією і тематикою [35].

ГІС для розроблюваного вимірювального комплексу вагона-лабораторії має забезпечити побудову маршруту руху, зображення реального місцезнаходження вагона-лабораторії на карті-схемі залізниці в поточний момент часу з використанням навігаційної супутникової системи, деталізацію станцій і перегонів по маршруту руху.

Основою АРМ є персональний комп'ютер зі спеціалізованим програмним забезпеченням. АРМ забезпечує функції загального управління роботою АВК РМ, підготовку та введення вхідних даних, здійснення процедур вимірювання і тестування системи, обробку результатів вимірювання, візуалізацію стану системи і результатів вимірів, архівацію, підготовку та видачу звітних документів.

Впровадження таких систем сприятиме удосконаленню системи експлуатації та технічного обслуговування та підвищенню надійності функціонування мереж технологічного радіозв'язку.

#### **5.4. Вимоги з безпеки при технічному обслуговуванні радіозасобів**

При виконанні робіт із технічного обслуговування радіозасобів кожен виконавець повинен дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України ЦШ-0030, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів НПАОП 40.1-1.21-98, інших чинних правил й інструкцій з охорони праці, пожежної безпеки, виробничої санітарії, встановлених для роботи працівника. Робочі місця мають бути забезпечені інструкціями з охорони праці для працівників відповідних професій і при виконанні окремих робіт, які діють на підприємстві [36].

Працівники дистанцій сигналізації та зв'язку, які обслуговують і ремонтують радіостанції, при прийнятті на роботу і періодично в процесі



роботи повинні проходити навчання і перевірку знань згідно з вимогами Типового положення про порядок проведення навчання, перевірки знань з питань охорони праці НПАОП 0.00-4.12-05. Допуск до роботи без навчання і перевірки знань із питань охорони праці заборонено.

Усі використовувані інструменти та пристосування мають бути перевірені, випробувані у встановлені нормативними документами терміни. Засоби виміральної техніки підлягають повірці або калібруванню відповідно до вимог ДСТУ 2708 і ДСТУ 3989 залежно від сфери застосування.

Особливу увагу слід приділяти роботам, пов'язаним із настроюванням антенно-фідерних трактів стаціонарних радіостанцій, хвилеводами, підвішеними на опорах контактної мережі або ліній ВЛ, роздільними конденсаторами, узгоджувальними та запірними контурами. При проведенні робіт необхідно користуватись Інструкцією з технічного обслуговування напрямних ліній (хвилеводів) поїзного радіозв'язку ЦШ-0047.

Увесь персонал, задіяний на обслуговуванні та ремонті радіостанцій, повинен мати відповідну виконуваним роботам групу з електробезпеки, у встановлені терміни проходити медичні огляди, інструктажі з охорони праці при експлуатації електроустановок, теоретичне та практичне навчання способам надання першої медичної допомоги, прийомам звільнення від електричного струму.

Обслуговування пристроїв радіозв'язку на локомотиві можливе тільки після одержання на це дозволу машиніста. При цьому заборонено:

- торкатися струмоведучих частин апаратури;
- підніматися на локомотив і сходити з нього під час руху;
- виконувати огляд антенних пристроїв і ремонт радіостанції під час руху локомотива;

- підніматися на дах локомотива для виконання робіт при перебуванні локомотива під контактною мережею, яка не вимкнена та не заземлена.

Під час настроювання та огляду апаратури радіозв'язку не можна торкатися її струмоведучих частин. Ремонт апаратури слід проводити при вимкненій напрузі.

Роботи, пов'язані з настроюванням антенного тракту стаціонарної радіостанції, за індуктивного засобу збудження хвилевідних систем проводять з обов'язковим заземленням збуджуючого проводу у випадку відключення його від заземлювальних пристроїв.

Хвилевідний провід поїзного радіозв'язку, підвішений на опорах контактної мережі або опорах ВЛ-10 кВ, вважають таким, що знаходиться під високою напругою, і при обслуговуванні роздільних конденсаторів, узгоджувальних і запірних контурів, резисторів та інших пристроїв, які використовують для його підключення, необхідно дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-1.21.

Виконувати роботи, пов'язані з обслуговуванням пристроїв хвилевідного проводу, а також проводів і пристроїв гучномовного сповіщення, розташованих на опорах контактної мережі, допускається тільки за нарядом з дозволу енергодиспетчера та в присутності працівника дистанції електропостачання.

Працівники, які обслуговують напрямні (хвилевідні) лінії, повинні мати для забезпечення безпечного виконання робіт відповідні захисні засоби і пристосування (діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, інструмент з ізолюючими держаками).

До початку роботи керівник зобов'язаний безпосередньо на робочому місці провести інструктаж працівників і перевірити справність захисних засобів, пристосувань та інструменту, а в процесі роботи вести постійний нагляд за безпечним виконанням робіт.

