



**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

О.В.Єлізаренко, А.О.Єлізаренко, В.П.Поляков, К.А.Трубчанінова

**ТРАНКІНГОВІ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

Навчальний посібник

Харків 2007

УДК 621.396.94
656.254.16

Єлізаренко О.В., Єлізаренко А.О., Поляков В.П., Трубчанінова К.А. Транкінгові мережі залізничного технологічного радіозв'язку: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. - 114 с.

Розглянуто принципи побудови та основні технічні характеристики сучасних транкінгових систем рухомого радіозв'язку. Значна увага приділена транкінговим системам на основі протоколу SmartTrunk II і стандарту MPT 1327 та цифровим системам стандарту TETRA. Відображені особливості застосування транкінгових систем у мережах залізничного технологічного радіозв'язку, а також питання організації і проектування радіомереж.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів залізничного транспорту, що навчаються за спеціальністю «Автоматика й автоматизація на залізничному транспорті», та може бути корисним широкому колу спеціалістів, які зайняті експлуатацією й проектуванням радіотехнічних систем на залізничному транспорті.

Іл. 27, табл. 12, бібліогр. 27 назв.

Рекомендований як навчальний посібник з дисципліни „Радіотехнічні системи залізничного транспорту” Вченою радою факультету АТЗ 29 квітня 2006 р., протокол № 8.

Рецензенти:

професори В.В. Поповський (ХНУРЕ),
А.Б. Бойнік,

Зміст

Вступ	4
1. Основи побудови транкінгових систем радіозв'язку	7
1.1. Принципи використання каналів у транкінгових системах	7
1.2. Класифікація й основні технічні характеристики транкінгових систем	12
1.3. Система радіотелефонного зв'язку «Алтай»	24
1.4. Транкінгові системи на основі протоколу SmartTrunk II	28
1.4.1. Склад і структура системи SmartTrunk	28
1.4.2. Організація зв'язку	35
1.5. Системи транкінгового радіозв'язку стандарту MPT-1327	38
1.6. Цифрові системи транкінгового радіозв'язку стандарту TETRA	47
2. Застосування транкінгових систем у мережах залізничного технологічного радіозв'язку	55
2.1. Призначення та склад мереж залізничного технологічного радіозв'язку	55
2.2. Організація транкінгових мереж технологічного радіозв'язку	65
2.3. Особливості проектування транкінгових мереж	71
2.4. Розрахунок зон обслуговування транкінгових систем радіозв'язку	76
2.4.1. Загальні положення	76
2.4.2. Розрахунок дальності радіозв'язку в лінійних зонах	83
2.4.3. Розрахунок дальності радіозв'язку в станційних зонах	95
2.5. Розрахунок електромагнітної сумісності радіозасобів	103
Список літератури	113

ВСТУП

Система керування технологічними процесами займає особливе місце в складному й різноманітному комплексі пристроїв залізничного транспорту, де основними об'єктами керування є рухомі об'єкти. Ефективність систем керування багато в чому залежить від роботи засобів зв'язку з рухомими об'єктами, де найбільший розвиток одержав технологічний радіозв'язок.

Технологічний зв'язок з рухомими об'єктами забезпечує обмін повідомленнями між керівниками й виконавцями, що перебувають на стаціонарних і рухомих об'єктах та беруть участь у технологічних процесах роботи всіх ланок залізничного транспорту.

У цей час на залізничному транспорті триває процес впровадження комплексу технологічного радіозв'язку системи „Транспорт”, що включає поїзний (ПРЗ), станційний (СРЗ) і ремонтно-оперативний (РОРЗ) радіозв'язок.

Поїзний радіозв'язок - це комплекс мереж технологічного радіозв'язку, які організують уздовж ділянок залізниць, для зв'язку різних категорій абонентів з машиністами поїзних локомотивів.

Станційний радіозв'язок являє собою комплекс мереж рухомого радіозв'язку, які організують на території залізничних станцій і вузлів.

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

У цей час в Україні мережі залізничного технологічного радіозв'язку побудовані з використанням закріплених каналів. Недоліками таких традиційних або, як зараз говорять, конвенціональних мереж технологічного радіозв'язку є локалізація радіомереж й їхня взаємна роз'єднаність, неефективне використання спектра частот, складність забезпечення електромагнітної сумісності при великій кількості радіозасобів.

Більш перспективним напрямком в галузі радіозв'язку є створення для багатьох категорій абонентів залізничного транспорту єдиної системи оперативно-технологічного радіозв'язку на базі апаратури з рівнодоступними каналами.

Вжиті у 80-х роках, у рамках розробки системи «Транспорт», спроби створення радіомереж СРЗ-У і РОРЗ-Т з використанням рівнодоступних каналів (транкінгового радіозв'язку в сучасній термінології) не одержали розвитку. Однак у сучасних умовах перехід ряду мереж технологічного радіозв'язку на апаратуру з рівнодоступними каналами став очевидним і неминучим. Розвиток мереж оперативного і технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами на залізничному транспорті вже вступив у фазу впровадження транкінгових систем [19, 20]. Стала так само очевидна доцільність відмови від раніше розроблених вітчизняних протоколів організації транкінгового радіозв'язку й перехід на міжнародні стандарти.

Транкінговий зв'язок передбачає об'єднання деякої кількості радіоканалів у єдину систему. Назва походить від англійського “trunk”, яке можна перекладати не тільки як «канал», але і як «стовбур» (каналів), тобто групу каналів, використовуваних спільно. При цьому абонентів надається будь-який з вільних у цей момент часу каналів.

За рахунок використання рівнодоступних каналів досягається:

- збільшення навантажувальної здатності системи і відповідно збільшення числа абонентів на один радіоканал;
- підвищення ефективності використання виділеного частотного ресурсу в цілому;
- спрощення процедури організації зв'язку між різними категоріями абонентів і підвищення оперативності зв'язку;
- надання абонентам широкого спектра послуг, характерних для сучасних систем телекомунікацій.

Транкінгові радіомережі повинні створюватися в інтересах абонентів різних служб залізничного транспорту, у першу чергу енергопостачання, сигналізації й зв'язку, колійного господарства і забезпечувати радіозв'язок з можливістю виходу в мережі відомчого телефонного зв'язку.

Практично всі абоненти мереж РОРЗ і більша частина абонентів СРЗ можуть увійти в загальну мережу транкінгового радіозв'язку. Це дозволить при існуючому частотному ресурсі, виділеному для залізничного транспорту, забезпечити економічно ефективно його використання. У той же час, на даному етапі повинне зберігатися застосування закріплених каналів, у першу чергу для організації поїзного радіозв'язку, а також для маневрових і гіркових радіомереж СРЗ.

З питань, розглянутих у навчальному посібнику, опублікована значна кількість робіт, основні з яких наведені в списку літератури. Матеріали для посібника ретельно відібрані з метою методично обґрунтованого, послідовного й систематизованого викладу і, у значній мірі, орієнтовані на використання в курсовому й дипломному проектуванні.

У першому розділі розглянуті принципи класифікації, основи побудови й основні технічні характеристики сучасних систем транкінгового радіозв'язку. Більш детально розглянуті системи, що одержали широке поширення в країнах СНД: аналогові системи на основі протоколу SmartTrunk і стандарту МРТ 1327, а також цифрові системи стандарту TETRA.

У другому розділі наведені класифікація й призначення мереж залізничного технологічного радіозв'язку, а також смуги частот, виділених для організації радіомереж різного призначення. Розглянуто особливості застосування транкінгових систем у мережах залізничного технологічного радіозв'язку та питання організації й проектування радіомереж. На основі діючих на залізничному транспорті нормативних документів, з єдиних методологічних позицій, розглянуті питання розрахунку зон обслуговування транкінгових мереж й електромагнітної сумісності радіозасобів.

1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТРАНКІНГОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

1.1. Принципи використання каналів у транкінгових системах

Транкінговий зв'язок передбачає об'єднання деякої кількості радіоканалів у єдину систему. При цьому абонентів, що бажає зробити виклик, автоматично надається будь-який з вільних у цей момент часу каналів. При зайнятості всіх каналів черговий виклик блокується і абонент одержує відмову у встановленні з'єднання. Імовірність втрат викликів нормується й служить вихідним параметром для розрахунку необхідної кількості каналів у мережі.

Транкінгова система радіозв'язку з використанням групи рівнодоступних каналів є типовим прикладом системи масового обслуговування з відмовами.

Випадковий потік заявок у системі характеризують інтенсивністю надходження викликів λ , вимірюваною числом викликів в одиницю часу (звичайно виклик/година), середньою тривалістю обслуговування виклику - середнім часом заняття каналу радіозв'язку T , с. Добуток цих величин дає середню інтенсивність навантаження (трафіка), яку подають звичайно в Ерлангах (годино-заняттях каналу в годину), названих на честь датського вченого А.К.Ерланга (1878-1929 р.р.) – першого вченого в галузі теорії телетрафіка:

$$A = \frac{\lambda T}{3600}.$$

Трафік A оцінюють у період максимальної активності абонентів, який називається годиною найбільшого навантаження (ГНН).

Як правило, при аналізі вважають, що потік викликів підкоряється розподілу Пуассона, а тривалість радіопереговорів - експоненціальному розподілу.

Розподілом Пуассона визначається ймовірність надходження k викликів за час t :

$$P_k = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad \lambda > 0, \quad k \geq 0.$$

При цьому середнє число викликів на інтервалі t і дисперсія числа викликів на тому ж інтервалі рівні відповідно: $k = \lambda t$, $D_k = \lambda t$.

Тривалість обслуговування одного виклику (тривалість зайнятості каналу зв'язку) – безперервна випадкова величина λ -описується експоненціальним розподілом:

$$W(\tau) = \frac{1}{T} e^{-\frac{\tau}{T}} = \lambda e^{-\lambda \tau}, \quad \tau \geq 0, \quad \text{якому відповідають середнє значення}$$

(мат. очікування) і дисперсія: $\tau = T = \frac{1}{\lambda}$, $D_\tau = T^2 = \frac{1}{\lambda^2}$, тобто середнє значення збігається з середньою тривалістю обслуговування одного виклику.

При оцінці навантаження в системах транкінгового радіозв'язку користуються моделлю Ерланга для систем з відмовами (модель Ерланга-В). У системі з відмовами ймовірність відмови (ймовірність надходження виклику в момент, коли всі канали зайняті) визначається виразом

$$P_B = \frac{A^n}{\sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!}},$$

де n - число каналів;

A - навантаження, Ерл.

У табл. 1.1 наведені результати розрахунків допустимої величини обслуговуваного трафіка A при заданій імовірності відмов (блокування) у системі радіозв'язку залежно від числа каналів n [2].

Таблиця 1.1

Допустима величина обслуговуваного трафіка, Ерл

Кількість каналів	Імовірність блокування, %				
	2	3	5	10	20
1	0,02041	0,03093	0,05263	0,11111	0,25000
2	0,22347	0,28155	0,38132	0,59543	1,0000
3	0,60221	0,71513	0,89940	1,27080	1,92990
4	1,09230	1,25890	1,52460	2,04540	2,94590
5	1,65710	1,87520	2,21850	2,88110	4,01040
6	2,27590	2,54310	2,96030	3,75840	5,10860
7	2,93540	3,24970	3,73780	4,66620	6,23020
8	3,62710	3,98650	4,54300	5,59710	7,36920

На рис. 1.1 наведені криві ймовірності відмови в системі радіозв'язку залежно від величини навантаження при різному числі каналів, побудовані за даними табл. 1.1.

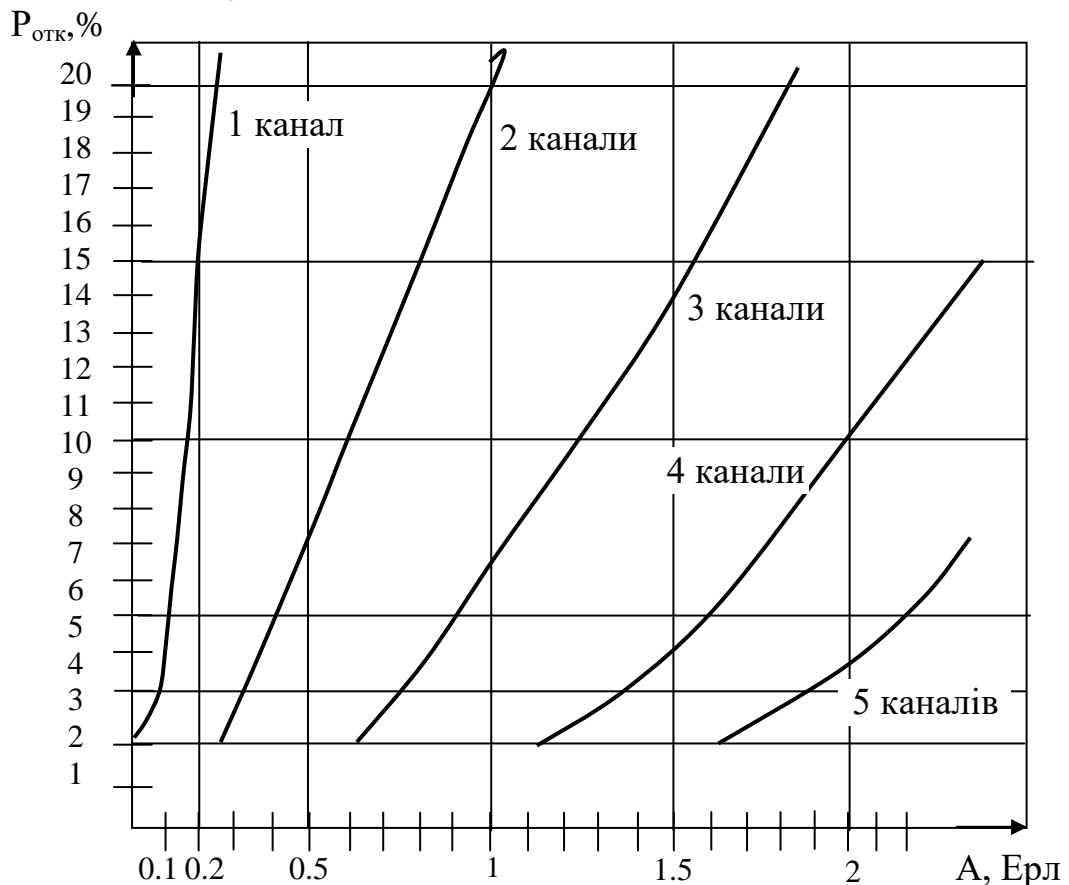


Рис. 1.1. Залежність імовірності відмови від навантаження у системі зв'язку

Необхідне число каналів у системі радіозв'язку визначають, виходячи з імовірності відмови або блокування виклику не більше 5-10%, тому що при більших імовірностях відмов порівняно невелике зростання трафіка приводить до різкого збільшення ймовірності блокування викликів, тобто до істотного погіршення якості обслуговування. У практиці експлуатації транкінгових систем вважається, що при ймовірності відмов більше 30% повторні спроби викликів приводять до різкого збільшення інтенсивності заявок і система стає практично непрацездатною.

Ще більш наочну уяву про ефективність застосування рівнодоступних каналів дають графіки, наведені на рис. 1.2, залежності обслуговуваного навантаження A і кількості абонентів у системі n від кількості радіоканалів при ймовірності відмови $P=10\%$. Крива 1 відповідає випадку автономного використання n закріплених за абонентами радіоканалів, крива 2 побудована для умов використання в системі n рівнодоступних каналів. Розрахунок кількості абонентів виконаний у припущенні інтенсивності потоку викликів одного абонента $\lambda=0,5$ виклик/год, при середньому часі заняття каналу 80с. Ці величини близькі до реальних значень статистичних параметрів навантаження в системах транкінгового радіозв'язку на залізничному транспорті [3].

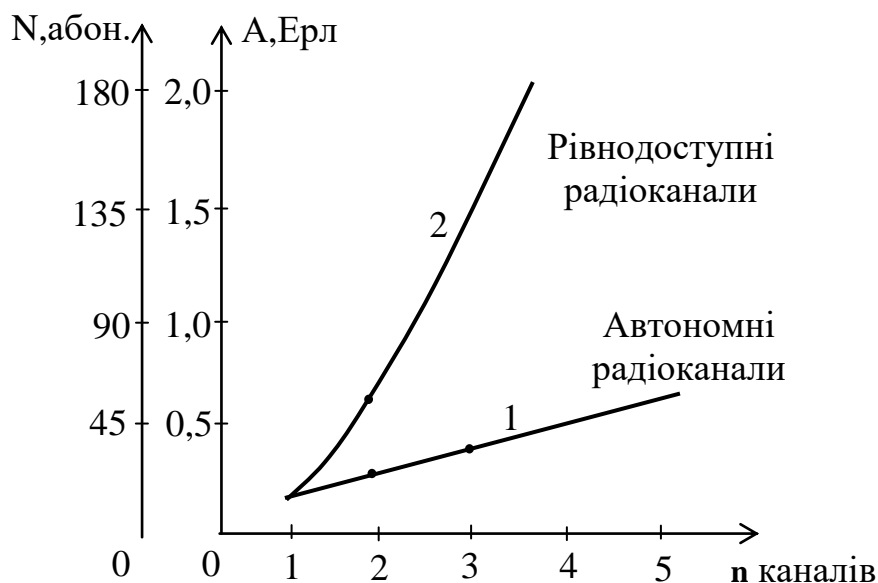


Рис. 1.2. Ефективність використання автономних і рівнодоступних каналів

Із графіків рис. 1.2 видно, що для забезпечення зв'язком 110 абонентів при ймовірності втрат викликів $P=10\%$ досить трьох рівнодоступних каналів. У той час, як система радіозв'язку, що використовує три автономних канали, дозволяє обслужити всього 30 абонентів.

В системах транкінгового радіозв'язку з очікуванням обслуговування, наприклад, які працюють у стандарті МРТ-1327, якщо всі канали базової станції зайняті, абонент може бути поставлений у чергу. Допустиме число абонентів на 1 канал у таких системах залежить так само від можливого часу очікування в черзі. У табл. 1.2 наведені результати розрахунків [4] для 4- й 8-канальних базових станцій, один з каналів яких є керуючим, а інші обслуговують трафік.

Таблиця 1.2

Розрахунок числа абонентів у системах транкінгового радіозв'язку з очікуванням обслуговування

Кількість каналів БС	Час очікування у черзі, с	Час розмови, с	Розрахункове число абонентів на 1 канал при заданій ймовірності очікування в черзі			
			$P=0,01$	$P=0,05$	$P=0,10$	$P=0,20$
4 (3+1)	10	30	69	122	157	202
		60	29	54	70	92
		90	18	34	45	59
		120	13	25	33	44
	20	30	90	151	187	230
		60	34	61	78	101
		90	20	37	48	63
		120	14	27	35	46
8 (7+1)	10	30	360	479	545	620
		60	158	216	249	289
		90	101	139	161	188
		120	74	102	118	139
	20	30	438	555	612	676
		60	180	239	272	310
		90	110	149	171	198
		120	79	108	124	144

Таким чином, до переваг транкінгових систем відносяться:

- збільшення пропускної здатності радіоканалів при заданій якості обслуговування, тому що ймовірність одночасного заняття декількох каналів зменшується;

- підвищення надійності зв'язку, у порівнянні з випадком організації радіомереж із закріпленими каналами, де при виході з ладу стаціонарної радіостанції вся група абонентів, що працюють на цьому каналі, втрачає зв'язок;

- зменшення капітальних вкладень у стаціонарне устаткування й антенно-фідерні пристрої завдяки зменшенню необхідної кількості комплектів радіоустаткування в порівнянні з організацією автономних радіомереж;

- поліпшення експлуатаційних властивостей радіомережі за рахунок розширення функціональних можливостей і підвищення оперативності встановлення зв'язку з кожним з абонентів комплексної мережі;

- зниження експлуатаційних витрат внаслідок централізації пристроїв і зменшення кількості канальних комплектів радіоустаткування.

Транкінгові системи дозволяють збільшувати радіус дії мобільних радіостанцій, тому що зв'язок радіостанцій між собою здійснюється через ретранслятори базових станцій (БС). Крім того, багатозонові транкінгові системи мають у своєму складі декілька БС, кожна з яких обслуговує свою зону, при цьому можливо встановлення з'єднання між радіостанціями незалежно від їхнього місця розташування.

1.2. Класифікація й основні технічні характеристики транкінгових систем

Існуючі транкінгові системи радіозв'язку (ТСР) розрізняються сервісними функціями, архітектурою і принципами побудови. На рис. 1.3 наведений один з можливих варіантів класифікації таких систем.

За методом передачі мовної інформації транкінгові системи підрозділяються на аналогові й цифрові. Передача мови в радіоканалі аналогових систем здійснюється з використанням частотної модуляції, а крок сітки частот звичайно становить 12,5 або 25 кГц.

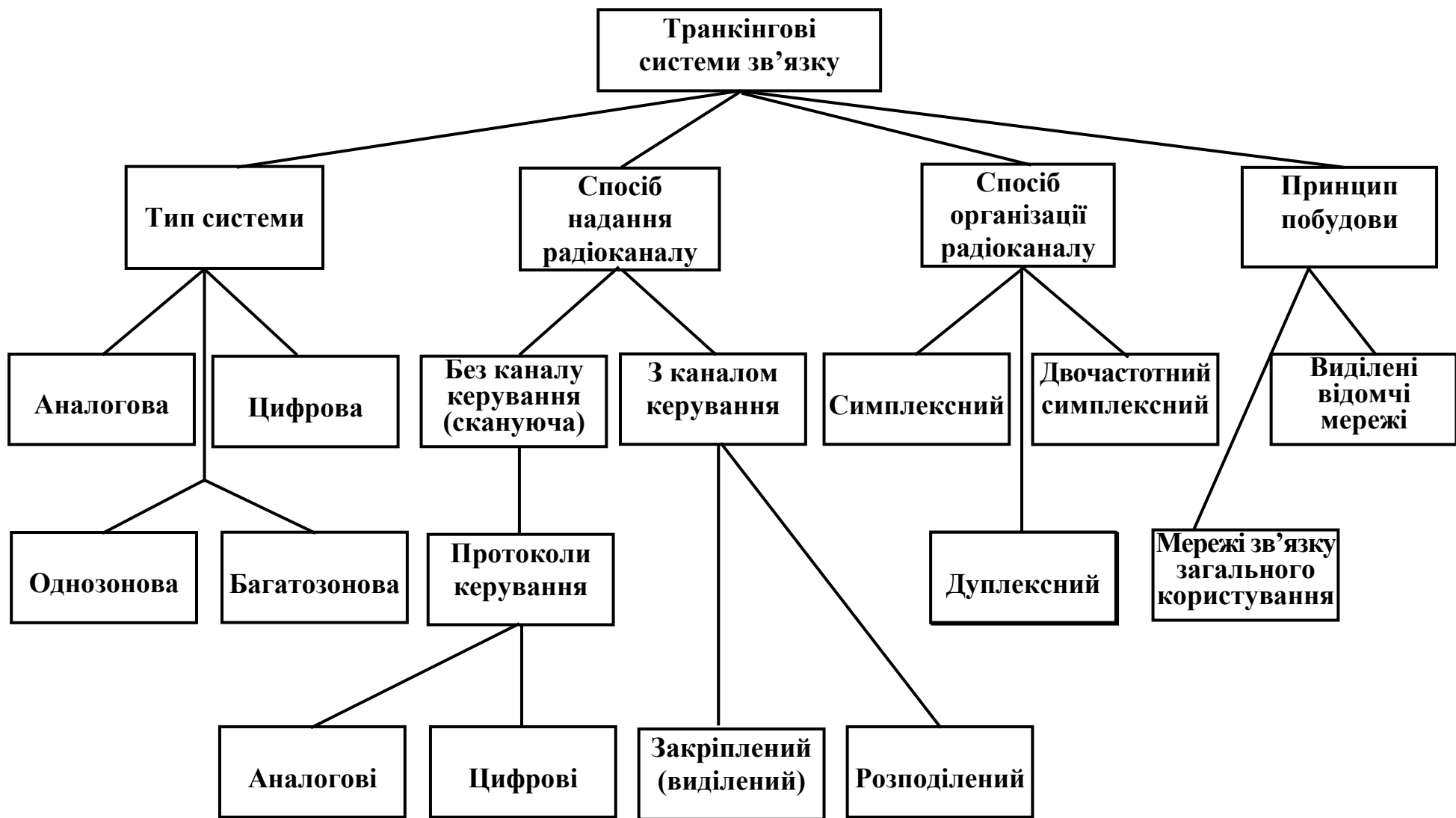


Рис. 1.3. Класифікація транкінгових систем

Для передачі мови в цифрових системах використовуються різні типи вокодерів, що перетворюють аналоговий мовний сигнал у цифровий потік з певною швидкістю.

Цифрові стандарти транкінгового радіозв'язку поки не одержали широкого поширення у зв'язку з більш високою вартістю обладнання. Однак у порівнянні з аналоговими системами вони забезпечують ряд переваг за рахунок реалізації вимог до підвищеної оперативності й безпеки зв'язку, більш широкого спектра послуг зв'язку, включаючи специфічні вимоги спецслужб, кращої пристосованості до різних режимів передачі даних.

Залежно від кількості базових станцій (БС) і загальної архітектури розрізняють однозонові й багатозонові системи. Перші мають лише одну БС, другі мають декілька БС і забезпечують радіозв'язок на значній території. У багатозонових транкінгових системах БС можуть поєднуватися за допомогою єдиного комутатора (системи із централізованою комутацією) або мати автономні комутатори, що з'єднуються один з одним безпосередньо або через мережі загального користування (системи з розподіленою комутацією).

Якщо визначальним фактором є мінімальна вартість устаткування, використовується розподілена міжзональна комутація (рис. 1.4).

Кожна БС у такій системі має своє власне підключення до телефонної мережі загального користування ТфОП. При необхідності виклику з однієї зони в іншу він здійснюється через інтерфейс ТфОП, включаючи процедуру набору телефонного номера. Крім того, БС можуть бути безпосередньо з'єднані за допомогою виділених каналів зв'язку.

Використання розподіленої міжзональної комутації доцільно лише для систем з невеликою кількістю зон і з невисокими вимогами до оперативності міжзональних викликів (особливо у випадку з'єднання через комутовані канали, ТфОП).

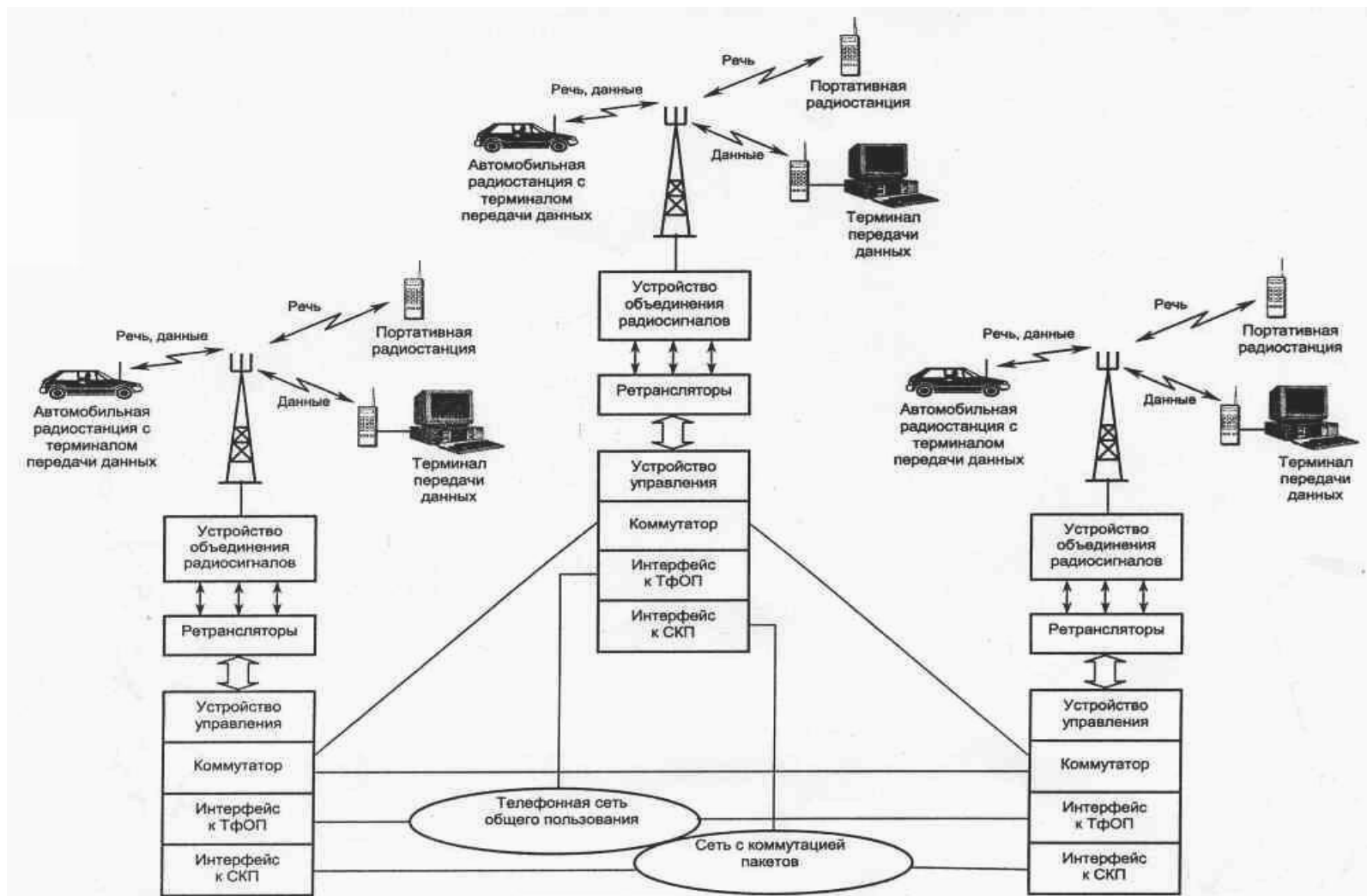


Рис. 1.4. Узагальнена структура транкінгової системи з розподіленою міжзональною комутацією

У системах з високою якістю обслуговування використовується архітектура із центральною комутацією (ЦК). Основний елемент таких систем - єдиний міжзональний комутатор. Він обробляє всі види міжзональних викликів, тобто весь міжзональний трафік проходить через один центральний комутатор, з'єднаний з усіма БС по виділених каналах. Це забезпечує швидку обробку викликів. Інформація про місцезнаходження абонентів в системі з ЦК зберігається в єдиному місці, тому її легше захистити. Крім того, міжзональний комутатор здійснює також функції централізованого інтерфейсу до ТфОП і мереж з комутацією пакетів (СКП), що дозволяє при необхідності повністю контролювати як мовний трафік ТСР, так і трафік всіх додатків, пов'язаних із зовнішніми мережами.

Базові станції ТСР включають: антенно-фідерні пристрої, пристрої об'єднання радіосигналів, ретранслятори, пристрій керування, комутатор й інтерфейс із зовнішніми мережами (див. рис. 1.4).

Під ретранслятором мають на увазі набір приймально-передавального устаткування, що обслуговує одну пару несучих частот. До останнього часу в переважній більшості ТСР одна пар несучих частот означала один канал. З появою цифрового стандарту TETRA, що передбачає часове ущільнення, один ретранслятор може забезпечити чотири канали трафіка.

Пристрій об'єднання радіосигналів дозволяє використати одне й те ж антенне устаткування для одночасної роботи приймачів і передавачів декількох ретрансляторів на різних частотних каналах.

Пристрій керування забезпечує взаємодію всіх вузлів базової станції й обробку викликів. Він також здійснює аутентифікацію абонентів, яких викликають, з метою виключення несанкціонованого користування системою, ведення черг викликів, у деяких системах регулює допустиму тривалість з'єднання з телефонною мережею залежно від поточного навантаження.

Комутатор обслуговує увесь трафік, включаючи з'єднання рухомих абонентів із ТфОП.

За способом пошуку й призначенням каналу розрізняють системи з децентралізованим і централізованим керуванням. У перших процедуру автоматичного пошуку вільного або викличного каналу виконують абонентські радіостанції. Особливістю систем з децентралізованим керуванням є відносно тривалий час встановлення з'єднання між абонентами, що зростає при збільшенні числа ретрансляторів на базовій станції. Це викликано тим, що абонентські станції змушені безупинно послідовно сканувати всі канали в пошуках викличного сигналу або вільного каналу (якщо абонент сам посилає виклик). Крім того, у скануючих системах утруднена реалізація багатьох сучасних вимог, у числі яких багатозоновість, гнучка система пріоритетів, постановка в чергу при зайнятості всіх каналів системи й ін. Найбільш характерними представниками даного класу є системи стандарту SmartTrunk, а також вітчизняна система «Алтай».

У системах із централізованим керуванням пошук і призначення вільного каналу формується на БС. Для забезпечення нормального функціонування в таких системах організуються канали двох типів: трафікові й керування. Всі запити на надання зв'язку направляються по каналу керування, по цьому ж каналу БС сповіщає абонентські пристрої про призначення каналу, відхилення запиту або про постановку запиту в чергу. У всіх транкінгових системах канали керування є цифровими.

Розрізняють системи з виділеним частотним каналом керування й системи з розподіленим каналом керування. ТСП із розподіленим каналом керування в цей час не розробляються. Прикладом такої системи є LTR, розроблена в США ще наприкінці сімдесятих років.

Виділений керуючий канал передбачається в більшості сучасних стандартів на ТСП (наприклад, МРТ 1327), а також у перспективному цифровому стандарті TETRA. У таких системах легко реалізується багатозоновість, постановка виклику в чергу й інші функції. Це у свою чергу переводить такі ТСП із класу систем з відмовою в з'єднанні при зайнятості каналів у клас систем з очікуванням. При несправності устаткування керуючого

каналу або тривалій дії завад на його частоті базова станція робить керуючим інший, справний канал.

Особливий аспект роботи багатозонових ТСР - відстеження поточного місця розташування абонентів, реєстрації й призначення нових каналів зв'язку при переміщенні абонентів з однієї зони в іншу.

При надходженні групового міжзонального виклику сучасні ТСР повинні, відстежуючи переміщення абонентів, довести його до всіх членів групи, у якій би зоні вони не перебували.

Для більшості транкінгових систем характерне переривання зв'язку при переміщенні абонента з однієї зони обслуговування в іншу (*hard hand - over*), що пов'язане з відсутністю механізму естафетної передачі. Для продовження розмови абонент змушений повторити виклик. У сучасних цифрових транкінгових системах TETRA, ProtoCALL реалізована естафетна передача викликів.

Розглянемо класифікацію ТСР за способом організації радіоканалів. Дуплексний спосіб організації радіоканалів передбачає можливість одночасної передачі й приймання радіосигналів. При симплексному радіозв'язку передача й приймання сигналів здійснюються по черзі при використанні однієї (одночастотний симплекс) або різних (двочастотний симплекс) робочих частот.

Ретранслятори БС працюють тільки в дуплексному режимі з розносом частот передачі й приймання від 3 до 45 МГц (дуплексний рознос). Абонентські радіостанції можуть бути дуплексними або симплексними. При цьому під півдуплексним радіозв'язком розуміють таку організацію симплексного радіозв'язку, при якій використовують дуплексні стаціонарні радіостанції ретрансляторів, а абонентські радіостанції працюють у режимі двочастотного симплекса.

Транкінгові системи дозволяють абонентам утримувати канал зв'язку протягом усієї розмови або тільки на час передачі. Перший спосіб, названий також транкінгом повідомлень, найбільш традиційний для систем транкінгового зв'язку й обов'язково використовується у всіх випадках застосування дуплексного зв'язку й з'єднання з телефонною мережею загального користування.

У деяких ТСР, при використанні півдуплексного режиму роботи радіостанцій, передбачається утримання каналу тільки при вмиканні передавача на час проголошення абонентом фраз розмови. У паузах між закінченням фраз одного абонента й початком відповідних фраз іншого, передавачі обох радіостанцій вимкнені і канал вільний. Такий метод обслуговування називається транкінгом передачі. У цьому випадку більш висока ефективність використання каналів радіозв'язку досягається за рахунок ускладнення алгоритмів роботи системи й деякого зниження комфортності переговорів через можливі затримки в наданні каналу.

Транкінгові мережі зв'язку надають абонентам широкий спектр послуг. Практично всі ТСР підтримують такі типи з'єднань: мобільний абонент – телефонна лінія, телефонна лінія – мобільний абонент, мобільний абонент – мобільний абонент, мобільний абонент – мобільна група, телефонна лінія – мобільна група, виклик рухомого оператора, аварійний виклик. Якщо буде потреба, може бути дозволений безпосередній зв'язок – мобільний абонент – мобільний абонент без ретрансляції сигналів БС, наприклад, за межами зони дії транкінгової системи.

ТСР можуть забезпечити зв'язок мобільних радіостанцій з абонентами міської й декількох відомчих телефонних мереж, причому їхнє підключення до таких мереж може здійснюватися як найпростішим способом по абонентських лініях (аналогічно офісним АТС), так і по з'єднувальних лініях. В останньому випадку, з погляду нумерації абонентів, ТСР стають частиною телефонної мережі міста або установи.

Кожен абонент системи ТСР, крім свого індивідуального номера, може мати додатковий номер, використовуваний, якщо буде потреба, для об'єднання абонентів у групи. У випадку передачі транкінговим контролером системи групового пейджинг-коду всі радіостанції, що належать до викликуваної групи, примусово переходять у режим приймання й зв'язок установлюється. Груповий виклик може бути зроблений як мобільним абонентом системи, так і з міської телефонної мережі повністю аналогічно викликам «мобільний абонент – мобільний абонент», «Телефонна лінія – мобільний абонент». Для зручності мобільних абонентів передбачений спрощений режим виклику

власної групи, не потребує набору номера групи, а тільки натискання відповідних клавіш виклику.

З'єднання типу «виклик рухомого оператора» й «аварійний виклик» є варіантами з'єднань типу «мобільний абонент – мобільний абонент» й «мобільний абонент – телефонна лінія», однак номер викликуваного мобільного абонента (оператора системи, наприклад) або номер міської телефонної мережі (служба порятунку, міліція) заздалегідь передбачаються оператором системи при програмуванні базового устаткування.

Наприклад, у системі SmarTrunk-CR виклик рухомого оператора здійснюється шляхом набору на абонентських станціях комбінації 9*, аварійний виклик – шляхом набору 0*.

Аварійний виклик має найвищий пріоритет – у випадку, якщо при наявності аварійного виклику всі канали системи виявляться зайнятими, система звільнить примусово один з каналів для здійснення аварійного виклику.

При роботі радіостанції в ТСР можуть виникнути ситуації, у яких необхідно обійтися без послуг базової станції (зв'язок зі звичайною радіостанцією, відмова БС, вихід за зону дії всіх БС системи). На цей випадок всі радіостанції, розраховані на роботу в ТСР, мають можливість переходу в режим звичайного радіозв'язку.

Доступ до кожного виду послуг, надаваних системою ТСР, звичайно програмується індивідуально для кожного абонента. Крім того, програмується граничний час розмови й пріоритет абонента. ТСР мають також захист від несанкціонованого доступу в систему.

При виконанні всіх типів з'єднань принцип роботи різних систем транкінгового радіозв'язку приблизно однаковий – користувач робить набір номера викликуваного абонента на клавіатурі своєї радіостанції, радіостанція методом сканування знаходить вільний канал системи або на частоті керуючого каналу (у системах із централізованим керуванням) робить передачу посилки, що містить інформацію про пейджинг-код викликаючого абонента (причому власний пейджинг-код самому абонентові невідомий, його програмування здійснює оператор системи, передача здійснюється автоматично при ініціюванні будь-якого типу з'єднання в межах зони дії системи) і номер

викликуваного абонента. Крім того, посилка містить інформацію про бажаний тип з'єднання. Викличний сигнал приймається ретранслятором базової станції, надходить у транкінговий контролер, де декодується, далі здійснюється перевірка пейджинг-коду викликаючого абонента на наявність такого в базі даних. Якщо викликаючий абонент значиться в списку дозволених користувачів, ініціюється процес з'єднання, у протилежному випадку абонент негайно відключається (причому абонент може бути просто відключений, а може бути зроблений процес дистанційного «вбивання» його радіостанції (функція Kill) так, щоб процес несанкціонованого з'єднання не міг бути повторений). У ході подальшої роботи контролер визначає тип з'єднання – виклик іншого мобільного абонента або вихід у телефонну мережу. У випадку виходу в телефонну мережу контролер здійснює набір номера абонента телефонної мережі (передбачений імпульсний і тональний набір) і подальша комутація здійснюється АТС. У випадку виклику мобільного абонента здійснюється перевірка наявності викликуваного номера в базі даних контролера, і якщо такий номер є, ретранслятор передає в ефір посилку, що містить пейджинг-код викликуваного абонента. При збігу прийнятого пейджинг-коду із запрограмованим, абонентська радіостанція автоматично передає посилку готовності, далі викликуваний абонент натискає клавішу, що виконує функцію „Відповідь”, контролер здійснює комутацію викликаючого і викликуваного абонентів і зв'язок між ними встановлюється. У випадку відсутності викликуваного абонента в зоні дії системи або якщо він уже з'єднаний з іншим абонентом, абонент, що викликає, сповіщається відповідними звуковими сигналами. У цілому процедура з'єднання абонентів практично не відрізняється від умов набору номера в телефонній мережі й спеціальне навчання абонентів не потрібне.

У транкінгових системах передача даних є додатковою послугою, тому до останнього часу вона не мала розвинених засобів підтримки. Як правило, аналогові ТСР лише надають канали тональної частоти для передачі даних за допомогою додаткового устаткування. При цьому швидкість передачі даних лежить у межах 0,6-4,8 Кбіт/с.

Цифрові транкінгові системи надають більш широкий сервіс при передачі даних (передача коротких повідомлень, робота в режимах комутації каналів і комутації пакетів), включаючи не тільки каналний, але й мережний рівень.

Устаткування базових станцій або центрального комутатора цифрових ТСР може здійснювати також функції шлюзу із зовнішніми мережами передачі даних з комутацією пакетів по стандартних інтерфейсах. У функції шлюзу входить конвертування протоколів, включаючи взаємне перетворення адреси внутрішньої й зовнішньої мереж, а також підтримку накладеної мережі.

Мережі транкінгового радіозв'язку можуть створюватися як виділені відомчі або як мережі загального користування (див. класифікацію на рис. 1.3).

При всьому універсалізмі функцій, ТСР займають цілком певну нішу в сімействі сучасних систем рухомого радіозв'язку. Основне застосування ТСР – організація відомчих або корпоративних систем службового призначення. При цьому, звичайно, число виходів (каналів) у ТфОП значно менше числа абонентів системи, а внутрішньосистемний трафік може досягати 75-90%.

Специфіка відомчого зв'язку знаходить своє відображення в обмеженні тривалості розмов, з метою підвищення пропускної здатності системи, встановленні пріоритетів, в об'єднанні абонентів у групи. Та ж специфіка визначає більш високі вимоги до оперативності й надійності встановлення зв'язку.

З метою зниження вартості стаціонарного устаткування, ТСР будуються з більшими зонами обслуговування, орієнтуючись на обмежену кількість абонентів. Тому вони мають обмежену ємність і принципово не можуть бути системою масового мобільного зв'язку загального користування.

Однак гарні цінові й технічні характеристики ТСР дозволяють будувати й комерційні мережі з наданням послуг, у тому числі й індивідуальним абонентам.

Устаткування більшості ТСР розраховано на комерційну експлуатацію, тому забезпечує облік часу використання системи кожним абонентом і тарифікацію з'єднань.

У табл. 1.3 для порівняння наведені основні характеристики деяких ТСП: широко розповсюдженої раніше системи «Алтай», найбільш економічно ефективних систем SmarTRUNK II і MPT-1327, а також перспективних цифрових систем стандарту TETRA.

Необхідно мати на увазі, що в таблиці наведені характеристики, закладені в стандарти. Устаткування, що випускається для простих ТСП, часто дозволяє розширювати ці можливості, наприклад, у системах зв'язку на основі апаратури SmarTRUNK II можлива організація взаємодії декількох базових станцій по каналах ТЧ і пошуку абонента в багатозоновій мережі.

Нижче, у відповідних розділах, більш детально розглянуті техніко-експлуатаційні характеристики цих систем й особливості їхнього застосування.

Таблиця 1.3

Основні технічні характеристики транкінгових систем

СТАНДАРТИ ТСП				
ХАРАКТЕРИСТИКА	АЛТАЙ	SmarTRUNK II	MPT 1327	TETRA
1	2	3	4	5
Спосіб передачі мови	Аналоговий	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий
Структура системи	Однозонова	Однозонова	Багатозонова	Багатозонова
Принцип дії	Скануючий	Скануючий	Виділений керуючий канал	Виділений керуючий канал
Смути робочих частот, МГц	301-305 337-341	136-174 300-380 450-470	146-174 300-350 410-470	385-400 450-470 870-921
Швидкість обміну керуючою інформацією, біт/с	-	560	1200	7200
Час встановлення з'єднання, с	Не більше 2,5	$0,8+0,2N$, де N - число каналів	0,4	0,3
Кількість каналів БС	8 в одному радіостволі	16	24	Немає даних

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5
Кількість абонентів	989 в одному радіостволі	4096 у системі	1000000 у системі	Немає даних
Ширина смуги в ефірі, кГц/канал	25	12,5; 25	12,5; 25	25 кГц на 4 канали
Постановка у чергу	Немає	Немає	Так	Так
Індивідуальний виклик	Так	Так	Так	Так
Передача коротких даних	Немає	Немає	Так	Так
Передача даних по розмовних каналах	З додатковим устаткуванням	З додатковим устаткуванням	1200 біт/с або з додатковим устаткуванням	7,2-28,8 Кбіт/с при занятті 1-4 каналів
Орієнтовна вартість обладнання БС у перерахунку на один канал, \$ США	2400	7450	22600	Немає даних

1.3. Система радіотелефонного зв'язку «Алтай»

Історично однією з перших систем з рівнодоступними каналами колективного використання (транкінгових у сучасній термінології) була вітчизняна система радіотелефонного дуплексного зв'язку «Алтай» [1].