Настроювання антенно-узгоджувальних пристроїв при індуктивному збудженні напрямних ліній допускають виконувати за наявності напруги в напрямних лініях. Настроювання антенно-узгоджувальних пристроїв у схемах підключення стаціонарних радіостанцій до проводів ПЛ за допомогою конденсаторів зв'язку слід проводити при знятій нарузі і за відсутності заземлювальних штанг на проводах ПЛ. Для виконання зазначених робіт має бути розроблена інструкція з охорони праці підприємства.

Перед виконанням робіт на хвилевідних пристроях останні слід заземлити заземлювальними штангами по обидва боки від місця робіт.

Перед підніманням на опорі необхідно переконатися в цілісті спусків заземлення, а також наявності з'єднання запірних і узгоджувальних контурів із проводами заземлення. Час виконання роботи на висоті має бути мінімальним, для чого необхідно провести підготовчу роботу щодо вибору драбини відповідної довжини, інструменту і необхідних матеріалів.

Під час роботи на опорі слід розташовуватися так, щоб не випускати з уваги найближчі проводи, що знаходяться під напругою.

Категорично заборонено наближатися до проводів ПЛ, ДПР і контактної мережі на відстань менше 2 м.

На фідерних радіотрансляційних лініях напругою до 120 В дозволено працювати без зняття напруги, але в діелектричних рукавицях та інструментом з ізолюючими держачками.

Роботи на фідерних радіотрансляційних лініях напругою 240 В має виконувати бригада не менш ніж із двох осіб за розпорядженням особи, уповноваженої на це, і тільки після зняття напруги.

Працювати на цих лініях дозволено тільки в діелектричних рукавицях, а за підвищеної вологості на всіх лініях – і в діелектричному взутті.

Особи, які встановлюють антени, повинні мати нековзне взуття, за необхідності – запобіжні пояси. Не допускають роботу з ручним електроінструментом із приставних драбин.

Драбини мають бути такої довжини, щоб працівник міг стояти не вище третьої сходинки, якщо рахувати зверху. Не дозволено працювати на одній драбині двом і більше працівникам одночасно.

Під час проведення монтажних робіт і установа радиопаратури, що пов'язано з підніманням на висоту одного метра і вище, необхідно вжити заходів щодо запобігання падіння працівників з висоти.

Металеві щогли і вежі мають бути обладнані драбинами з огороженнями для піднімання верхолазів.

У випадках, коли використовувати драбини неможливо, для піднімання верхолаза, а також антен і вантажів на щогли слід застосовувати спеціальні піднімальні пристрої.

Роботи з техніки безпеки та охорони праці в КП та КРП організують начальник ділянки та старший електромеханік, до обов'язків яких входять проведення занять із вивчення правил безпечного ведення робіт і контроль за дотриманням цих правил; перевірка справності обладнання захисних засобів і пристроїв із техніки безпеки; забезпечення ділянки робіт правилами, інструкціями з техніки безпеки.

### **Контрольні запитання**

1. Види систем технічного обслуговування засобів радіозв'язку.
2. Завдання технічного обслуговування засобів технологічного радіозв'язку.
3. Зміст Технологічного процесу обслуговування.
4. Завдання контрольних пунктів поїзного радіозв'язку.
5. Завдання контрольно-ремонтних пунктів поїзного радіозв'язку.

6. Які підрозділи залізниць забезпечують технічне обслуговування систем технологічного радіозв'язку?
7. Основні завдання вагонів-лабораторії поїзного радіозв'язку.
8. Основні завдання експлуатаційного контролю засобів технологічного радіозв'язку.
9. Завдання радіомоніторингу мереж технологічного радіозв'язку.
10. Переваги розроблюваного перспективного автоматизованого вимірювального комплексу.
11. Обов'язки лінійних електромеханіків поїзного радіозв'язку.
12. Основні небезпечні фактори при обслуговуванні засобів технологічного радіозв'язку.
13. Вимоги безпеки при обслуговуванні локомотивних радіостанцій.
14. Складові паспорта радіомереж.

## Бібліографічний список

1. Слободянюк П. В., Благодарний В. Г., Ступак В. С. Довідник з радіомоніторингу. Ніжин: Тов «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. 588 с.

2. Про електронні комунікації: Закон України від 16.12.2020 р. № 1089-IX із змінами та доповненнями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text>.

3. Про національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку: Закон України від 16.12.2021 р. № 1971-IX із змінами та доповненнями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1971-20#Text>.

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

5. Порядок виконання та надання розрахунку електромагнітної сумісності для загальних користувачів: затв. Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку від 03.08.2022 р. № 133. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1340-2023-%D0%BF#Text>.

6. Recommendation ITU-R P.1546-3. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. 2007. 57 с.

7. Порядок ведення реєстру присвоєнь радіочастот загальних користувачів: затв. Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку від 17.08.2022 р. № 149. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1134-22#Text>.