Спочатку (1959-1963 р.) система була розроблена для діапазону частот 160 МГц, потім (1968-1971 р.) – була модернізована для діапазону 330 МГц («Алтай-3»). З тих пір, при збереженні основних принципів роботи системи, періодично проводилася істотна модернізація апаратних засобів з розширенням їхніх функціональних можливостей. У цей час система «Алтай» працює в багатьох містах України і СНД, триває випуск апаратури системи «Алтай-5».

Система «Алтай» складається із центральної радіостанції (ЦРС), що включає приймально-передавальне обладнання (ППО), антенно-фідерні пристрої (АФП-Ц) і комплект комутаційного обладнання (ККО), відомчих диспетчерських пунктів (ВДП) і абонентських радіостанцій (АС) (рис. 1.5).

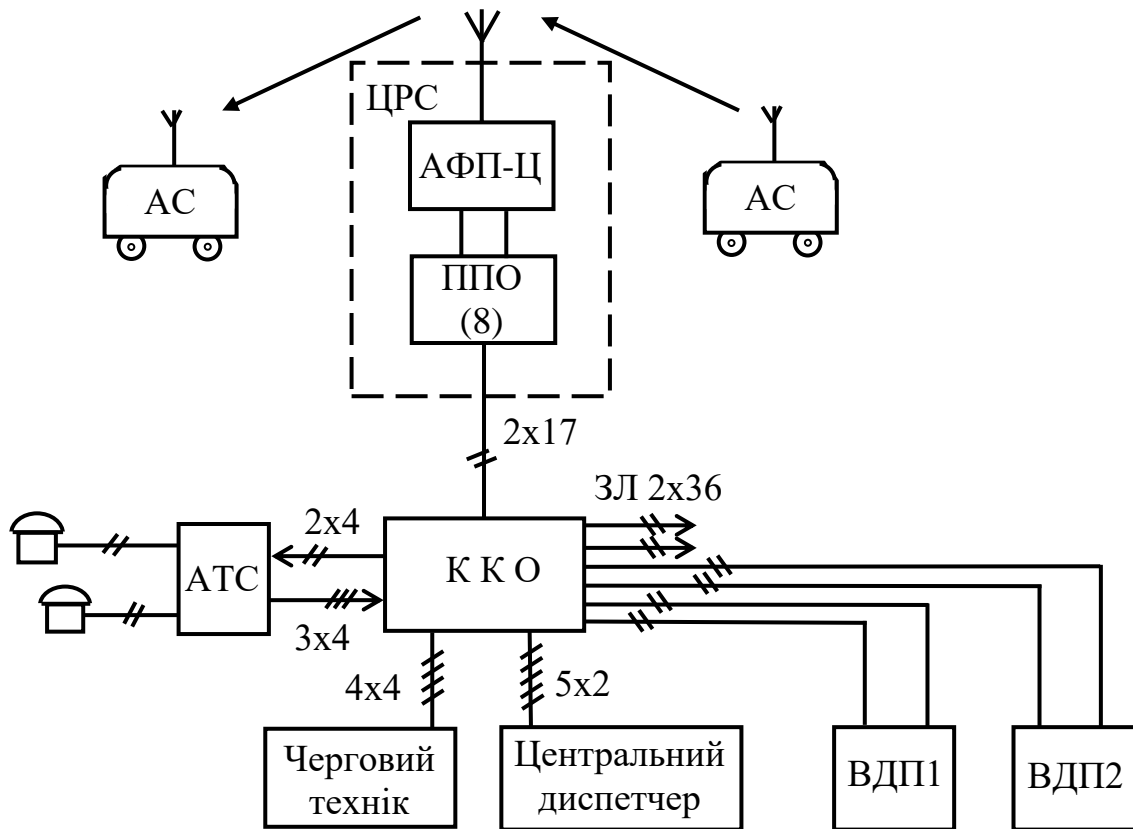


Рис. 1.5. Структурна схема системи «Алтай»

Приймально-передавальне обладнання ЦС працює одночасно на восьми фіксованих частотах:

- передавачі - у смузі частот 336-344 МГц;
- приймачі - у смузі частот 300-308 МГц.

Весь діапазон частот, виділених для системи «Алтай», розбитий на 22 стовбура (ділянки) по вісім радіоканалів у кожному з дуплексним розносом частот 36 МГц. Всі радіоканали рівнодоступні й об'єднані системою автоматичного пошуку вільного (АПВ_{ДК}) і викличного (АПВ_{КК}) каналів. Це дозволяє

використати для зв'язку кожен з вільних у даний момент часу радіоканалів.

За кожним абонентом АС закріплюється індивідуальний вибірний виклик, окремі групи абонентів мають загальний груповий виклик. Число вибірних викликів у стовбурі 989, групових 10, вибірних номерів відомчих диспетчерів 18. Кожен стовбур автономний і має свою нумерацію абонентів і відомчих диспетчерських пунктів (ВДП). Допускається можливість розподілу устаткування на два напівблоки по чотири радіоканали в кожному.

Комплект комутаційного обладнання ЦРС розрахований на підключення: восьми дуплексних радіоканалів, двох п'ятипровідних з'єднувальних ліній (ЗЛ) двосторонньої дії до пункту центрального диспетчера, 36 чотирипровідних ЗЛ двосторонньої дії до пунктів відомчих диспетчерів (ВДП), чотирьох чотирипровідних ЗЛ двосторонньої дії до пункту чергового техника (ДТ), чотирьох трипровідних ЗЛ від АТС і чотирьох двопровідних ЗЛ до АТС.

Можливе число ВДП встановлюється розподілом між ними ЗЛ. При максимальній ємності воно коливається від 18 (на кожен диспетчерський пункт по дві ЗЛ) до 6 (по шість ЗЛ на ВДП).

Для забезпечення автоматичного зв'язку в системі «Алтай» необхідно ввімкнути ККО в сотенну групу АТС. Вхідним (до радіоабонентів) зв'язком від абонентів АТС у стовбурі можуть користуватися не більше 100 рухомих абонентів із числа всіх включених у стовбур. Виклик інших абонентів ПО з боку абонентів АТС здійснюється через пункти відомчих диспетчерів.

Вихідним (від радіоабонентів) зв'язком до абонентів АТС можуть користуватися всі абоненти із правом виходу в мережу телефонного зв'язку.

У кожному стовбурі ЦС забезпечуються такі види зв'язку:

- рухомого радіоабонента з відомчим диспетчерським пунктом і із центральним диспетчерським пунктом при автоматичному встановленні з'єднання набором двозначного номера 11-19 й 21-29 (центральный диспетчер викликається набором цифри 0);

- рухомого радіоабонента з будь-яким абонентом міської або відомчої телефонної мережі при автоматичному встановленні

з'єднання набором номера індексу 8 і після одержання другого зумера набором номера абонента телефонної мережі;

- відомчих і центрального диспетчерських пунктів з рухомим радіоабонентом (вибірково) набором тризначного номера цього абонента або із групою радіоабонентів (циркулярно) набором тризначного циркулярного номера;

- будь-якого абонента міської або відомчої телефонної мережі з рухомим радіоабонентом при автоматичному встановленні з'єднання набором номера АТС, закріпленого за цим радіоабонентом (таких абонентів в одному стовбурі не більше 100);

- двох рухомих радіоабонентів одного стовбура між собою при автоматичному встановленні з'єднання набором однозначного індексу 9 і тризначного індивідуального номера викликуваного радіоабонента;

- рухомого радіоабонента з абонентами АТС, міжміської телефонної станції, прямими абонентами, іншими рухомими радіоабонентами через відомчий або центральний диспетчерський пункт при ручному встановленні з'єднання;

- між центральним і відомчими диспетчерськими пунктами при автоматичному встановленні з'єднання набором тризначного індексу 000 центрального диспетчера або двозначного номера відомчого диспетчера.

Зв'язок радіоабонента із черговим техніком здійснюється набором однозначного індексу 3, 4, 5, 6, 7. Пульт центрального диспетчера забезпечує можливість об'єднання різних стовбурів на одній ЦС.

Абонентська радіостанція в системі «Алтай» забезпечує:

- у режимі чергового прийому почергове автоматичне випробування восьми каналів зв'язку в пошуках виклику і визначення наявності вільного каналу в системі ;

- автоматичне входження у зв'язок при прийманні радіостанцією вибірного (індивідуального) або циркулярного (групового) викликів;

- автоматичне входження у зв'язок абонента ПО з абонентом ЦРС (відомчим, центральним диспетчером, абонентом АТС) на вільному каналі.

В останніх модифікаціях апаратури істотно розширені сервісні функції:

- автоматична передача абонентською радіостанцією на ЦРС свого індивідуального номера при входженні у зв'язок, що дозволяє організувати контроль та облік часу роботи абонентських радіостанцій;

- автоматичний контроль працездатності;

- підключення модема для обміну цифровими даними;

- попередній набір з індикацією номера викликуваного абонента без заняття каналу й зняття мікротелефонної трубки;

- попереднє програмування до 10 восьмизначних номерів;

- повтор набраного або викликаного з пам'яті номера.

За електричними параметрами стаціонарне й абонентське радіоустаткування системи «Алтай» відповідає вимогам ГОСТ 12252-86 [7] для відповідних типів радіостанцій.

1.4. Транкінгові системи на основі протоколу SmarTrunk

1.4.1. Склад і структура системи SmarTrunk

За короткий строк з моменту появи в 1992 р. технологія SmarTrunk стала світовим лідером для недорогих радіотелефонних транкінгових систем. Є позитивний досвід застосування таких ТСП для організації мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті [3].

Всі реалізації систем за протоколом SmarTrunk є системами з децентралізованим керуванням, високоефективним у мережах малої й середньої ємності. З появою контролерів ST-853 компанії SmarTrunk Systems з'явилася можливість об'єднання декількох базових станцій в одну систему й істотне збільшення ємності мережі.

Основні технічні характеристики ТСП на основі протоколу SmarTrunk наведені в табл. 1.3. Типова конфігурація базової станції для чотириканальної системи SmarTrunk II наведена на рис. 1.6.

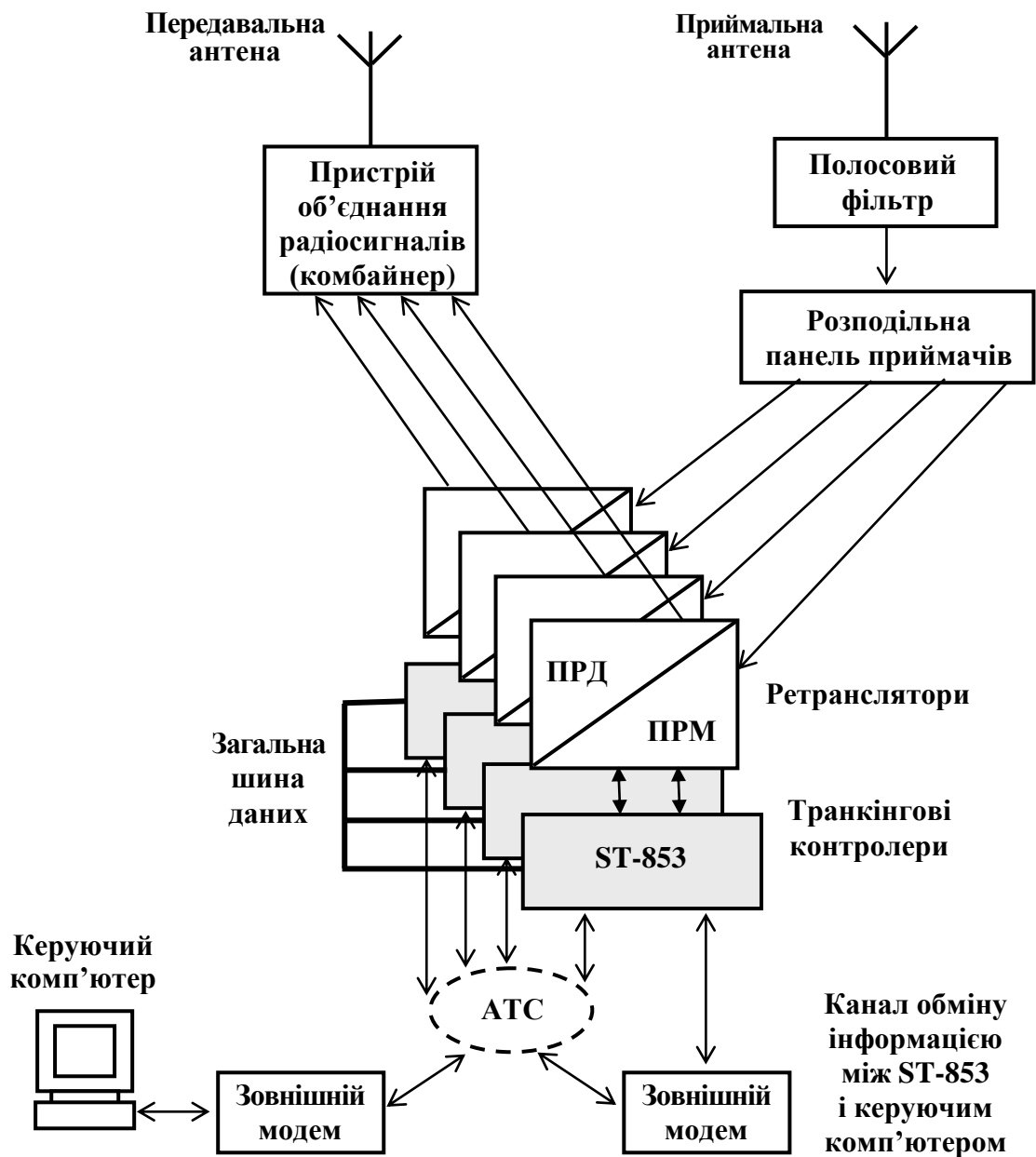


Рис. 1.6. Структурна схема базової станції SmarTrunk II

Кожен канал радіозв'язку складається із транкінгового контролера ТК, підключеного до прийомопередавача (ретранслятора) і керуючого ним.

Транкінговий контролер, підключений до ретранслятора робочого каналу, відповідає за завантаження свого каналу, виробляє всі керуючі сигнали, визначає, чи може радіоабонент

користуватися даним каналом, які його пріоритети, у тому числі по виходу в телефонну мережу.

На відміну від колишніх варіантів систем, де контролери ST-850 або ST-852 працювали окремо, не будучи зв'язані один з одним, у сучасних системах SmartTrunk II контролери ST-853 зв'язані загальною шиною даних, що працює в реальному часі. Наявність загальної шини даних дозволяє виключити втрати викликів, які мали місце в колишніх версіях систем, за рахунок дроблення груп зв'язку при групових викликах.

Таким чином, контролер реалізує всі основні алгоритми роботи системи, а також виконує функції інтерфейсу телефонного каналу. Кожен контролер допускає підключення до нього двох телефонних ліній - звичайно до міської АТС і відомчої АТС.

Ретранслятори працюють автономно, але поєднуються в єдину систему логікою роботи транкінгових контролерів. Керуючий комп'ютер підключається до одного з контролерів базової станції по стику RS232. Зв'язок з іншими контролерами тієї ж БС здійснюється по загальній шині даних. Комп'ютер може підключатися до ST-853 як безпосередньо, так і по каналах комутованої телефонної мережі з використанням зовнішніх модемів.

Кожен транкінговий контролер в оперативній пам'яті містить дві бази даних – про всіх абонентів системи й про сеанси зв'язку, що мали місце на відповідному робочому каналі.

У базі даних абонентів утримуються додаткові номери й пейджингові коди, а також основні обмеження для кожного абонента: максимальна дозволена тривалість зв'язку, заборона на використання телефонних ліній, на вихід у міжміську мережу й т.п. Обсяг цієї бази даних у контролері ST-853 доведений до 4096 абонентів.

База даних про сеанси зв'язку через ретранслятор, до якого підключений даний контролер, містить додаткові номери й коди абонентів, що зверталися, оцінки про характер зв'язку («місто-абонент», «абонент-місто», «абонент-абонент»), дату, час і тривалість сеансу зв'язку. Ці дані використовуються для одержання статистичної інформації про роботу системи, а при

комерційному використанні - для обліку абонентської плати й тарифікації.

Антенно-фідерні пристрої є одним з найбільш важливих компонентів базової станції ТСР. Для забезпечення одночасної спільної роботи декількох прийомопередавачів, з урахуванням їхньої електромагнітної сумісності, крім антен і кабелів, застосовується комплекс високочастотних пристроїв - комбайнерів і приймальних розподільних панелей. До їх складу входять дуплексні, смугові й режекторні фільтри, суматори й подільники, малошумні підсилювачі.

Комбайнери служать для об'єднання сигналів від декількох передавачів в одній антені.

Розподільні панелі (названі також мультикоуплерами) забезпечують паралельну роботу від однієї антени декількох приймачів і компенсують додаткові втрати в антенно-фідерній системі. Смуговий фільтр забезпечує додаткову фільтрацію сигналів на вході приймачів.

Побудова антенно-фідерної системи для базових станцій SmartTrunk розробляється індивідуально залежно від кількості каналів, конкретних значень частот передачі й приймання, заводової ситуації у пункті, де планується установа ЦС, умов забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів.

Для забезпечення виходу абонентів ТСР у телефонну мережу в різних версіях контролера передбачені різні варіанти інтерфейсів – найпростіший двопровідний «end-to-end» інтерфейс, чотирипровідний інтерфейс типу «E&M». Застосовують також спеціальні блоки телефонних інтерфейсів типу «Верба-Т», ELTA200 й ін., що забезпечують прямий набір номера мобільного абонента з телефонної мережі [24].

Блоки телефонних інтерфейсів є універсальними пристроями сполучення транкінгових систем з телефонними мережами. Вони підключаються до ТфОП по трипровідних з'єднувальних лініях, ІКМ-трактах 2,048 Мбіт/с (цифровий стик Е1 по G.703), а також по чотирипровідних каналах ТЧ із сигналізаціями різних типів при сполученні з відомчими телефонними мережами [4]. При цьому забезпечується присвоєння транкінговим абонентам повних телефонних номерів, а їхній виклик забезпечується без необхідного в інших випадках

донабору номера. Можлива також організація взаємодії декількох базових станцій TSP по каналах ТЧ і пошук абонента в багатозоновій мережі.

Фірма SmarTrunk Systems випускає для систем SmarTrunk тільки патентовані транкінгові контролери базових станцій і логічні модулі для абонентських радіостанцій. Завдання вибору комплектного устаткування БС при організації транкінгової мережі здійснюється на етапі проектування за рахунок підбору устаткування різних виробників.

Для систем SmarTrunk, що мають 4 канали й більше, доцільно використовувати високоякісні, але досить дорогі, ретранслятори Tait 800, Kyodo KG-110, розраховані на роботу в умовах важкої електромагнітної обстановки багатоканальних базових станцій.

Досить популярні ретранслятори STANDARD серії RP-80, виробництва японського концерну Marantz Japan Inc., розроблені спеціально для застосування в складі транкінгових систем. Передавачі цих ретрансляторів розраховані на 100%-й цикл навантаження й оснащені вбудованою системою захисту від перегріву, а приймачі мають високий ступінь заводозахищеності. Зручність і простота програмування дозволяє обходитись без послуг сервісного центра.

Недороге базове устаткування, у тому числі відомі ретранслятори GR300 й GR500 фірми Motorola, виконані на базі абонентських мобільних радіостанцій GM300 або GM350, випускаються для малоканалних систем, що не мають перспектив подальшого розвитку.

Варіанти побудови антенно-фідерних систем базових станцій розробляються в індивідуальному порядку на основі конкретних вимог технічного завдання.

Як власне антени, в системах SmarTrunk можна використати антени різних виробників. Широке застосування знаходять різні антени фірми Cushcraft Corp. (США), що має міжнародний сертифікат якості ISO9001 і виробляє антени невисокої вартості.

Найважливішою частиною антенно-фідерної системи є її фільтруючі елементи, які забезпечують нормальну роботу приймачів ретрансляторів в умовах дії завад від власних

передавачів, а також усувають інтермодуляційні випромінювання передавачів ретрансляторів багатоканальної станції.

Для рішення проблем електромагнітної сумісності устаткування базових станцій випускається великий асортимент універсальних елементів, за допомогою яких можна створити будь-які модулі з характеристиками, необхідними для рішення того або іншого завдання. Найбільш часто в складі систем SmartTrunk використовують високоякісні комбайнери WP-935 й WP-976 і мультикоуплери WP-8835 й WP-8875 виробництва фірми WACOM PRODUCTS (США).

Цікавим технічним рішенням є антенна система ACC-2/2, спеціально розроблена для умов організації мереж залізничного технологічного радіозв'язку у відведеній смузі частот 151-156 МГц. Ця антенна система допускає підключення від 2 до 6 передавачів і приймачів, забезпечуючи необхідні вимоги по розв'язці ланцюгів без використання додаткових фільтруючих елементів [8]. Завдяки особливому розташуванню приймальної й передавальної антен в одній антенно-щоголовій конструкції між ними забезпечується перехідне згасання не менше 60 дБ (див. рис. 1.7).

Тракт передачі включає тривхідні антенні решітки й панель підключення передавачів у вигляді суматорів потужності, виконаних на основі спрямованих розгалужувачів і циркуляторів, що працюють у режимі вентилів.

Для підключення декількох приймачів використані ділянки потужності, кількість яких і спосіб з'єднання залежать від варіанта поставки.

Вартість такої системи для 4-канальної базової станції становить близько 2,5 тис. доларів США, що в 3-4 рази менше вартості аналогічних закордонних антенних систем на основі комбайнерів і мультикоуплерів.

Цілий ряд вітчизняних фірм роблять комплектну поставку устаткування транкінгових систем, здійснюють монтаж і здачу систем в експлуатацію, наприклад, НПФ «Елар» (м. Київ), впроваджувальне підприємство «Радіан» на базі Радіоастрономічного інституту НАН України (м. Харків).

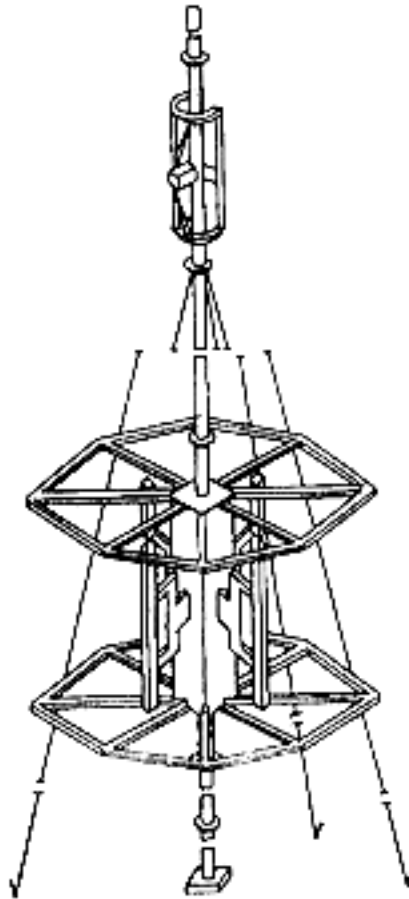


Рис. 1.7. Антенна система АСС-2/2

У цей час більше 30 моделей портативних і мобільних абонентських радіостанцій можуть бути оснащені логічними модулями SmarTrunk. Такі модулі, що мають позначення ST-865XX (для портативних радіостанцій) і ST-868XX (для мобільних радіостанцій), проектують спеціально для кожного типу радіостанцій з можливістю їхньої установки всередині корпусу.

У числі радіостанцій, для яких є модулі SmarTrunk, є досить дешеві моделі японських фірм Alinco, Yaesu/Vertex, Kenwood й Standard. Великою популярністю в країнах СНД користуються більш дорогі радіостанції фірми Motorola-GP300, GM300. Спеціальний інтерфейсний модуль ST-869 дозволяє в стаціонарних умовах через абонентську радіостанцію GM300 підключати до транкінгової мережі телефонний апарат, факс або персональний комп'ютер.

У складі однієї системи SmarTrunk можуть одночасно працювати абонентські радіостанції різних виробників, якщо вони будуть реалізовувати основні функції протоколу SmarTrunk.

1.4.2. Організація зв'язку

При організації з'єднання мобільного абонента з телефонною лінією абонентська радіостанція припиняє сканування на одному з вільних у цей момент часу радіоканалів, який визначається по відсутності на ньому несучої.

Система SmarTrunk підтримує два варіанти набору телефонного номера мобільним абонентом:

1) набір номера й натискання клавіш, що виконують функцію CALL (практично у всіх станціях, сертифікованих у складі системи SmarTrunk, дану функцію виконують клавіші «1*», або «2*», залежно від номера лінії, підключеної до контролера);

2) натискання клавіш, що виконують функцію CALL, приймання тонального сигналу АТС, подальший набір номера, тобто так, як це робиться у звичайних телефонних апаратах.

Транкінгові контролери, що входять до складу базової станції, дозволяють набір номера до 14 цифр, автоматичний набір перед номером заздалегідь запрограмованого префікса, автоматично роблять набір «складних» телефонних номерів (тобто, наприклад, якщо телефонний номер починається на 9, то здійснюється набір дев'ятки, далі очікується тональний сигнал АТС, потім проводиться набір інших цифр – ця функція зроблена для спрощення використання відомчих АТС, коли для виходу в місто перед номером треба набрати певний символ і дочекатися гудка, у протилежному випадку номер класифікується як місцевий), крім цього, контролери дозволяють блокувати набір телефонних номерів, що починаються з певних цифр, що дозволяє операторові заборонити для конкретних користувачів, наприклад, міжміські дзвінки.

Припинення зв'язку при даному типі з'єднання ініціюється або мобільним абонентом шляхом натискання клавіші, що виконує функцію «Відбій» (у більшості станцій, сертифікованих для системи SmarTrunk, дану функцію виконує клавіша #), або

самою базовою станцією за сигналами різних таймерів, запрограмованих окремо для кожного користувача оператором, а саме: таймера дозволеної тривалості розмови й таймера допустимої відсутності мобільного абонента в ефірі.

У випадку, коли ініціатором виклику в системі SmarTrunk II є базова станція (наприклад, коли абонент АТС викликає мобільного абонента) процедура встановлення зв'язку здійснюється в такий спосіб.

Базова станція посилає в ефір цифровий «кадр виклику», структура якого наведена на рис. 1.8.

Синхросигнал 1400 Гц тривалістю $275\text{мс}+(n+1)\cdot 150\text{мс}$	Тип виклику	Пейджинговий код абонента	Ідентифікатор системи	Контрольна сума
--	----------------	------------------------------	--------------------------	--------------------

Рис. 1.8

Тривалість синхросигналу частотою 1400 Гц залежить від числа робочих каналів n і може становити від 725мс для 2-канальної системи до 2825мс в 16-канальній системі.

Синхросигнал змушує всі абонентські радіостанції, що прийняли його, зупинити сканування на час передачі всього «кадру виклику». Після цього на каналі залишається тільки радіостанція (або радіостанції - при груповому виклику), що має потрібний пейджинговий код абонента, а інші продовжують сканування.

Радіостанція, що прийняла виклик, надсилає на базову станцію відповідний пакет даних, який включає її пейджинговий код, і подає мобільному абонентові звуковий сигнал про виклик, що надійшов. Абонент повинен відреагувати натисканням клавіші «*» (зірочка) на клавіатурі радіостанції, у результаті чого вона передає в ефір цифровий «кадр відповіді» і з'єднання вважається встановленим. Далі абоненти ведуть переговори в напівдуплексному або дуплексному режимі, залежно від типу абонентської радіостанції.

Виклик мобільного абонента з міської мережі в системах, що використовують інтерфейс «Верба-Т», не відрізняється від звичайного телефонного дзвінка. У цьому випадку кожному абонентові присвоюється окремий номер телефонної мережі, а всі необхідні перетворення сигналів АТС, для успішної їхньої обробки транкінговим контролером, здійснює інтерфейс «Верба-Т». При цьому оператор системи SmarTrunk повинен орендувати на АТС відповідну номерну ємність.

У випадку невеликих систем відомчого призначення з обмеженим числом дзвінків від телефонних абонентів мобільним абонентам (зокрема, у випадку, якщо не потрібне підключення до мережі загального користування) можливий варіант виклику мобільного абонента з донабором. У цьому випадку, щоб подзвонити рухомому абонентові, треба набрати телефонний номер одного з ретрансляторів системи й після звукового сигналу про з'єднання набрати додатковий номер потрібного абонента, як правило, це необхідно робити в тональному режимі.

Якщо абонент недоступний (перебуває за межами зони обслуговування, вимкнув свою радіостанцію й т.п.) або зайнятий на іншому каналі, а також у випадку відсутності викликуваного номера в базі даних у телефонну лінію передається сигнал «Зайнято». Контролери ST-853 формують різні за тривалістю сигнали «Зайнято», що дозволяють з'ясувати причини відсутності зв'язку.

Якщо система SmarTrunk має кілька місць розташування базових станцій, а місцезнаходження викликуваного абонента заздалегідь невідоме, у випадку його недоступності необхідно спробувати встановити зв'язок через ретранслятори інших БС.

Роз'єднання при даному виді зв'язку може бути ініційовано або мобільним абонентом, або базовою станцією відповідно до установок таймерів.

Типовим способом з'єднання «мобільний абонент – мобільний абонент» є набір чотиризначного номера абонента системи й символів, що виконують функцію «Виклик» для даного типу з'єднання. У радіостанціях системи SmarTrunk звичайно дану функцію виконує набір «3*». При такому способі виклику досягається економія частотного ресурсу – два мобільних абоненти займають усього лише один канал системи при роботі в

напівдуплексному режимі. Для збереження режиму повного дуплекса застосовують спосіб виклику мобільного абонента з виходом у телефонну мережу. При цьому, якщо в складі базової станції використовується інтерфейс «Верба-Т», для всіх мобільних абонентів зберігається єдина нумерація й немає необхідності використовувати два різних номери абонента при телефонному й мобільному з'єднанні. Однак у цьому випадку два мобільних користувачі займають при такому способі з'єднання два канали системи, тобто частотний ресурс використовується менш ощадливо.

Для зручності абонентів передбачений спрощений режим виклику власної групи без набору номера шляхом натискання клавіші виклику, звичайно «4*». Крім того, радіостанції в системі SmartTrunk дозволяють використати ще більш простий режим виклику своєї групи - шляхом простого натискання на тангенту передачі. Застосування даного режиму (програмується оператором системи) дозволяє використати більш прості типи радіостанцій без клавіатури для абонентів, яким дозволена робота тільки в режимі групового виклику.

Припинення зв'язку при кожному з варіантів з'єднання розглянутого типу може бути активізовано кожним з мобільних абонентів або базовою станцією відповідно до установки таймерів.

За межами зони дії ТСР, після натискання клавіші «Вихід із транка» мобільні радіостанції можна використовувати у автономному режимі роботи. Так роблять і при одночасному використанні транкінгових радіостанцій й у звичайній конвенціональній диспетчерській мережі, що працює на інших частотах.

1.5. Системи транкінгового радіозв'язку стандарту МРТ-1327

На замовлення поштового відомства Великобританії (Ministry of Post and Telegraph - МРТ) для модернізації національних служб сухопутного рухомого зв'язку був розроблений новий стандарт, що вийшов у світ під назвою «МРТ 1327. A Signaling Standart for Trunked Private Land Mobile Radio Systems». Строго кажучи, цей документ завершував роботу над

цілим сімейством стандартів, без яких побудова систем була б неможливою:

- MPT 1317 (1981) Кодування при передачі цифрової інформації в сухопутних системах рухомого зв'язку;
- MPT 1318 (1986) Меморандум: Транкінгові системи в сухопутному мобільному зв'язку;
- MPT 1323 (1987) Стандарт, що регламентує параметри модуляції у використовуваних діапазонах частот;
- MPT 1327 (1988) Стандарт, що визначає протокол сигналізації (алгоритми взаємодії транкінгового контролера з абонентським устаткуванням);
- MPT 1331 (1987) Стандарт, що описує правила побудови базового устаткування зон (сайтів) системи;
- MPT 1343 (1988) Описує правила взаємодії абонентських радіостанцій із протоколом MPT 1327;
- MPT 1347 (1988) Доповнює стандарт MPT 1343 у частині специфікації радіоінтерфейсу;
- MPT 1352 (1988) Визначає процедури тестування й вихідного контролю абонентського устаткування.

За назвою одного з основних протоколів весь пакет документів став іменуватися як MPT1327.

Настільки повне зібрання стандартів по системі мобільного зв'язку, доступність і відкритість інформації, докладний опис правил, протоколів обміну, продумані рекомендації, не могли не зацікавити виробників апаратури зв'язку. До першопрохідників MPT 1327 належать фірми Philips, Fylde Microsystems, ROHD&SCHWARTZ, Nokia, Motorola, пізніше підключилися TAIT ELECTRONICS (Нова Зеландія), Zetron, Key Radio Systems

Limited (Великобританія), Kenwood, ICOM, Махон (Японія), Teltronic, S.A. (Іспанія) та ін. Зараз МРТ 1327 – один з найпоширеніших стандартів транкінгового зв'язку.

Системи зв'язку в стандарті МРТ 1327 є системами з виділеним каналом керування. Це означає, що вся необхідна керуюча й службова інформація, що циркулює по радіомережі між базовими й абонентськими станціями, передається по спеціально виділеному для цього радіоканалу (керуючий або контрольний канал). Для підвищення живучості системи, у випадках відмови керуючого каналу, кожний з каналів трафіка може взяти на себе його функції.

Керуючий канал є каналом передачі дискретних повідомлень у стандарті МРТ. Сигнали передаються з використанням частотної маніпуляції зі швидкістю 1200 Бод з використанням частот 1200 Гц й 1800 Гц. По цьому каналу передаються команди керування й деякі види даних (статусні й короткі повідомлення). Інші канали базової станції є робочими (трафіковими) і призначені для передачі мовної інформації й даних довільної довжини.

Стандартний варіант протоколу МРТ 1327 передбачає для радіоабонентів (РА) і абонентів телефонної мережі такі типи викликів:

- індивідуальний виклик радіоабонента за його номером або виклик абонента відомчої або міської АТС;
- груповий виклик заздалегідь визначеної групи радіоабонентів, при цьому кожен абонент може належати до декількох груп. Груповий виклик може перервати тільки абонент, що його ініціював. Можливе автоматичне підключення до групи радіостанцій, що були недоступними на момент ініціації виклику;
- віщальний виклик радіоабонентів за принципом «один говорить – усі слухають».

Протокол МРТ 1327 розроблений для систем із чергами на обслуговування, якщо зайняті всі робочі канали БС або зайнятий викликуваний абонент. Установлено три рівні пріоритетів на обслуговування:

- нормальний (Normal) - виклики обробляються в порядку надходження (First in First Out);
- високий (High) - виклики обробляються першими;

- аварійний (Emergency) - виклики обробляються позачергово, у тому числі може бути перерваний сеанс зв'язку, що почався на робочому каналі.

У системах стандарту МРТ 1327 передбачені широкі можливості з передачі даних.

Є можливість обміну 32 цифровими «статусними» повідомленнями довжиною 5 біт, зміст яких повинен бути визначений заздалегідь. Ці повідомлення передаються по каналу керування у вигляді чисел від 0 до 31. Два з них мають закріплене значення: 0 - «прохання дзвонити» (запит виклику у зворотному напрямку); 31 - «анулювання прохання дзвонити» (скасування запиту виклику у зворотному напрямку).

Інші числа можуть бути присвоєні довільно для повідомлень, орієнтованих на конкретне прикладне завдання, наприклад, «Готовий до виконання наступного завдання» або «Уточніть необхідні дані».

Короткі пакети даних (до 184 біт) так само можуть передаватися по каналу керування. Звичайно їх використовують у системах телеметрії, контролю доступу й визначення місця розташування в навігаційних системах.

Для передачі даних довільного формату й обсягу в системах МРТ 1327 необхідно використати окремий трафіковий канал.

Можливість передачі коротких повідомлень по каналу керування сприяє розвантаженню системи, підвищенню її пропускної здатності, забезпечує обмін інформацією навіть при зайнятості всіх робочих каналів.

Для спільного використання каналу керування більшою кількістю абонентських радіостанцій розроблений спеціальний протокол довільного доступу, що виключає конфлікти при одночасних запитах (викликах).

Технічна реалізація протоколу МРТ 1327 відкривала широке поле діяльності для розробників, оскільки в протоколах МРТ досить докладно описано, що потрібно робити, але ні слова про те, ЯК! у різних виробників є свої особливості побудови систем. Насамперед це стосується повноти реалізації списку протокольних вимог. Чим повніший цей список, тим дорожче виходить система. Природно, що самі виробники визначали рівень достатності, виходячи із запитів потенційних замовників і

вимог ринку. Сьогодні можна знайти будь-які пропозиції: від дешевих MPT 1327 – транкінгових контролерів вартістю кілька тисяч доларів (ZETRON model 827) до складних систем із практично необмеженою ємністю (ROHDE&SCHWARTZ система ACCESSNET).

Існуюча апаратури транкінгового радіозв'язку на базі протоколу MPT 1327 забезпечує можливості побудови систем трьох типів:

- однозонових (односайтових) систем із числом каналів від 1 до 24;
- багатозонових (регіональних) систем із загальним центром керування або складених із взаємозалежних однозонових систем із самостійними центрами керування, для яких передбачено максимум до 16 стільників (зон);
- міжрегіональної (національної) системи, що складається з декількох взаємозалежних регіональних систем і може має до 512 стільників (зон).

В Україні багато фірм пропонують комплектну поставку устаткування систем транкінгового радіозв'язку стандарту MPT, включаючи проектування, монтаж і запровадження в дію пристроїв, навчання персоналу, сервісне обслуговування. Найбільш відомі системи ACTIONET фірми NOKIA, Tait фірми Tait Electronics Ltd, а так само апаратура фірми SIMOCO (колишній підрозділ PHILIPS), Fylde Microsystems й ін.

Транкінгові системи TAITNET, ACTIONET дозволяють реалізувати повний спектр можливостей, які можуть бути надані системами протоколу MPT 1327. Ці системи мають модульну структуру й дозволяють побудувати мережі різного рівня: зональні, регіональні й міжрегіональні з можливістю їхнього поетапного розвитку.

Транкінгові системи фірм SIMOCO, Fylde Microsystems дозволяють будувати відносно недорогі однозонові й багатозонові мережі регіонального рівня.

У загальному випадку TSP на базі стандарту MPT 1327 є багатозоновими і являють собою сукупність базових станцій, вузлів комутації й керування та абонентських радіостанцій.

Устаткування базової станції складається з апаратури декількох радіоканалів, кожний з яких включає: передавач (ПРД), приймач (ПРМ), блок живлення й керуючий мікропроцесорний транкінговий контролер каналу (ТКК). Устаткування кожного радіоканалу є однотипним і кожний з каналів може бути використаний або як керуючий, або як канал передачі мовних сигналів.

У складі базових станцій застосовують антенно-фідерні пристрої з можливістю об'єднання сигналів. При цьому кілька передавачів і приймачів підключають до двох різних (передавальної і приймальної) антен з використанням додаткових фільтруючих елементів.

Всі контролери каналів БС об'єднані високошвидкісною шиною обміну даними. До цієї ж шини підключається загальнозоновий системний контролер зовнішніх зв'язків (інтерфейсу) - СКІ, що забезпечує взаємодію з комутатором (у випадку однієї зони) і (або) з контролером регіонального керування (КРК).

Крім функцій керування, КРК забезпечує стикування з відомчими й міськими АТС, а так само взаємодію з міжрегіональним контролером.

У системах МРТ 1327 передбачене використання спеціальних терміналів («лінійних пристроїв»), що виконують функції відомчих диспетчерських пультів. Вони підключаються до КРК по провідних лініях зв'язку, мають власний абонентський номер у транкінговій системі й дають можливість безпосереднього виходу в транкінгову мережу. У свою чергу радіоабоненти можуть викликати лінійні пристрої так само, як вони викликають інших радіоабонентів.

Контролер міжрегіонального керування (КМРУ) (Inter-Regional Processor) поєднує системи регіонального рівня. Протокол МРТ 1327 у принципі може забезпечити такі граничні параметри транкінгових систем:

- до 1036800 абонентських адрес на систему;
- до 32768 системних ідентифікаційних кодів;
- до 1024 керуючих каналів.

Природно, такі гігантські цифри не реалізуються на практиці. Одна із найбільших мереж Chekker Network, що

належить Deutsche Telekom і використовує апаратуру ACCESSNET фірми Rohde&Schwarz, має близько 900 каналів, приблизно 160 базових станцій і близько 62000 абонентів, однак складається з декількох не зв'язаних між собою транкінгових систем [4].

Транкінгові контролери ТКК можуть самостійно виконувати деякі функції протоколу MPT 1327, яких у принципі досить, щоб підтримувати роботу одного каналу в транкінговій системі, навіть якщо все інше устаткування вийде з ладу.

В автономному режимі ТКК дозволяє забезпечити:

- локальний, у межах зони обслуговування даної базової станції, голосовий зв'язок, передачу даних і статусних повідомлень;

- при наявності більш ніж одного працездатного каналу (тобто при можливості організації каналу керування) постановку в чергу;

- опитування датчиків стану й індикацію несправностей.

На додаток до функцій ТКК, СКІ забезпечує:

- визначення повноважень радіоабонентів (свій - чужий);
- нагромадження інформації про сеанси зв'язку через дану БС і підготовку статистичної інформації із завантаження;
- зв'язок ТКК із «зовнішнім світом», звичайно, через КРК.

Можлива конфігурація системи при об'єднанні двох зон наведена на рис. 1.9. До СКІ через послідовний порт RS-232 (якщо необхідно, використовуючи модеми) підключається контролер регіонального керування КРК в складі регіонального системного процесора (РСП) і комутаційного обладнання (КО) розмовних ланцюгів.

КО здійснює комутацію вхідних сигналів з перетворенням їх у первинний цифровий потік зі швидкістю 2,048 Мбіт/с (потік E1 по G703) і відновлення аналогової форми сигналів на виході комутатора. Керування комутацією і процесом передачі сигналів керування та взаємодії в системі здійснює РСП. Таким чином, КРК фактично є електронною цифровою АТС регіональної транкінгової радіотелефонної мережі. За допомогою міжрегіонального контролера КМРУ, що представляє системну АТС, можуть бути створені більші мережі необхідної ємності.

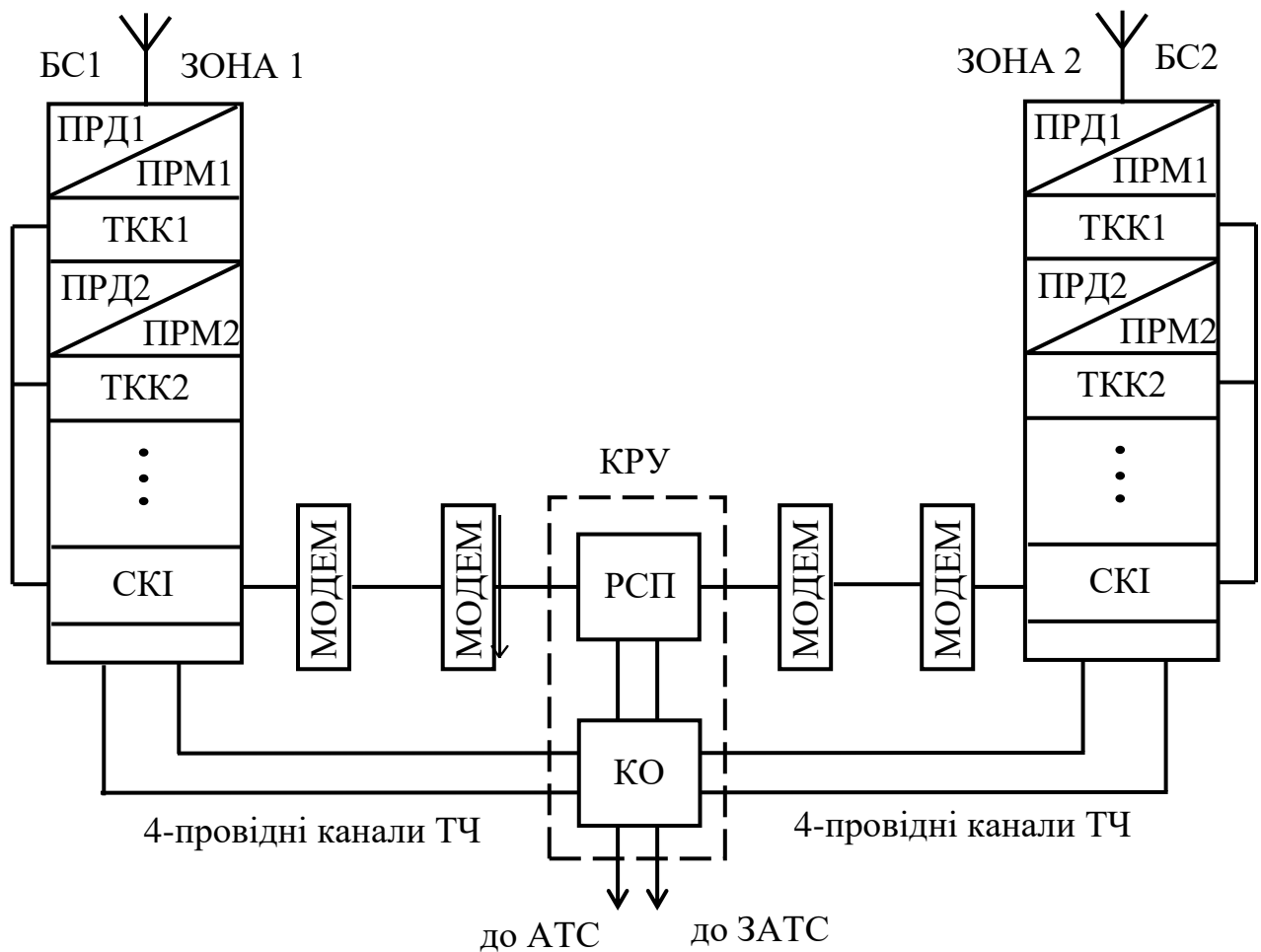


Рис. 1.9. Устаткування транкінгової мережі стандарту МРТ

На КРК заводяться з'єднувальні лінії від низькочастотних виходів приймачів і модуляційних входів передавачів ретрансляторів різних зон, а так само з'єднувальні лінії для зв'язку з абонентами відомчих залізничних ЗАТС і міських АТС.