8. Реєстр радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, що можуть застосовуватися на території України в смугах радіочастот загального користування (станом на 26.05.2020 р). URL: <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=59&id=4182&language=uk>.

9. Правила технічної експлуатації залізниць України / Міністерство транспорту України. ЦРБ 0004. Київ: «Транспорт України», 2007. 256 с.

10. ЦШ-0049. Інструкція з експлуатації засобів маневрового та гіркового радіозв'язку, пристроїв двостороннього паркового зв'язку. Київ: Тов «Швидкий рух», 2007. 37 с.

11. Правила експлуатації поїзного радіозв'язку: затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 24.09.2007 р. № 452-Ц. Київ: Тов «Видавничий дім «САМ», 2007. 45 с.

12. ЦД-0058. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: затв. Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.08.2005 р. № 507. Київ: Тов «Швидкий рух», 2005. 32 с.

13. ЦШ-0047. Інструкція з технічного обслуговування направляючих ліній (хвилеводів) поїзного радіозв'язку. Київ: Тов «Швидкий рух», 2007. 22 с.

14. Про впровадження каналної сітки радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону: Рішення НКРЗІ № 411 від 19.10.2006 р. URL: <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=59&id=4182&language=uk>.

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

16. ЦШ-0058. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку / Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.

17. Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Оріон РВ-4», «Оріон РС-6». Київ, 2008. 207 с.
18. ДСТУ 4184:2003. Радіозв'язок. Терміни та визначення. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. Київ, 2003. 50 с.
19. Єлізаренко А. О. Елементи радіоприймальних пристроїв. Харків: УкрДУЗТ, 2024. 52 с.
20. СОУ 45.020-00034045-02. Вироби залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку. Загальні технічні умови. URL: [https://uz.gov.ua/about/documents\\_jsc](https://uz.gov.ua/about/documents_jsc).
21. Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part1. DMR AIR Interfase hrotocol – France. ETSI, 2007.
22. Єлізаренко А. О., Єлізаренко О. В. Мережі технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 57 с.
23. Транкінгові мережі залізничного радіозв'язку: навч. посіб. / О. В. Єлізаренко, А. О. Єлізаренко, В. П. Поляков, К. А. Трубочанінова. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 114 с.
24. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень з телекомунікацій: навч.-метод. посіб. до дипломного проектування / С. В. Панченко, С. І. Приходько, Л. О. Позднякова, А. О. Єлізаренко. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 99 с.
25. Єлізаренко А. О. Перспективні напрями розвитку мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 53 с.
26. ITU-R IMT-Advanced 4G standards to usher new era of mobile broadband communications. *International Telecommunication Union*. 2010. URL: <http://www.itu.int/net/hressoffice/press>.
27. Єлізаренко А. О., Єлізаренко І. О. Особливості впровадження сучасних цифрових радіотехнологій на мережах зв'язку залізниць.



*Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 1. С. 10-16.

28. GSM-R. Procurement & Implementation Guide. International Union of Railways-Paris, 2009. 246 с.

29. Єлізаренко А. О. Моделі поширення радіохвиль. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 51 с.

30. Горобець М. М., Єлізаренко А. О. Канали технологічного радіозв'язку з випромінюючими кабелями в тунелях метрополітенів і залізниць. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. № 4. С. 42-49.

31. Єлізаренко А. О. Розробка методології розрахунку дальності дії каналів рухомого радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. № 2. С. 61-65.

32. Інструкція з утримання технічної документації на пристрої проводового зв'язку, радіозв'язку та пасажирської автоматики: затв. Наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 20.11.2018 р. № 728. URL: [https://uz.gov.ua/about/documents\\_jsc](https://uz.gov.ua/about/documents_jsc).

33. Експлуатація телекомунікаційних систем / Г. Ф. Конахович, В. М. Чуприн, І. О. Мачалін, О. П. Ткаліч. Київ: «Центр учбової літератури», 2014. 372 с.

34. ЦШ/0030. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України: затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 17.11.2003 р. № 288-Ц. ЦШЕОТ – 0030. Київ, 2003. 57 с.

35. Єлізаренко А. О. Забезпечення необхідної надійності функціонування каналів залізничного технологічного радіозв'язку. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 1. С. 41-47.

36. НПАОП 60.1-1.48-00. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях: затв. Наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 31.05.2000 р. № 120 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 08.06.2000 р. за № 340/4561. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0340-00#Text>.

Навчальний посібник

**Панченко** Сергій Володимирович,

**Приходько** Сергій Іванович,

**Єлізаренко** Андрій Олександрович

та ін.

## РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Відповідальний за випуск Єлізаренко А. О.

Редактор Ібрагімова Н. В.

---

Підписано до друку 05.06.2024 р.

Умовн. друк. арк. 9,25. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейербаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.