Пристрої ТКК і СКІ забезпечують керування транкінговою радіомережею МРТ 1327, використовуючи канал керування. Обмін інформацією здійснюється в режимі часового поділу. Базова станція посилає повідомлення у фіксованому форматі пакетами даних у певні часові вікна, надаючи інші вікна для приймання сигналів від мобільних станцій, що працюють у режимі двочастотного симплекса.

Формат переданих повідомлень передбачає передачу інформації різного призначення, а також забезпечує необхідну тактову синхронізацію й синхронізацію по часових вікнах,

гнучку систему адресації абонентів і різних типів викликів. Передача інформації в каналі керування ведеться з контролем якості й корекцією помилок.

Абонентські станції АС (мобільні й портативні) так само оснащені контролерами, що реалізують МРТ протокол. При включенні АС, вони під управлінням контролера шукають і вибирають керуючий канал, що задовольняє вимоги за рівнем прийнятого сигналу й коефіцієнта помилок. Потім передають на базову станцію інформацію, що визначає статус абонента, тим самим, реєструючись у даній зоні.

Із цього моменту АС постійно прослуховує керуючий сигнал, а система знає, що дана радіостанція увімкнена й перебуває в зоні дії даної БС. Якщо якість приймання стане незадовільною (наприклад, внаслідок виходу за зону дії даної БС), АС повторює цикл пошуку нового керуючого каналу й реєстрації в ньому.

У багатозонових системах база даних про статус кожного абонента є єдиною для всієї мережі, тому пошук зони викликуваного абонента й маршрутизація виклику здійснюється системою автоматично, що наближає можливості транкінгової мережі МРТ до стільникових мереж. У той час як у мережах SmartTrunk II викликаючий абонент повинен сам шукати необхідну БС, здійснюючи повторні виклики в кожній із зон, доступних для викликуваного абонента.

При виклику з боку мобільного абонента, набраний номер разом з вимогою на з'єднання й інформацією про викликуваного абонента передається АС по каналу керування на базову станцію (під час наданого тимчасового вікна). Система передає виклик по керуючому каналу тієї БС, у зоні дії якої зареєстрована викликувана АС. Викликувана АС, розпізнавши адресований їй виклик, автоматично передає по керуючому каналу підтвердження. Приймавши сигнал підтвердження, БС по каналу керування посилає обом мобільним радіостанціям сигнал перемикання на частоту вільного розмовного каналу й зв'язок між абонентами встановлюється. Час встановлення з'єднання при внутрішньозонових групових викликах становить 213 мс, при індивідуальних – 426 мс.

У випадку зайнятості викликуваного абонента, або при відсутності вільного каналу трафіка, посилають відповідні сигнали сповіщення, а виклик буде поставлений у чергу, з урахуванням пріоритетів абонентів.

Виділений канал (канали) залишається зайнятим до закінчення з'єднання. Запит на відбій передається АС по розмовному каналу, після чого БС формує команду відбою радіостанціям, що беруть участь у даному з'єднанні.

1.6. Цифрові системи транкінгового радіозв'язку стандарту TETRA

Тенденція до переходу від аналогових до цифрових транкінгових систем насамперед пов'язана з вимогою користувачів підвищити безпеку зв'язку на радіоінтерфейсі, забезпечити більш ефективне використання радіочастотного спектра, поліпшити якість зв'язку, передавати дані з високою швидкістю.

Перша цифрова транкінгова система EDACS (Enhanced Digital Access Communication System) була розроблена фірмою Ericsson (Швеція) і впроваджена в Скандинавських країнах для обслуговування поліції й служб безпеки.

У цей час реалізація цієї тенденції насамперед пов'язана із впровадженням транкінгових систем відкритого загальноєвропейського стандарту TETRA (Trans European Trunked Radio), розробленого Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів ETSI (European Telecommunications Standards Institute). У певному сенсі розробка стандартів TETRA є розвитком систем MPT 1327 на основі використання технологій стільникових мереж GSM [5].

Стандарт TETRA складається із двох частин: TETRA V+D (TETRA Voice+Data) – стандарту на інтегровану систему передачі мови й даних, і TETRA PDO – стандарту, що описує спеціальний варіант транкінгової системи, орієнтованої тільки на передачу даних.

Функціональні схеми побудови різних мереж зв'язку стандарту TETRA являють собою сукупність елементів мережі, з'єднаних специфікованими інтерфейсами, аналогічно принципам побудови мереж стандарту MPT-1327.

Базова прийомопередавальна станція, що забезпечує зв'язок у певній зоні, виконує основні функції, пов'язані з передачею радіосигналів, шифруванням ліній зв'язку, просторово-рознесеним прийманням, керуванням радіоканалами.

Пристрій керування (контролер) забезпечує керування декількома базовими станціями й забезпечує доступ до зовнішніх мереж, а також використовується для підключення диспетчерських пультів і терміналів для експлуатаційного й технічного обслуговування. У мережах TETRA контролери базової станції можуть виконувати функції сполучення з іншими мережами TETRA і керування централізованими базами даних.

Диспетчерський пульт – пристрій, що підключається до контролера БС по провідній лінії й забезпечує обмін інформацією між оператором (диспетчером мережі) й іншими абонентами.

Термінал технічного обслуговування й експлуатації призначений для контролю за станом системи, проведення діагностики, внесення змін у базу даних абонентів, обліку тарифікаційної інформації й т.п.

Специфікації стандарту TETRA не накладають обмежень на архітектуру мережі зв'язку. Завдяки модульному принципу побудови можуть бути реалізовані різноманітні конфігурації мереж зв'язку з різними ієрархічними рівнями й географічною довжиною - від локальних до національних. Функції керування базою даних і комутації розподіляються по всій мережі, що забезпечує швидку передачу викликів і збереження обмеженої працездатності мережі навіть при втраті зв'язку з її окремими елементами.

Функції мережного обслуговування й міжсистемної взаємодії в стандарті TETRA поділяються специфікаціями на такі інтерфейси:

- радіоінтерфейс, що визначає взаємодію базової станції з абонентськими радіостанціями;
- радіоінтерфейс безпосереднього з'єднання між двома абонентськими радіостанціями;
- інтерфейс провідного зв'язку з диспетчерськими пультами;
- міжсистемний інтерфейс для організації зв'язку між контролерами базових станцій різних мереж;
- інтерфейс зв'язку між терміналом передачі даних і мобільною станцією або диспетчерським пультом;
- інтерфейс для підключення до відомчих залізничних АТС (ЗАТС), до телефонної мережі загального користування (ТфОП), цифрової мережі інтегрального обслуговування (ЦМІО), мережі з комутацією пакетів (МКП);
- інтерфейс керування мережею.

Радіоінтерфейс стандарту TETRA передбачає роботу в стандартній сітці частот із кроком 25 кГц. На одній фізичній частоті може бути організовано 4 незалежних часових канали. Необхідний мінімальний дуплексний рознос радіоканалів – 10 МГц. Для систем стандарту TETRA можуть використовуватися діапазони частот від 385 до 921 МГц.

Повідомлення передаються мультикадрами тривалістю 1,02 с. Мультикадр містить 18 кадрів, один із яких є контрольним. Кожен кадр має тривалість 56,67 мс і містить 4 часових інтервали для кожного часового каналу. Кожен часовий інтервал містить 510 біт, з яких 432 біт є інформаційними.

У системах стандарту TETRA використовується відносна фазова модуляція типу $\pi/4$ DQPSK, швидкість модуляції – 36 кбіт/с.

Системи стандарту TETRA можуть функціонувати в режимах:

- транкінгового зв'язку;
- з відкритим каналом;
- безпосереднього зв'язку.

У режимі з відкритим каналом група абонентів має можливість здійснювати зв'язок без будь-яких установчих процедур.

У режимі безпосереднього (прямого) зв'язку між абонентами встановлюється зв'язок без передачі сигналів через базові приймально-передавальні станції.

У системах стандарту TETRA мобільні станції можуть працювати в т.зв. режимі «подвійного спостереження» (Dial Watch), при якому забезпечується приймання повідомлень від абонентів, що працюють як у режимі транкінгового, так і прямого зв'язку. Забезпечується індивідуальний і груповий виклик абонентів, а також циркулярний зв'язок з віщальним викликом (однобічною передачею мовної інформації від викликаючої сторони).

У стандарті TETRA можлива передача даних з комутацією каналів, з комутацією пакетів, а також у вигляді коротких повідомлень.

Основними мережними процедурами у стандарті TETRA є:

- реєстрація мобільних абонентів (процедура закріплення абонента за однією або декількома базовими станціями й забезпечення можливості переміщатися із зони в зону без втрати зв'язку);
- повторне встановлення зв'язку (забезпечення можливості заміни базової станції, використовуваної абонентом, у випадку погіршення умов зв'язку);
- аутентифікація абонентів (установлення дійсності абонентів для виключення несанкціонованого доступу);
- відключення/підключення абонента (процедура відключення (підключення) абонента від (до) мережі з його ініціативи);
- відключення абонента оператором мережі (процедура блокування роботи абонентського терміналу оператором мережі);
- керування потоком даних (забезпечення можливості мережі перемикає на себе потік даних, спрямований до певного абонента).

За заявкою Асоціації європейської поліції (Schengen Group), що співробітничав з технічним комітетом ETSI, у стандарт TETRA уведено такі послуги:

- виклик, санкціонований диспетчером (режим, при якому виклики надходять тільки із санкції диспетчера);

- пріоритетний доступ (у випадку перевантаженості мережі доступні ресурси розподіляються у відповідності до схеми пріоритетів);
- пріоритетний виклик (присвоєння викликів у відповідності до схеми пріоритетів);
- вибіркове прослуховування (перехоплення виклику без впливу на роботу інших абонентів);
- дистанційне прослуховування (дистанційне увімкнення абонентської радіостанції на передачу для прослуховування обстановки в абонента);
- динамічне перегрупування (динамічне створення, модифікація й видалення груп користувачів).

Стандарт TETRA надає користувачам ряд додаткових послуг:

- вибір зони (задання користувачем зони для маршрутизації виклику);
- ідентифікація номера викликаючого абонента (визначення й відображення на терміналі викликуваного користувача ідентифікаційного номера викликаючого абонента);
- обмеження ідентифікації викликаючого абонента (заборона визначення й відображення на терміналі викликуваного абонента ідентифікатора викликаючого користувача);
- ідентифікація викликуваного абонента;
- обмеження ідентифікації викликуваного абонента;
- повідомлення про виклик (інформування користувача про виклик його певним абонентом);
- безумовна переадресація викликів (перенаправлення викликів на певний номер);
- переадресація викликів при зайнятості абонента (перенаправлення викликів при зайнятості абонента);
- переадресація викликів у відповідь (перенаправлення викликів, якщо абонент не відповідає);
- переадресація викликів при перебуванні абонента поза зоною зв'язку;
- виклик з використанням списку абонентів (виклик направляється по першому доступному номеру зі списку абонентів);

- адресація з використанням коротких номерів (використання попередньо визначених укорочених номерів);
- очікування виклику (сповіщення користувача, що веде переговори, про надходження іншого виклику; виклик може бути прийнятий, пропущений або відкинутий);
- утримання виклику (переривання й наступний пошук виклику);
- завершення виклику для зайнятого абонента (затримка виклику абонента до моменту звільнення його номера);
- передача даних керування (передача даних керування груповим викликом іншому користувачеві);
- підключення виклику (увімкнення режиму, при якому один користувач, взаємодіючи з іншим, може зробити учасником переговорів третього абонента);
- блокування певних категорій викликів;
- заборона на використання абонентом певних категорій вихідних викликів;
- збереження виклику (запобігання пріоритетного переривання при веденні сеансу зв'язку);
- інформація про оплату (надання користувачеві відомостей про вартість розмови).

Стандарт TETRA забезпечує два рівні безпеки переданої інформації:

- стандартний рівень, що використовує шифрування радіоінтерфейсу (забезпечується рівень захисту інформації, аналогічний системі стільникового зв'язку GSM);
- високий рівень, що використовує наскрізне шифрування (від джерела до одержувача).

Засоби захисту радіоінтерфейсу стандарту TETRA включають механізми аутентифікації абонента й інфраструктури, забезпечення конфіденційності трафіка за рахунок потоку псевдоімен і специфікованого шифрування інформації. Певний додатковий захист інформації забезпечується можливістю перемикання інформаційних каналів і каналів керування в процесі ведення сеансу зв'язку.

Більш високий рівень захисту інформації є вимогою спеціальних груп користувачів. Наскрізне шифрування забезпечує захист мови й даних у будь-якій точці лінії зв'язку між стаціонарними й мобільними абонентами.

На сьогоднішній день устаткування систем цифрового радіозв'язку коштує значно дорожче, ніж аналогові системи. Як відзначається в [5], при розгортанні системи кожного зі стандартів цифрового радіозв'язку, що обслуговує кілька сотень абонентів, мова йде вже не про тисячі, а про мільйони доларів. Причому вартість базового устаткування багатозонової цифрової мережі радіозв'язку на основі систем із частотним поділом каналів (EDACS, APCO, Tetrapol) буде на 30-50% менше, ніж у системах з часовим поділом каналів, навіть при однаковій вартості одиниці устаткування. Це пояснюється істотно меншим радіусом зон обслуговування в системах, що використовують часовий поділ каналів.

У цей час світовий ринок систем стандарту TETRA стрімко розширюється. Практично всі відомі фірми-виробники устаткування радіозв'язку приступили до поставок перших багатозонових систем. При цьому вони, як правило, демонструють різні підходи до рішення проблем, що виникають при розгортанні систем стандарту TETRA, у першу чергу в питаннях взаємодії існуючих аналогових і створюваних цифрових мереж.

Ряд фірм виходять із того, що аналогові й цифрові системи призначені для використання в різних секторах ринку, і покупцям аналогових систем ні зараз, ні в найближчому майбутньому не знадобиться перехід до цифрової системи. Такий підхід демонструє фірма Nokia, пропонуючи свої системи Actionet (стандарт MPT1327) і Nokia TETRA. Сполучення цих систем можливе тільки шляхом установки буферної АТС.

Фірма Rohde & Schwarz передбачила спеціальний шлюз-конвертор протоколів сигналізації для об'єднання систем Accessnet (стандарт MPT 1327) і Accessnet -T (стандарт TETRA). Застосування такого шлюзу дозволить функціонувати об'єднаним з його допомогою системам як єдиної транкінгової мережі. Причому в загальні групи абонентів такої мережі можуть входити абоненти як аналогової, так і цифрової систем – шлюз

автоматично забезпечить доведення викликів до всіх членів групи.

Фірма Motorola планує свою аналогову фірмову закриту систему Smartzone перетворити в цифрову систему Dimetra (стандарт TETRA) шляхом лише часткової заміни базового устаткування.

У країнах СНД широку популярність одержали системи Nokia TETRA й ELETTRA фірми OTE.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Принципи класифікації систем транкінгового радіозв'язку.
2. Переваги транкінгових систем у порівнянні з конвенціональними мережами.
3. Структура й склад устаткування транкінгових систем.
4. Основні стандарти аналогових систем транкінгового радіозв'язку.
5. Цифрові стандарти й системи транкінгового радіозв'язку.
6. Послуги мереж транкінгового зв'язку.
7. Принципи визначення необхідного числа каналів базових станцій транкінгових систем.
8. Можливості організації багатозонових мереж на основі апаратури протоколу SmartTrunk.
9. Особливості організації зв'язку в мережах на основі апаратури стандарту MPT 1327.
10. Особливості цифрової транкінгової системи TETRA.
11. Забезпечення електромагнітної сумісності багатоканальних базових станцій транкінгових систем.

2. ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНКІНГОВИХ СИСТЕМ У МЕРЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

2.1. Призначення та склад мереж залізничного технологічного радіозв'язку

Правила технічної експлуатації залізниць України [9] передбачають застосування засобів радіозв'язку у всіх технологічних ланках роботи: для керівництва станційною і поїзною роботою, технічним обслуговуванням і ремонтом споруджень і пристроїв, проведенням аварійно-відбудовних робіт.

З урахуванням технологічних особливостей радіомереж комплексна система залізничного технологічного радіозв'язку «Транспорт» включає: станційний радіозв'язок (СРЗ), поїзний радіозв'язок (ПРЗ) і ремонтно-оперативний радіозв'язок (РОРЗ). На рис. 2.1 наведена класифікація радіомереж.

Станційний радіозв'язок призначений для забезпечення радіопереговорів абонентів при виконанні різних технологічних процесів на території залізничних станцій і вузлів. Основні характеристики цих мереж наведені в табл. 2.1. Всіх абонентів радіомереж СРЗ можна розділити на три групи [10].

До першої групи відносять працівників, які беруть безпосередню участь у виконанні маневрової та гіркової роботи. Це – маневровий диспетчер (ДСЦ), станційний диспетчер (ДСЦС), черговий по станції (ДСП), чергові по парках прийому (ДСПП), формування (ДСПФ) і відправлення (ДСПО), чергові (ДСПГ) і оператори гіркових постів, складачі поїздів, машиністи маневрових і гіркових локомотивів. Для цієї групи абонентів організують радіомережі СРС-МГ, основною особливістю яких є високі вимоги до оперативності зв'язку і, у зв'язку із цим, доцільність використання закріплених каналів.

Радіомережі технічного персоналу СРЗ-Т організують для працівників, що забезпечують огляд і ремонт рухомого складу, контроль і охорону вантажів, технічне обслуговування і ремонт станційних пристроїв. Цю групу абонентів становлять працівники пунктів технічного обслуговування вагонів (ПТО) і комерційного огляду вантажів (ПКО), станційних технологічних центрів (СТЦ), воєнізованої охорони (ВОХР), електромеханіки СЦБ та ін.

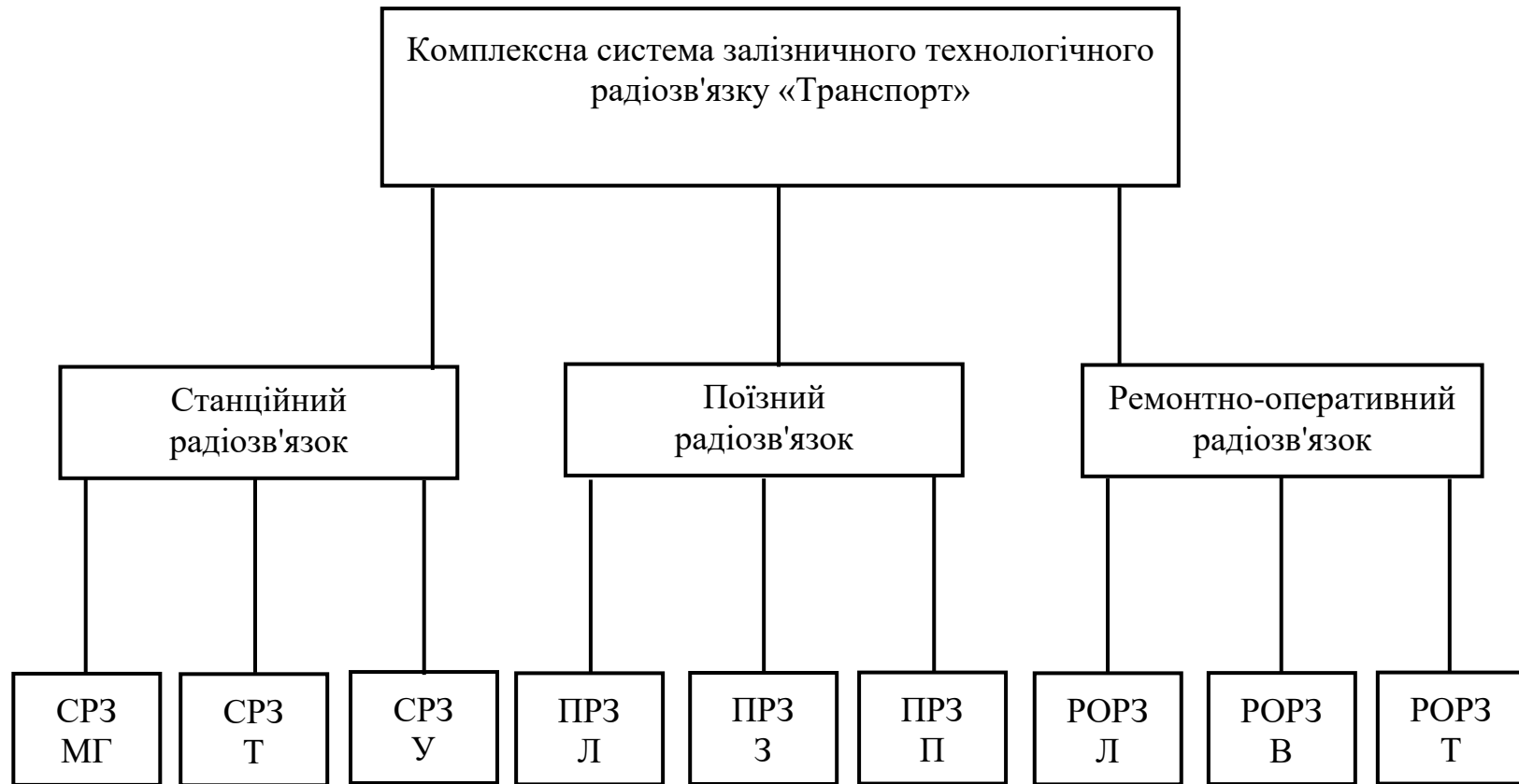


Рис. 2.1. Класифікація мереж залізничного технологічного радіозв'язку

Таблиця 2.1

Основні характеристики мереж технологічного радіозв'язку на станціях і вузлах

Назва радіомереж	Склад абонентів радіомереж	Кількість радіостанцій при автономній організації радіомереж			Допустимий час очікування зв'язку $t_{оч}$, с
		стаціонарних РС	возимих РВ	портативних РН	
Гірковий радіозв'язок	Черговий по гірці (оператор), машиністи гіркових локомотивів, гіркові складачі, регулювальники швидкості відчеплень	1-2	2-4	2-7	1-2
Маневровий радіозв'язок	Маневровий диспетчер, чергові по парках, складачі поїздів, машиністи маневрових локомотивів	1-3	2-5	2-5	3-5
Радіозв'язок працівників ПТО	Оператор ПТО, оператор гальмових засобів, оглядачі вагонів, оглядачі автогальм	1-2	-	4-12	10-20
Радіозв'язок працівників ПКО	Оператор ПКО, комерційні оглядачі, робітники по усуненню браку	1-2	-	2-14	10-20
Радіозв'язок працівників СТЦ	Оператор СТЦ, переписувачі вагонів СТЦ	1	-	1-3	10-20
Радіозв'язок працівників ВОХР	Начальник варти, стрільці-вартові	1	-	3-5	10-20
Радіозв'язок електромеханіків СЦБ і зв'язку	Старший електромеханік, електромеханіки СЦБ і зв'язку	1-2	-	2-7	10-20
Радіомережі на великих залізничних станціях і вузлах	Диспетчери: ШЧ, ПЧ, ЕЧ, ТЧ, ВЧД й ін.	3-9	20-90	5-10	30-40

Особливу групу абонентів станційного радіозв'язку становлять диспетчери лінійних підрозділів ШЧ, ПЧ, ЕЧ та інші і рухомі ремонтні бригади на території великих залізничних станцій і вузлів. Характерними рисами цих абонентів є можливість очікування встановлення з'єднання, підвищені дальності зв'язку й необхідність виходу на цілий ряд оперативних керівників. Так, рухомих групам з ремонту пристроїв зв'язку і СЦБ необхідний радіозв'язок з диспетчерами ШЧ, ПЧ, енергодільниці і вузловим диспетчером.

Для цих абонентів доцільна організація радіомережі СРЗ-У із використанням групи рівнодоступних каналів. За сформованою зараз термінологією такі радіомережі називають транкінговими [4]. Використання загальної групи каналів всіма абонентами дозволяє істотно підвищити оперативність зв'язку й ефективність використання радіочастот.

Система поїзного радіозв'язку включає [14] :

- лінійні мережі (ПРЗ-Л) для радіозв'язку поїзного диспетчера з машиністами поїзних локомотивів у межах усієї диспетчерської дільниці;
- зонні радіальні мережі (ПРЗ-З) для радіозв'язку машиністів поїзних локомотивів з особами, які пов'язані з поїзною роботою й розосереджені в межах диспетчерської дільниці;
- мережі службового пасажирського радіозв'язку начальника поїзда (ПРЗ-П).

Основними абонентами зонних мереж ПРЗ-З є: чергові по станціях, машиністи зустрічних поїздів та поїздів, що йдуть слідом, сигналісти ремонтних підрозділів на перегоні, стрільці воєнізованої охорони в поїздах і на об'єктах, що охороняються.

Радіомережі начальника пасажирського поїзда ПРЗ-П призначені для переговорів з машиністом локомотива та абонентами станцій, які пов'язані з обслуговуванням пасажирів: черговими по відправленню поїздів, диспетчерами бюро по розподілу місць, лінійними медичними пунктами, підрозділами міліції та ін.

Ремонтно-оперативний радіозв'язок призначений для організації оперативного керування проведенням робіт з поточного утримання й ремонту пристроїв залізничного

транспорту. Мережі РОРЗ забезпечують зв'язком широке коло працівників колійного й енергогосподарств, служби сигналізації та зв'язку та ін., що перебувають на рухомому або тимчасовому стаціонарному об'єктах на перегонах залізниць.

Залежно від призначення й способу організації розрізняють три різновиди радіомереж ремонтно-оперативного зв'язку: лінійну диспетчерську мережу РОРЗ-Л, внутрішню радіомережу в зоні проведення робіт на перегоні РОРЗ-В, службовий оперативний радіозв'язок з виходом абонентів у мережі відомчого телефонного зв'язку РОРЗ-Т [15].

Мережі РОРЗ-Л призначені для переговорів керівників ремонтних робіт на перегонах з поїзним і енергодиспетчерами, з диспетчерами дистанцій колії, сигналізації і зв'язку, контактної мережі.

Структурна схема, що пояснює організацію мереж ремонтно-оперативного радіозв'язку на перегонах, наведена на рис. 2.2 [12].

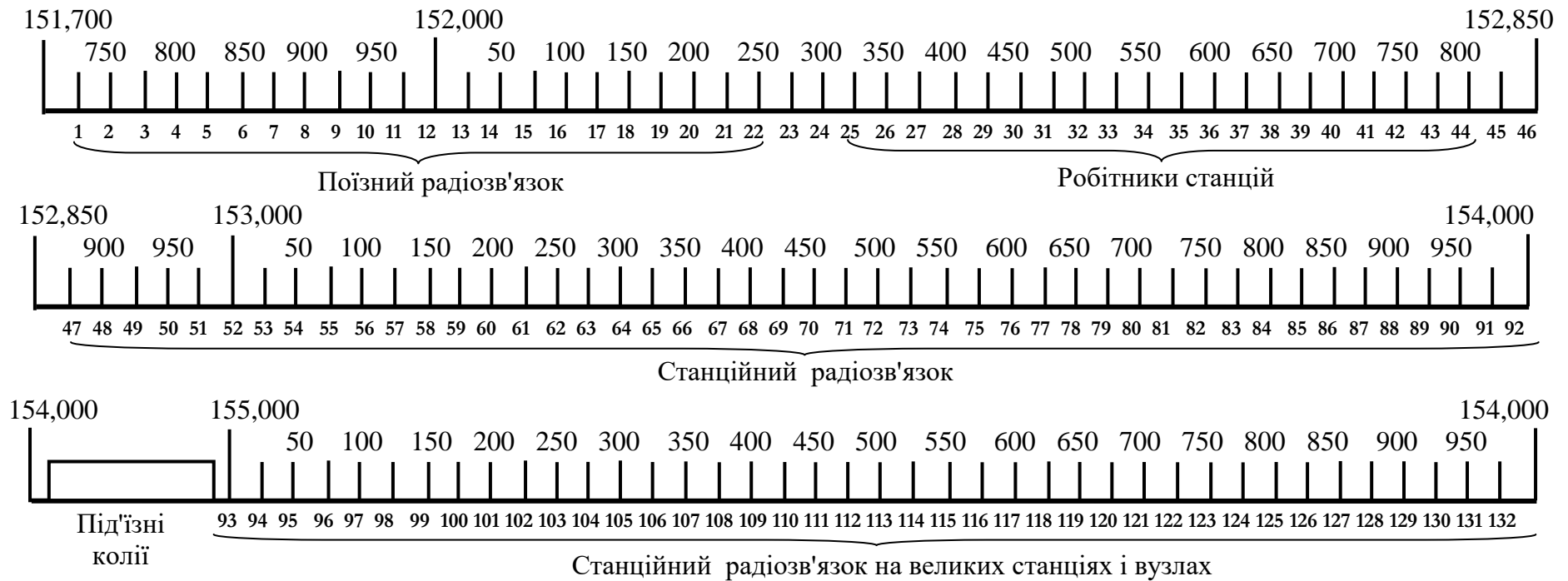
Мережі РОРЗ-В забезпечують радіозв'язок керівників ремонтних й аварійно-відбудовних робіт на перегонах з виконавцями і сигналістами, які огорожують зону проведення робіт.

Абоненти оперативного радіотелефонного зв'язку РОРЗ-Т повинні мати вихід у мережі відомчого службового телефонного зв'язку, щоб забезпечувати більші можливості координації дій всіх керівників технологічних процесів у першу чергу на великих залізничних станціях і вузлах. Організація таких радіомереж доцільна з використанням групи рівнодоступних каналів.

Для організації мереж технологічного радіозв'язку в системі «Транспорт» використовують канали в трьох діапазонах радіохвиль: гектометровому (2.13; 2.15 МГц), метровому і дециметровому. Сітка частот системи «Транспорт» у метровому і дециметровому діапазонах, а також таблиці розподілу каналів наведені на рис. 2.3 - 2.5.

У сітці частот на рис. 2.3 показані умовні номери радіоканалів і їхня частота. У таблицях на рис. 2.4 і 2.5 наведені рекомендовані групи інтермодуляційно сумісних частот для радіомереж різного призначення. Докладні рекомендації з вибору робочих частот радіомереж наведені в [25].

Симплексні канали



Дуплексні радіоканали

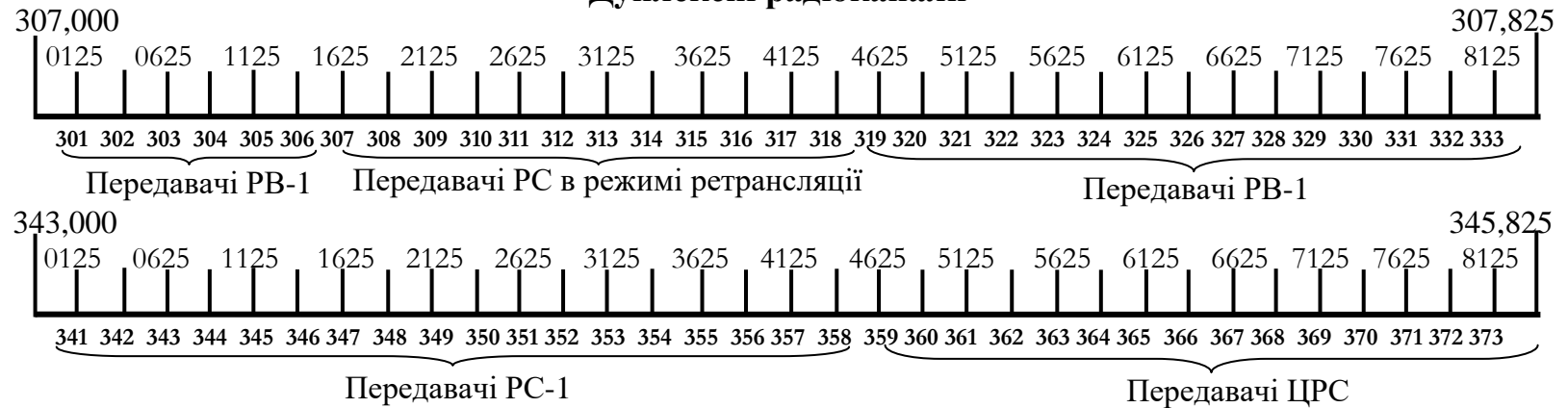


Рис. 2.3. Сітка частот системи «Транспорт»

Номери частот станційного радіозв'язку

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

Номери частот радіозв'язку працівників станції

Номер групи	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
ОТК	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

Номери частот радіозв'язку у середині фронту ремонтних робіт

Номер групи	1	2	3	4	5	6
Колійники	43	20	23	43	38	23
Енергетики	41	33	30	41	33	30
Зв'язківці	18	42	35	18	42	35

Рис. 2.4. Таблиці номерів каналів у системі «Транспорт»
Номери частот поїзного дуплексного радіозв'язку

Номер групи		1	2	3	4	5	6
Передавачі РС	f_1	341	342	343	344	345	355
	f_2	347	346	349	348	350	357
	f_3	351	352	353	354	356	358
Передавачі РВ1	f_4	301	302	303	304	305	315
Передавачі РС в режимі ретрансляції	f_5	307	306	309	308	310	317
	f_6	311	312	313	314	316	318

Номери частот поїзного симплексного радіозв'язку

Номер групи		1	2	3	4	5	6
Основний канал ПРЗ	f_d	26	25	22	16	14	9
Бригадир і ЛБК	f_c	34	34	34	34	34	34
Стрілець	f_n	12	12	12	12	12	12
Черговий по депо	f_k	11	11	11	11	11	11
Керівник ремонтних робіт	f_l	8	3	15	7	1	2
Чергові по перону і по вокзалу	f_m	3	21	6	3	6	29
Міліція	f_i	4	4	4	4	4	4
Допоміжний канал ПРС	f_t	36	36	36	36	36	36

Номери частот ремонтно-оперативного дуплексного радіозв'язку

Номер групи		1	2	3
Передавачі ЦРС	f_1	359	364	367
	f_2	360	366	368
	f_3	363	369	371
	f_4	365	370	373
Передавачі РВ-8	f_5	319	324	327
	f_6	320	326	328
	f_7	323	329	331
	f_8	325	330	333

Рис. 2.5. Таблиці номерів каналів у системі «Транспорт»

Лінійні мережі симплексного поїзного радіозв'язку ПРЗ-Л(с) організують у гектометровому діапазоні радіохвиль на частотах 2,13 і 2,15 МГц. При цьому для передачі сигналів радіочастот широко використовують різні спрямовуючі лінії, що проходять уздовж ділянок залізниць [14]. На ділянках з інтенсивним рухом поїздів передбачається організація дуплексних мереж поїзного радіозв'язку ПРЗ-Л(д) у діапазоні дециметрових радіохвиль на каналах в області частот 307 і 343 МГц.

Зонні мережі ПРЗ-З організують у діапазоні метрових радіохвиль відповідно до таблиць розподілу каналів (див. рис. 2.5). При цьому виклик необхідного абонента і радіопереговори здійснюються на закріпленій за ним частоті.

Всі мережі станційного радіозв'язку, мережі РОРЗ-Л і РОРЗ-В ремонтно-оперативного радіозв'язку організуються на відповідних частотах метрового діапазону.

Мережі оперативного технологічного радіозв'язку РОРЗ-Т є дуплексними і організуються в діапазоні дециметрових радіохвиль на частотах, виділених для передавачів центральної стаціонарної радіостанції (ЦРС) і мобільних радіостанцій РВ-8.

Із самого початку розробки системи залізничного радіозв'язку, що одержала назву «Транспорт» (Постанова Державного комітету з науки і техніки при РМ СРСР № 356 від 24 вересня 1976 р.), передбачалося використання апаратури з рівнодоступними каналами для організації мереж СРЗ-У у діапазоні 160 МГц і мереж РОРЗ-Т з виходом у ЗАТС – у діапазоні 330 МГц. Була розроблена й відповідна апаратура: радіостанції РС-5 і РВ-4 - для мереж СРЗ-У, радіостанції РС-7 і РВ-8 – для мереж РОРЗ-Т [1, 10]. Хоча надалі, з різних причин, впровадження цих радіозасобів не було здійснено, використання апаратури з рівнодоступними каналами завжди розглядалося як перспективний напрямок удосконалення систем залізничного технологічного радіозв'язку [13, 16].

У цей час розвиток мереж оперативного і технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами на залізничному транспорті вже вступив у фазу реального впровадження транкінгових систем [18-20]. З огляду на спільність технічної політики країн СНД в галузі залізничного транспорту, можна вважати, що розглянуті в

[16] основні напрямки розвитку технологічного радіозв'язку будуть реалізовуватися і в Україні.

2.2. Організація транкінгових мереж технологічного радіозв'язку

Транкінгові системи рухомого залізничного радіозв'язку є відомчими системами колективного користування й призначені для організації технологічної мережі зв'язку, що забезпечує вільний доступ широкого кола абонентів різних служб до загального частотного ресурсу.

Використання транкінгового радіозв'язку для керування поїзною і маневровою роботою на сучасному етапі не допускається.

У системах транкінгового залізничного радіозв'язку передбачається використання радіочастот у межах смуг, виділених для організації радіозв'язку на залізничному транспорті.

Транкінгові радіомережі повинні забезпечувати:

- організацію радіотелефонних переговорів між абонентами з використанням індивідуального, групового та аварійного виклику;
- передачу даних (при наявності кінцевого устаткування передачі даних), а також статусних (заздалегідь запрограмованих) цифрових повідомлень;
- передачу циркулярних повідомлень;
- пріоритетність надання зв'язку окремим користувачам (абонентам) радіомережі;
- зв'язок радіоабонентів з абонентами ЗАТС і вихід абонентів ЗАТС на радіоабонентів;
- захист від входження в мережу транкінгового радіозв'язку сторонніх абонентів;
- постановку на чергу абонентів при відсутності вільних каналів і наступне їхнє обслуговування;
- обмеження можливого переліку послуг окремим абонентам;
- реєстрацію даних про час, учасників і тривалість переговорів абонентів транкінгової мережі;

- видачу статистичної інформації про завантаження системи.

Комплексне порівняння різних систем транкінгового радіозв'язку за техніко-економічними показниками при сформованих цінах на устаткування дозволяє рекомендувати для застосування на залізничному транспорті апаратуру SmarTrunk II – для організації однозонових і невеликих регіональних мереж, і апаратуру стандарту МРТ-1327 – для створення відомчої мережі зв'язку в масштабах Укрзалізниці.

На залізничних вузлах і великих станціях можуть створюватися локальні (зонові) мережі рухомого технологічного радіотелефонного зв'язку в діапазоні 160 МГц, що забезпечують обмін у протоколі SmarTrunk II.

Транкінгові радіомережі діапазону 160 МГц створюються для організації зв'язку абонентів ремонтно-оперативного і станційного зв'язку. У радіомережі включаються абоненти таких підрозділів залізничного транспорту:

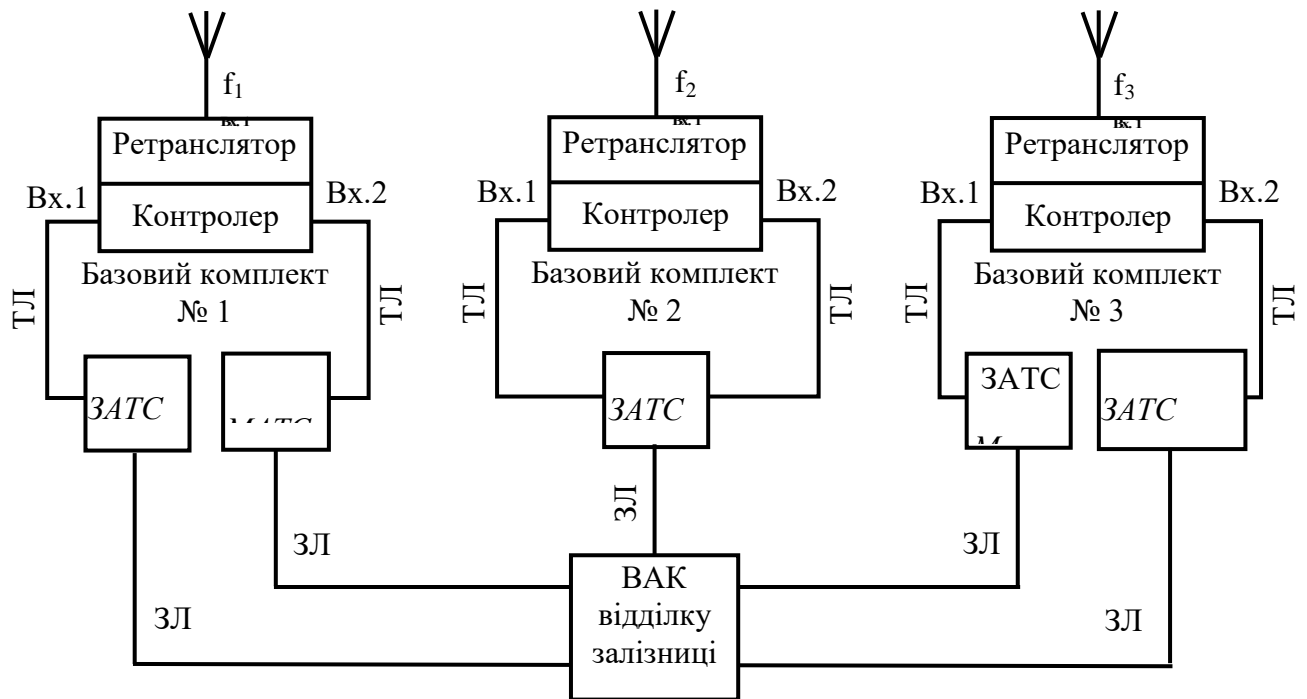
- служб колії, електропостачання, зв'язку і СЦБ;
- воєнізованої охорони;
- вантажної й комерційної роботи;
- пунктів технічного огляду вагонів;
- транспортно-експедиційних підприємств по доставці контейнерів і вантажів, сервіс-центрів;
- підприємств вагонного і локомотивного господарства та ін.

Абонентські радіостанції повинні забезпечувати пошук викличного і вільного каналу радіозв'язку й працювати в режимі двочастотного симплекса.

У системі повинна забезпечуватися можливість вхідних і вихідних з'єднань із абонентами ЗАТС із використанням прямого або додаткового набору номера, закріпленого за абонентами рухомого радіозв'язку.

Цікавий досвід організації регіональної мережі транкінгового радіозв'язку системи SmarTrunk II на Рязанському відділку Московської залізниці [19]. Все відділення розбите на 11 зон, у кожній з яких встановлені базові станції радіоустаткування. Шляхом певного чергування комплектів частот БС забезпечується безперервний зв'язок по зонах, що

перекриваються. Як правило, досить чотирьох комплектів частот, при цьому буде виключена можливість виходу абонента відразу на два базових комплекти, що працюють на одній і тій же частоті (див. рис. 2.6).



Умовні позначення:

ЗАТС М - місцева ЗАТС;

МАТС - міська (районна) АТС;

ВАК - вузол автоматичної комутації;

ТЛ - телефонна лінія;

ЗЛ – з'єднувальна лінія

Рис. 2.6. Схема включення комплектів устаткування БС у мережі телефонного зв'язку

Сполучною ланкою між радіостанціями й телефонними мережами є контролер. У ньому передбачені два входи для різних варіантів підключення телефонних ліній. Так, до входу 1 можна підключити телефонну лінію від місцевої (залізничної) АТС, до входу 2 – від міської або районної АТС. Можна, якщо дозволяють канали зв'язку, виконати таке з'єднання: до входу 1 підключити місцеву ЗАТС, до входу 2 підвести лінію від відділкової або

управлінської АТС. За кожним абонентом єдиної радіотелефонної мережі у своїй зоні закріплений додатковий двозначний номер (код): 01, 02,...,31, 32 і т.д. Дані про кожного абонента заносяться в контролер своєї зони. Абоненти, яким дане право виходу на базові комплекти не тільки своєї (приписний), але й інших БС, у всіх інших зонах одержують тризначний номер, перша цифра якого позначає номер приписної зони, останні два - номери (код) абонента.

Так, наприклад, абонент № 15 із зони № 1 у всіх інших зонах буде викликатися набором цифр 115. На Рязанському відділенні номери від 01 до 20 надані керівникам відділку й підприємств і запрограмовані в контролерах всіх зон. Ці абоненти мають можливість користуватися радіотелефонним зв'язком у всіх зонах. Інша частина абонентів запрограмована у своїй і сусідній зонах (заступники керівників підприємств, начальники ділянок, ревізори руху).

Третя частина працівників (колійні майстри, електромеханіки СЦБ, начальники лінійних станцій) можуть користуватися радіотелефонним зв'язком у межах своєї зони. Для економії номерів рекомендується абонентам, що мають службові автомашини, надавати той же самий номер на портативну і мобільну радіостанції. При цьому зберігається можливість виклику й переговорів між портативною і мобільною радіостанціями, що мають однаковий номер.

Для зручності користування системою транкінгового радіозв'язку бажано, щоб нумерація телефонних ліній, які підводяться до контролерів різних БС від місцевих АТС, була б однаковою. Якщо неможливо виконати єдину нумерацію через неоднакову кількість цифр у нумерації абонентів різних АТС, то бажано використовувати однакові перші цифри. Наприклад, якщо при чотиризначній нумерації на АТС до контролера БС підведена абонентська лінія з номером 27-72, то при тризначній нумерації абонентів АТС для зв'язку з контролером БС необхідно використати номер 2-77, а при двозначній нумерації АТС – номер 27.

Багато мати єдину нумерацію всіх абонентів. Так, наприклад, за всіма начальниками дистанцій колії закріплюється

номер 11, за начальниками дистанцій сигналізації й зв'язку – номер 12, за начальниками станцій - 13 і т.д.

Необхідно відзначити, що абонентські радіостанції можуть працювати як у транкінговій мережі, так і у режимі безпосереднього радіозв'язку в існуючих радіомережах працівників служб руху, колії, сигналізації і зв'язку, енергопостачання, відбудовних і пожежних поїздів, охорони і т.д. без заняття транкінгових каналів.

Ґрунтуючись на досвіді експлуатації, в [19] рекомендують використовувати портативні радіостанції GP-68, а як мобільні – радіостанції GM-350 фірми Motorola. Вибір і можливості комплектації устаткування БС розглянуті в розд. 1.4.1.

Мережі транкінгового радіозв'язку на базі апаратних засобів, що забезпечують протоколи обміну за стандартом МРТ-1327, повинні створюватися в дециметровому діапазоні радіохвиль як єдина мережа зв'язку залізниць України. Ці радіомережі повинні будуватися з урахуванням структури органів керування Державної адміністрації залізниць (Укрзалізниця).

Система транкінгового радіозв'язку повинна забезпечувати зв'язок в інтересах:

- керівного складу Міністерства транспорту та Укрзалізниця;
- керівного складу управлінь і відділків залізниць;
- керівників служб залізниць;
- керівників і працівників пожежних і відбудовних поїздів;
- керівників і працівників підприємств залізничного транспорту.

Транкінгові мережі дециметрового діапазону повинні будуватися на єдиних технічних принципах, допускати поетапне створення, мати єдину наскрізну нумерацію абонентів для всіх залізниць, забезпечувати роумінг, а також три рівні пріоритету: звичайний, високий та аварійний.

Стартовий етап впровадження відомчої транкінгової мережі можна почати з установа контролю регіонального керування (КРУ) в управліннях шести залізниць, а контролера міжрегіонального керування (КМРУ) – у центральній станції зв'язку УЗ.

Можлива схема організації транкінгової мережі радіозв'язку УЗ наведена на рис. 2.7.

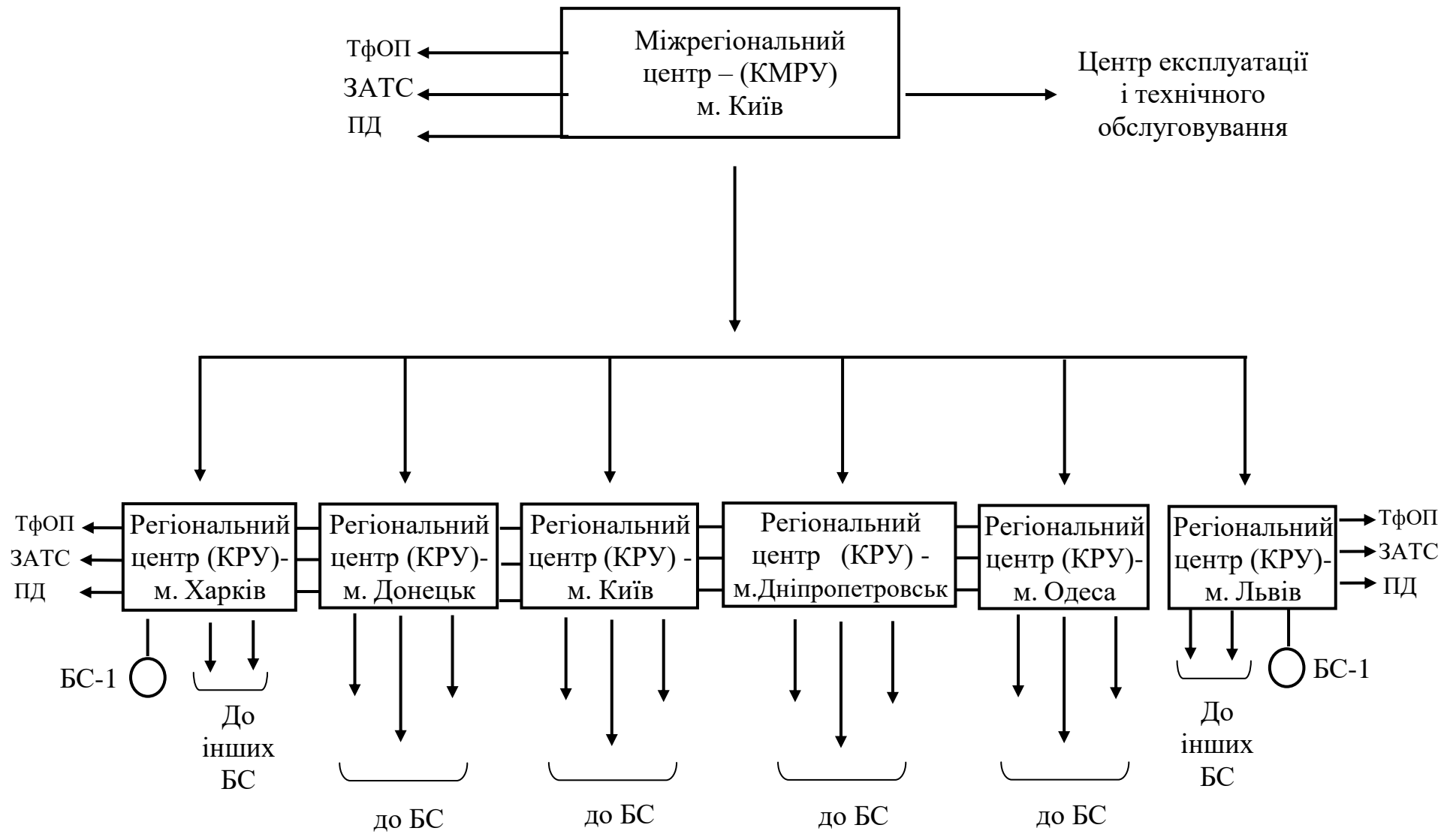


Рис. 2.7. Схема організації транкінгової радіомережі Укрзалізниці

Контролери регіональних центрів керування забезпечують:

- інтерфейс і взаємодію з телефонною мережею загального користування (ТФОП) з використанням загальноканалної сигналізації ОКС-7 (CSS-7);
- інтерфейс і взаємодію з відомчими АТС залізничного транспорту (ЗАТС);
- інтерфейс і взаємодію із системами передачі даних (ПД).

Загальна кількість базових станцій, що включена у кожен КРУ, може становити 60-70 комплектів. На початковому етапі у кожний із КРУ в регіонах можна ввімкнути 4-6 базових станцій. Це дозволить відразу почати експлуатацію системи в масштабі всієї мережі залізниць, істотно розширити коло відомчих абонентів, забезпечених мобільним радіозв'язком, і зменшити витрати на оплату переговорів у стільникових мережах загального користування.

З огляду на процес впровадження транкінгових систем на залізницях України, наприклад, впровадження на станціях Ніжин і Коростень Південно-Західної залізниці систем транкінгового радіозв'язку за протоколом SmartTrunk II, необхідна термінова розробка рекомендацій, що дозволять забезпечити єдність технічних рішень у рамках всієї мережі залізниць України. Це дозволило б знизити витрати на впровадження й експлуатацію радіозасобів, забезпечити взаємодію різних мереж і вирішити питання електромагнітної сумісності.

2.3. Особливості проектування транкінгових мереж

Проектування - один з найбільш складних і відповідальних етапів впровадження ТСР, оскільки він повинен забезпечити близьку до оптимального побудову мережі за критерієм ефективність-вартість. При проектуванні необхідно визначити місця установлення БС і розподілити наявні частотні канали між зонами (скласти частотно-територіальний план відповідно до принципу повторного використання частот) таким чином, щоб забезпечити обслуговування зв'язком заданої території з необхідною якістю при мінімальній кількості БС, тобто при мінімальній вартості інфраструктури мережі.

Це завдання додатково ускладнюється труднощами аналітичної оцінки характеристик поширення сигналів і розрахунку напруженості поля, а також необхідністю обліку нерівномірності трафіка в межах території, яку він обслуговує.

У процесі проектування можна виділити кілька етапів: планування радіопокриття; планування ємності; частотне планування; аналіз роботи й оптимізація мережі.

Такий поетапний розподіл у значній мірі умовний, тому що всі етапи тісно взаємопов'язані між собою. Послідовність етапів планування мережі ТСР показана на рис. 2.8.

На етапі планування радіопокриття визначається мінімально необхідна кількість БС (зон), їхнє оптимальне розташування на місцевості й вимоги до радіотехнічних параметрів, необхідних для забезпечення радіопокриття заданої території з необхідним рівнем потужності радіосигналів.

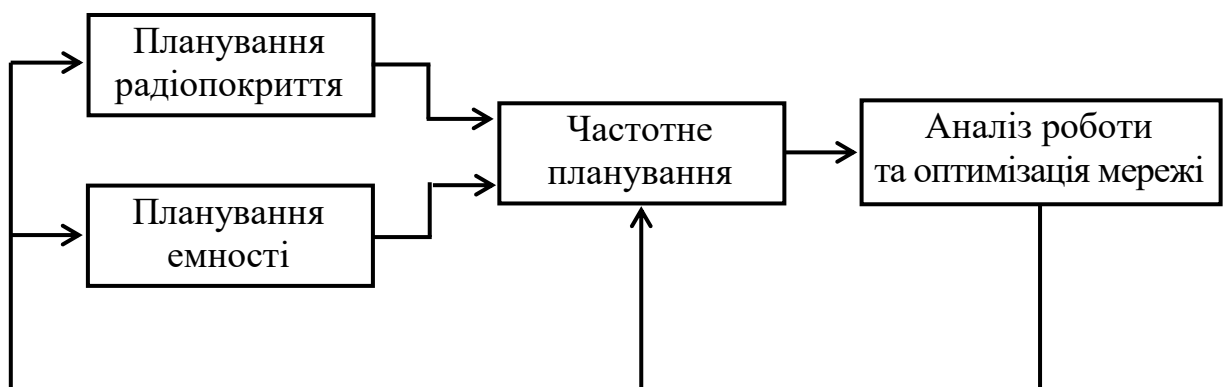


Рис. 2.8. Етапи проектування транкінгової мережі радіозв'язку

Основною інформацією для планування радіопокриття є такі відомості: вимоги до якості послуг зв'язку; характеристики території, на якій необхідно надавати ці послуги; технічні характеристики устаткування БС і АС.

Оскільки конфігурація й параметри мережі істотно залежать від умов місцевості (рельєфу, характеристик забудови й т.п.), у ході розробки проекту доводиться виконувати великий обсяг розрахунків, що звичайно потребує використання обчислювальних засобів.

У цей час для планування радіопокриття широко застосовують спеціальні комп'ютерні програми, які дозволяють визначати границі зон розрахунковими методами, використовуючи для цього різні моделі поширення радіохвиль і електронні цифрові географічні карти, на яких врахований рельєф і характер місцевості. Крім розрахунків радіопокриття, ці програми аналізують електромагнітну сумісність (ЕМС) БС, планують їхню ємність, виконують частотне планування й багато чого іншого. Результати планування радіопокриття, отримані з використанням таких програм, уточнюються за даними вимірів характеристик радіоканалів на етапі оптимізації мережі, що підвищує точність і ефективність планування [4].

Розміри зон обслуговування базових станцій залежать від потужності радіопередавальних пристроїв, висоти підвісу антен, типу забудови району, типу абонентських станцій і діапазону робочих частот.

Відповідно до рекомендацій [4] у табл. 2.2 наведені орієнтовні значення радіусів зон обслуговування базових станцій. Більші значення дальностей зв'язку характерні для діапазону частот 160 МГц.

Виходячи з наведених орієнтовних значень дальностей зв'язку (табл. 2.2), здійснюється попередній вибір пунктів розміщення БС на залізничних станціях ділянки. Доцільно використати пункти, у яких є АТС, а також можливість установлення антен на більшу висоту й відповідні підходящі службово-технічні будинки із пристроями електроживлення.

Таблиця 2.2

Орієнтовні значення радіусів зон обслуговування базових станцій

Тип забудови району	Стаціонарні радіостанції	Мобільні радіостанції	Портативні радіостанції
Сільська місцевість і малоповерхова забудова	60-80 км	20-50 км	5-30 км
Середньоповерхова забудова	40-60	15-30	4-20
Багатоповерхова забудова	20-40	7-15	2-10

Для отриманої схеми за допомогою відомих методик більш точно розраховуються параметри електромагнітного поля в межах територій, що обслуговуються, уточнюються висоти встановлення антен БС і вимоги до антенно-фідерних пристроїв.

Для мереж транкінгового радіозв'язку, організованих уздовж ділянок залізниць, у першу чергу доцільно використовувати методику розрахунку каналів ремонтно-оперативного [15] або поїзного радіозв'язку [14]. Методику розрахунку каналів СРЗ [25] можна використати для визначення дальності радіозв'язку в зонах, організованих на території великих залізничних станцій і вузлів. Особливості розрахунку зон обслуговування транкінгових мереж розглянуті в розд. 2.4.

Метою планування ємності мережі є визначення необхідного числа прийомопередавачів у кожній її зоні. Вихідною інформацією для цього служать: допустимий відсоток блокувань викликів у мережі БС (як вимога до якості надаваних послуг); прогноз обсягу трафіка й числа абонентів у мережі; результати планування радіопокриття.

Для оцінки ємності ТСР звичайно використовують модель Ерланга-В. За її допомогою визначається ймовірність відмови в обслуговуванні при заданому числі каналів і величині трафіка. Для вирішення цього завдання можна використати матеріали, наведені в розд. 1.1.

У [18] рекомендують, щоб при організації транкінгових мереж відсоток відмов у години найбільшого навантаження не повинен бути більше 5% при розрахунковому навантаженні на одного абонента, рівному 0,025 Ерл. Певним орієнтиром при визначенні навантаження можуть бути результати експериментальних досліджень, наведені в [3].

Частотне планування вирішує завдання визначення номерів частотних каналів для кожного прийомопередавача в мережі (частотний план) при обмеженому частотному ресурсі, допустимому рівні внутрішньомережних завад і необхідній якості роботи БС.

Вихідною інформацією для частотного планування є такі відомості: діапазони частот, дозволених для використання; результати планування радіопокриття і розрахунку ЕМС БС у

мережі; результати планування ємності мережі БС; відомості про наявність зовнішніх джерел радіозавад й ін.

Основний принцип побудови багатозонових ТСР – це багаторазове використання тих самих частотних каналів у різних зонах, що дозволяє ощадливо використати частотний спектр і будувати мережі великої ємності.

Мережі транкінгового зв'язку на залізничному транспорті необхідно організовувати в межах смуг частот метрового й дециметрового діапазонів, виділених для технологічного радіозв'язку. При цьому, відповідно до загальних правил, частоти передачі базових станцій повинні бути більш високими, ніж частоти передачі мобільних станцій.

Для транкінгових мереж стандарту МРТ 1327 доцільно використати групи частот, спеціально виділених для ремонтно-оперативного дуплексного радіозв'язку РОРС-Т (див. рис. 2.3, 2.5).

Для мереж SmartTrunk частоти приймання базових станцій варто вибирати в смузі 151,7-152,825 МГц, а частоти передачі – у смузі 155-156 МГц, щоб дуплексний рознос каналів складав не менш 3 МГц. Міжканальний інтервал передавачів базових станцій повинен становити 200-300 кГц. Менший рознос каналів приводить до невиправданого збільшення втрат у комбайнерах, ускладнює боротьбу з інтермодуляційними завадами, а вартість устаткування при цьому істотно зростає. При великому розносі частот зменшується можливе число каналів базових станцій, в умовах обмеження виділеної смуги частот, і тим самим знижується ефективність використання частотного ресурсу. Нерівномірний рознос може привести до ускладнення боротьби з інтермодуляційними завадами, утруднює частотно-територіальне планування в багатозонових системах і знижує ефективність використання частотного ресурсу.

При виборі частот приймання базових станцій SmartTrunk рекомендується використовувати частоти каналів № 9, 14, 15, 16, 22, 25, 26, 36. Крім того, на вторинній основі можуть використовуватись частоти, виділені службам Ш, Л, П, ВОХР, ЕЛ й іншим з переведенням абонентів цих служб у транкінгову радіомережу, тобто канали № 17, 23, 29, 30, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 43. Допускається використання інших каналів станційного

радіозв'язку за умови забезпечення електромагнітної сумісності радіомереж.

Як правило, процес проектування є ітераційним. Складена схема організації зв'язку і частотно-територіальний план ретельно аналізуються і, якщо необхідно, здійснюється їхнє коректування, а для уточненої схеми зазначені вище розрахунки повторюються.

Крім того, у створюваній радіомережі обов'язково проводяться експериментальні виміри характеристик електромагнітного поля, і за результатами вимірів схема мережі також може коректуватися.

Остаточна якість проекту оцінюється вже на етапі експлуатації мережі, де неминуче подальше коректування й доробка, особливо на самому початку роботи, коли здійснюється налаштування мережі. Цей етап роботи фактично виявляється найбільш трудомістким.

Під оптимізацією розуміють зміну структури мережі БС і її параметрів у міру розвитку мережі, збільшення її ємності, а також для підвищення якості обслуговування абонентів, підвищення ефективності використання частотного спектра.

2.4. Розрахунок зон обслуговування транкінгових систем радіозв'язку

2.4.1. Загальні положення

Дальність дії радіозв'язку залежить від багатьох факторів, які визначаються особливостями організації радіомереж:

- потужності передавачів;
- параметрів антенно-фідерних пристроїв передавальних і приймальних радіостанцій;
- закономірностей поширення радіохвиль в умовах організації радіомереж;
- мінімально допустимого рівня сигналу на вході приймача, при якому забезпечується необхідна якість передачі.

Поширення радіохвиль в умовах організації мереж залізничного технологічного радіозв'язку здійснюється в складних умовах. У зоні між передавальною й приймальною

антенами знаходиться велика кількість перешкод: мости й шляхопроводи, будинки й споруди, опори й ферми контактної мережі на електрифікованих ділянках залізниць, рухомий склад. Ці перешкоди екранують зону, у межах якої поширюється енергія радіохвиль, що приводить до зменшення напруженості поля сигналів у порівнянні з відкритою місцевістю.

Крім того, кожна з перешкод стає джерелом перевипромінених радіохвиль. Внаслідок інтерференції всіх радіохвиль із різними амплітудами і фазами електромагнітне поле в точках приймання набуває випадкового значення. При переміщеннях приймальної (або передавальної) антен виникають просторові флуктуації напруженості електромагнітного поля. При цьому зміни рівня сигналу досягають 20-30 дБ і можуть бути охарактеризовані тільки статистично для конкретних типів трас.

Проведені дослідження показали, що в умовах залізниць напруженість електричного поля E , мкВ/м, можна розраховувати за формулою Введенського (див. [10, с. 43-51]) з урахуванням додаткових поправочних коефіцієнтів m , K_{oc} і K_i , значення яких визначені експериментально для різних типів трас

$$E = \frac{69\sqrt{PG_1}}{r^m} \cdot \frac{h_1 h_2}{\lambda} \cdot K_{oc} \cdot K_i, \quad (2.1)$$

- де P - потужність випромінювання передавача, Вт;
 G_1 - коефіцієнт підсилення передавальної антени;
 r - відстань між передавальною й приймальною антенами, км;
 h_1, h_2 - висоти установки передавальної й приймальної антен над рівнем землі, м;
 λ - довжина хвилі, м;
 K_{oc} - коефіцієнт додаткового ослаблення напруженості поля в порівнянні з умовами поширення радіохвиль на відкритій місцевості, прийнятими у формулі Б.А. Введенського;
 m - степеневий коефіцієнт, який враховує, що в умовах залізниць залежність напруженості електричного поля від відстані відрізняється від квадратичної;

K_i - коефіцієнт, що враховує просторові флуктуації напруженості поля, визначається залежно від необхідної ймовірності перевищення розрахункового значення напруженості поля, що називається надійністю радіозв'язку по полю.

Безумовно, значення коефіцієнтів m , K_{oc} і K_i можуть бути різними при поширенні радіохвиль на різних трасах. З метою спрощення розрахунків при проектуванні радіомереж були визначені усереднені значення цих коефіцієнтів для умов станційного і поїзного радіозв'язку на електрифікованих і неелектрифікованих ділянках залізниць. Результати експериментальних досліджень поширення радіохвиль покладені в основу методик розрахунку каналів станційного, поїзного й ремонтно-оперативного радіозв'язку на залізничному транспорті [25, 14, 15]. У той же час доцільна уніфікація методів розрахунку зон обслуговування транкінгових систем як при використанні їх для організації каналів станційного, так і ремонтно-оперативного або поїзного радіозв'язку. При цьому необхідно зберегти всі нормативні положення діючих (затверджених) відомчих методик, але забезпечити єдиний підхід до розрахунку каналів радіозв'язку на основі загальних методологічних принципів, єдиної термінології і позначень.

У всіх методиках передбачене використання графоаналітичних методів розрахунку. В основу розрахунків покладені графічні залежності зміни напруженості електричного поля сигналів від відстані $E_2 = \varphi(r)$, що називаються кривими поширення радіохвиль. Графіки побудовані при певних параметрах радіомереж для умов організації каналів станційного [25] і поїзного [14] радіозв'язку на неелектрифікованих ділянках залізниць для заданих значень добутку висот установки передавальної й приймальної антен $h_1 h_2$.

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

$$U_{\text{вх}} = E_2 - g_2 + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{трає}} + \sum V_{\text{імов}}, \quad (2.2)$$

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

g_2 - коефіцієнт, що враховує перетворення напруженості поля в просторі до напруги на вході приймача радіостанції, дБ:

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

де Z_B - хвильовий опір фідера, Ом.

Значення коефіцієнта g_2 для різних умов організації каналів радіозв'язку наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнта g_2

Діапазон частот, МГц	160		330	
Z_B фідера, Ом	50	75	50	75
g_2 , дБ	12	10	18	17

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від параметрів передавача й антенно-фідерних пристроїв, $\sum V_{\text{парам}}$, дБ, визначають за формулою

$$\sum V_{\text{парам}} = -V_{\text{п}} - V_{\text{н}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 - V_{\text{АФП БС}}, \quad (2.3)$$

де V_n - коефіцієнт, що враховує відмінність фактичної потужності передавача P від потужності P_1 , прийнятої при побудові графіків кривих поширення радіохвиль, дБ:

$$V_{\text{п}} = 10 \lg \frac{P}{P_1};$$

V_h - коефіцієнт, що враховує відмінність добутку висот установки антен $h_1 h_2$ від значення $h'_1 h'_2$, прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль, дБ:

$$V_h = 20 \lg \frac{h_1 h_2}{h'_1 h'_2};$$

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

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

α - погонне загасання фідера, дБ/м;

l - довжина фідера, м;

$V_{АФП\ БС}$ - додаткове загасання, що можуть створювати в антенно-фідерних трактах багатоканальних базових станцій пристрої об'єднання сигналів передавачів (комбайнери) і розподільні панелі приймачів (мультикоуплери).

Суму поправочних коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль у різних мережах радіозв'язку, $\sum V_{\text{трас}}$, дБ, визначають за формулою

$$\sum V_{\text{трас}} = V_{\text{рел}} + V_{\text{км}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}}, \quad (2.4)$$

де $V_{\text{рел}}$ - коефіцієнт, що залежить від рельєфу місцевості, по якій проходить траса радіозв'язку, враховується в мережах поїзного й ремонтно-оперативного 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, дБ;

$V_{\text{рн}}$ - коефіцієнт, що враховує зменшення напруги сигналу при організації зв'язку з портативними радіостанціями, дБ.

Суму поправочних коефіцієнтів, що враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля сигналів, $\sum V_{i\text{МОВ}}$, дБ, визначають виходячи з необхідної надійності зв'язку по полю

$$\sum V_{i\text{МОВ}} = V_i + V_{\text{місц}} + V_{\text{час}}, \quad (2.5)$$

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

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

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

У табл. 2.4 наведене порівняння набору коефіцієнтів, що визначають значення поправок $\sum V_{\text{парам}}$, $\sum V_{\text{трас}}$ і $\sum V_{i\text{МОВ}}$ у методиках розрахунку каналів СРЗ [25] і ПРЗ (РОРЗ) [14, 15].

Таблиця 2.4

Порівняння методик розрахунку каналів СРЗ і ПРЗ (РОРЗ)

Поправочні коефіцієнти	Методика розрахунку каналів ПРС (РОРС)	Методика розрахунку каналів СРС
$\sum V_{\text{парам}}$, дБ	$V_{\text{п}}, V_{\text{п}}, G_1, G_2, \alpha_1 l_1, \alpha_2 l_2, V_{\text{АФПБС}}$	
$\sum V_{\text{трас}}$, дБ	$V_{\text{км}}, V_{\text{л}}, V_{\text{рн}}, V_{\text{рел}}$	$V_{\text{км}}, V_{\text{л}}, V_{\text{рн}}$
$\sum V_{i\text{МОВ}}$, дБ	$V_i, V_{\text{місц}}, V_{\text{час}}$	V_i

Природно, що у всіх методиках розрахунку зберігається однаковий набір коефіцієнтів $\sum V_{\text{парам}}$, які враховують потужність передавача і параметри антенно-фідерних трактів передачі і прийому. Розходження спостерігаються в характеристиках особливостей поширення радіохвиль у каналах ПРЗ (РОРЗ) і СРЗ, що враховуються поправками $\sum V_{\text{трас}}$ і $\sum V_{i\text{МОВ}}$.

Залізничні станції розташовуються на рівнинних ділянках місцевості, але для них характерна наявність забудови міського типу і значний вплив пристроїв контактної мережі. На перегонах залізниць вплив пристроїв контактної мережі істотно менший, що знаходить відображення в менших значеннях коефіцієнтів $B_{км}$, але при цьому необхідно враховувати більший вплив особливостей рельєфу місцевості $B_{рел}$ на трасах різної складності.

Набір коефіцієнтів, що визначають імовірнісні характеристики сигналів (надійність каналів радіозв'язку по полю) $\Sigma B_{імов}$, у каналах ПРЗ (РОРЗ) враховує особливості трас різної складності, а для каналів СРЗ він представлений одним еквівалентним коефіцієнтом B_i .

Необхідно підкреслити загальний для всіх методик принцип підбору коефіцієнтів у розрахункових формулах (2.2)-(2.6) – значення коефіцієнтів, які приводять до збільшення дальності радіозв'язку в порівнянні з базовим варіантом побудови кривих поширення радіохвиль, приймаються зі знаком «мінус», у протилежному випадку - зі знаком «плюс».

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

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

$$U_{вх} = U_{2мін} ,$$

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

$$E_{2р} = U_{2мін} + g_2 + \sum B_{парам} + \sum B_{трас} + \sum B_{імов} . \quad (2.6)$$

Обчисливши значення E_{2p} для конкретних умов організації радіозв'язку, за кривими поширення радіохвиль може бути визначена необхідна висота установки антен, виходячи із заданої дальності радіозв'язку, або визначена можлива дальність зв'язку при заданих значеннях $h_1 h_2$.

Аналіз показує, що при однакових вихідних даних менші значення дальності радіозв'язку одержують при розрахунках на основі методики [25], яка враховує більш складні умови поширення радіохвиль у каналах станційного радіозв'язку. Тому при розрахунках зон обслуговування транкінгових систем, організованих і діючих в основному на території великих залізничних станцій і вузлів, умовно названих станційними, доцільно використовувати методику розрахунку каналів у СРЗ [25]. Розрахунки дальності радіозв'язку в зонах, організованих в основному на перегонах залізниць і малих проміжних станціях (у лінійних зонах), необхідно проводити на основі методик розрахунку каналів ПРЗ (РОРЗ) [14, 15].

2.4.2. Розрахунок дальності радіозв'язку в лінійних зонах

Для розрахунку каналів у лінійних зонах ПРЗ і РОРЗ використовують графіки залежності напруженості електричного поля E_2 від відстані, наведені на рис. 2.9. Графіки побудовані на основі результатів експериментальних досліджень особливостей поширення радіохвиль в умовах перегонів залізниць.

Крива 1 на рис. 2.9 призначена для розрахунку каналів метрового діапазону (160 МГц), а крива 2 – для розрахунку каналів дециметрового діапазону (330 МГц). Криві побудовані для неелектрифікованих ділянок залізниць при потужності передавача $P_1 = 1 \text{ Вт}$ для добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$. Значення напруженості поля сигналу на графіках зазначені в децибелах відносно 1 мкВ/м і спостерігаються протягом 50% часу в 50% точок прийому, тобто надійність каналу радіозв'язку по полю становить 50%. Коефіцієнт підсилення передавальної антени прийнятий $G_1 = 0 \text{ дБ}$ відносно

напівхвильового вібратора; згасання у фідері, що з'єднує передавач із антеною, дорівнює нулю $\alpha_1 l_1 = 0$ дБ ($l_1 = 0$ м).

При проектуванні радіомереж можливе рішення одного із двох завдань:

- визначення розмірів зони упевненого радіозв'язку, у межах якої забезпечується необхідна якість обслуговування абонентів при заданих потужностях передавачів і висотах установки антен стаціонарних і рухомих радіостанцій;

- визначення необхідних висот установки антен стаціонарних радіостанцій при заданих потужностях передавачів, розмірах зон упевненого радіозв'язку і якості обслуговування на границі зони.

Дальність радіозв'язку звичайно визначають у напрямку від стаціонарної до возимої радіостанції рухомого об'єкта, оскільки умови прийому сигналів на рухомому об'єкті значно гірші, ніж на стаціонарному, внаслідок більш високого рівня радіозавад у безпосередній близькості від пристроїв контактної мережі. У портативних радіостанцій потужність передавача менше, тому в цьому випадку розрахунки виконують у напрямку від портативної радіостанції рухомого об'єкта до стаціонарної.

Дальність зв'язку «стаціонарний – рухомий об'єкт» розраховується в такій послідовності:

- відповідно до табл. 2.5 визначається мінімально допустимий рівень корисного сигналу $U_{2\text{мін}}$ для заданих умов організацій радіомереж;

- за формулою (2.6) при заданому $U_{2\text{мін}}$ визначається необхідне розрахункове значення рівня напруженості поля сигналу E_{2p} ;

- відклавши значення E_{2p} на осі ординат, по відповідних базових кривих поширення радіохвиль на рис. 2.9 визначається можлива дальність зв'язку.

Значення $U_{2\text{мін}}$ на вході приймача возимих радіостанцій для різних умов експлуатації радіозасобів, установлених на рухомих об'єктах у мережах РОРЗ і ПРЗ, наведені в табл. 2.5.

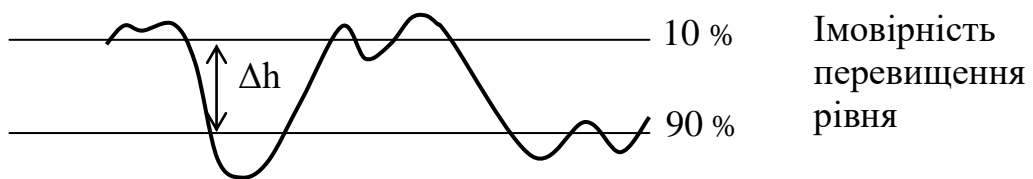
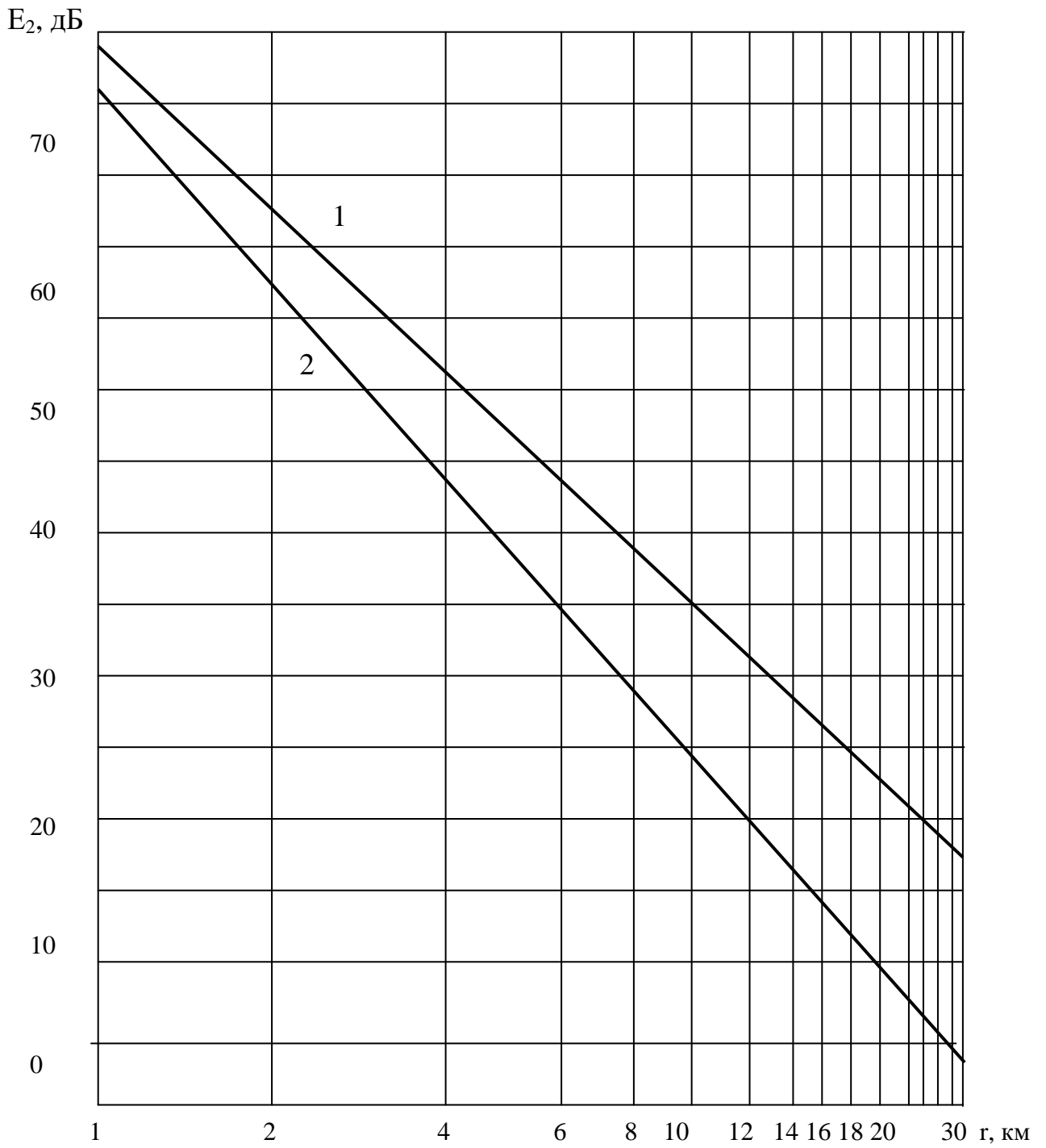


Рис. 2.9. Базові криві поширення радіохвиль для розрахунку лінійних зон

Таблиця 2.5

Умови експлуатації радіозасобів	$U_{2\text{мін}}$, дБ	
	160 МГц	330 МГц
Ділянка з тепловозною тягою	2	2
Електрифікована ділянка постійного струму при швидкості руху: до 120 км/год понад 120 км/год	8	6
	12	8
Електрифікована ділянка змінного струму	14	10

Для стаціонарних радіостанцій в обох діапазонах радіохвиль значення $U_{2\text{мін}}$ приймається рівним 6 дБ на ділянках залізниць, електрифікованих по системі змінного струму, 2 дБ – постійного струму, 0 дБ – на ділянках з тепловозною тягою.

Значення коефіцієнтів, що входять до складу поправки $\Sigma V_{\text{трас}}$ для реальних умов організації лінійних радіозон визначають за формулою (2.4).

Траси радіозв'язку за характером рельєфу місцевості, по якому вони проходять, підрозділяють на п'ять типів. Кожному типу відповідає певне значення коефіцієнта складності траси $K_{\text{ст}}$, який може змінюватися в межах від 1 до 5.

Траса типу 1 (рівнинна, $K_{\text{ст}} = 1$) характеризується невисокими пагорбами із глибиною закриття траси до 10 м і коливаннями рівня земної поверхні Δh не вище 15 м (див. рис. 2.9).

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

Траса типу 3 (легка гірська, $K_{\text{ст}} = 3$) проміжна між горбкуватою і 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, $K_{\text{ст}} = 5$) має дуже складний профіль, глибина закриття траси досягає 100 м і більше.

Траси, що займають проміжне положення між наведеними вище типами, характеризуються коефіцієнтами $K_{ст}$, рівними 1,5; 2,5; 3,5; 4,5.

Тип траси радіозв'язку можна визначити по її профілю, що будується по топографічній карті. Для трас типів 1-3 рекомендується використовувати карти з масштабом 1:100000, а для трас типів 4 і 5 - 1:25000 або 1:50000.

Значення коефіцієнтів $\Sigma V_{рел}$ для трас радіозв'язку різної складності наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

$K_{ст}$		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$V_{рел}$, дБ	160 МГц	3,4	1,7	0	-1,7	-3,4	-5,1	-6,8	-8,5	-10,2
	330 МГц	-8,8	-3,8	0	3,1	5,8	7,4	12,2	-	-

$V_{км}$ – коефіцієнт ослаблення напруженості поля контактною мережею в діапазоні частот 160 МГц становить для одноколіїної ділянки $K_{км}=1$ дБ, для двоколіїної – $K_{км}=2$ дБ. У діапазоні частот 330 МГц значення коефіцієнта $V_{км}$ приймають рівним нулю.

Значення коефіцієнта $K_{л}$ залежить від типу локомотива або іншого рухомого об'єкта і місця установки антени на даху. Рекомендовані значення $K_{л}$ для діапазону частот 160 МГц наведені в табл. 2.7. У діапазоні частот 330 МГц значення коефіцієнта $K_{л}$ приймають рівним нулю.

Таблиця 2.7

Рухомий об'єкт	Місце розташування антени на даху об'єкта	$K_{л}$, дБ
Електровози	Над прожектором і у середині даху	8
Тепловози	" "	2,5
Дрезини і автомотриси	У вільній частині металевого даху	2
	Поблизу частин, що екранують	8
Вагони	В середині даху	2

Значення коефіцієнта $V_{рн}$ в умовах перегонів залізниць може бути прийнято рівним нулю.

Значення поправочних коефіцієнтів, які враховують реальні параметри антенно-фідерних трактів, визначають за формулою (2.3).

Коефіцієнт $V_{п}$ враховує відмінність фактичної потужності передавача P від потужності $P_1=1$ Вт, прийнятої при побудові графіків кривих поширення радіохвиль на рис. 2.9.

Графік для визначення коефіцієнта V_h , що враховує відмінність добутку висот установки антен h_1h_2 від значення 100 м^2 , прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль, наведений на рис. 2.10.

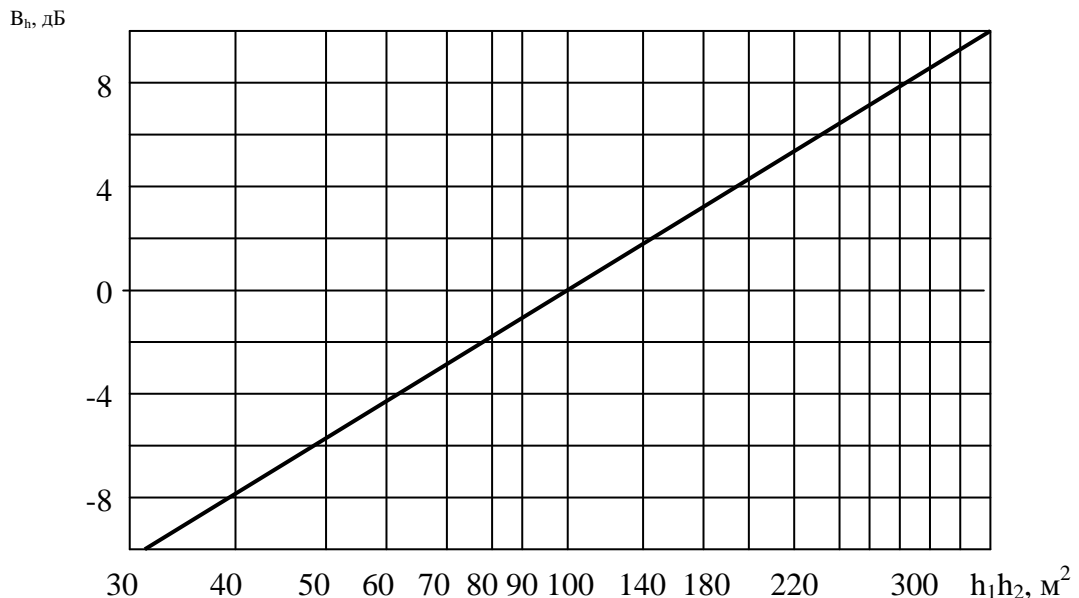


Рис. 2.10. Залежність поправочного коефіцієнту V_h від добутку висот h_1h_2

Значення коефіцієнтів, які враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля сигналів, визначають за формулою (2.5) з урахуванням необхідної надійності каналів по полю.

При розрахунку каналів у діапазоні частот 160 МГц значення цих коефіцієнтів вибирають на рівні імовірності не менш 90% для того, щоб забезпечити якість зв'язку не нижче

задовільної. При цьому $V_i=5,0$ дБ для електрифікованих і $V_i=1,5$ дБ для неелектрифікованих ділянок. $V_{\text{час}}=1,8$ дБ. Коефіцієнт $V_{\text{місц}}$ залежить від типу траси і його значення, для рівня імовірності 90%, наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

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 інших значень імовірності подані у вигляді кривих на рис. 2.11 і 2.12 відповідно. На рис. 2.11 крива 1 наведена для електрифікованих, а крива 2 – для неелектрифікованих ділянок залізниць. На рис. 2.12 номери кривих відповідають типу траси.

У розрахунках каналів дециметрового діапазону 330 МГц застосовуються такі значення цих коефіцієнтів: $V_i = 4$ дБ – для електрифікованих ділянок; $V_i = 2$ дБ – для неелектрифікованих ділянок; $V_{\text{час}} = 2$ дБ; $V_{\text{місц}} = 1$ дБ – для типу 1 траси; $V_{\text{місц}} = 2$ дБ – для типу 2 траси; $V_{\text{місц}} = 3$ дБ – для типу 3 траси; $V_{\text{місц}} = 4$ дБ – для типів 4 і 5 траси.

$V_i, V_{\text{час}}, \text{дБ}$

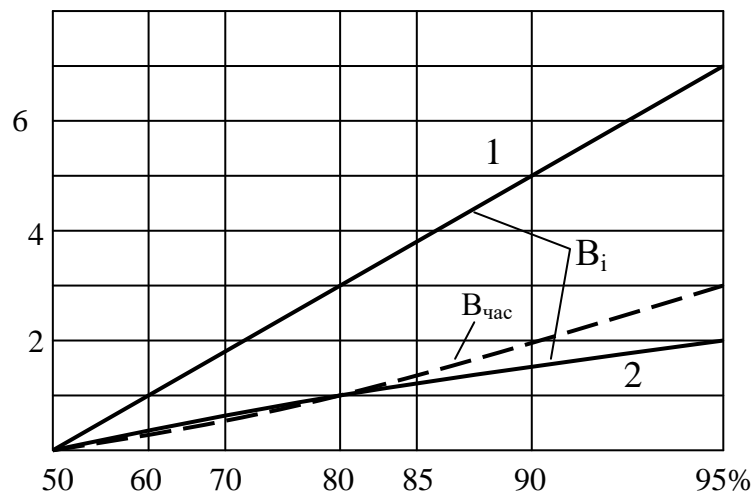


Рис. 2.11. Залежності коефіцієнтів V_i , $V_{\text{час}}$ від рівня імовірності

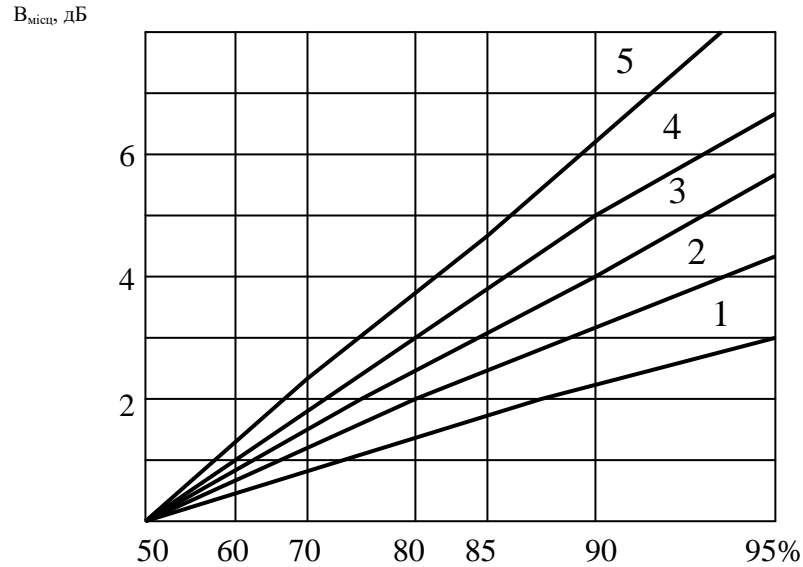


Рис. 2.12. Залежності коефіцієнта $V_{\text{місц}}$ від типів трас і імовірнісних рівнів

Порядок розрахунку дальності зв'язку в лінійних зонах ТСР для каналів, які використовуються у мережах РОРЗ і ПРЗ, розглянемо на конкретних прикладах.

Приклад 1. Двоколійна ділянка залізниці з електричною тягою постійного струму проходить по горбкуватій місцевості. Визначимо дальність дії радіозв'язку між стаціонарною радіостанцією і радіостанцією снігоприбиральної машини в діапазоні частот 160 МГц.

Параметри стаціонарної радіостанції: потужність передавача $P = 10$ Вт; висота установки антени $h_1 = 15$ м; антена АС-4/2, $G_1 = 4$ дБ; погонне згасання фідера РК-50-11 $\alpha_{\text{ф1}} = 0,1$ дБ/м; $l_1 = 15$ м. Параметри возимої радіостанції: висота установки антени $h_2 = 5$ м; антена АЛ-2, $G_2 = 0$ дБ; погонне згасання фідера РК-50-7-11 $\alpha_{\text{ф2}} = 0,1$ дБ/м; $l_2 = 5$ м.

Розрахункова формула (2.6) для $E_{2\text{р}}$, дБ, має вигляд

$$E_{2\text{р}} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}} \cdot$$

Для умов розглянутого прикладу $U_{2\text{мін}}=8$ дБ, $g_2 = 12$ дБ для фідера із хвильовим опором 50 Ом.

Визначимо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (2.4).

$$\sum V_{\text{трас}} = V_{\text{рел}} + V_{\text{км}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}} = 0 + 2 + 2 + 0 = 4 \text{ дБ},$$

де $V_{\text{рел}}=0$ дБ для траси типу 2 (див. табл. 2.6);

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

$V_{\text{л}}=2$ дБ (див. табл. 2.7);

$V_{\text{рн}}=0$ дБ.

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів у формулі (2.3):

$$\begin{aligned} \sum V_{\text{парам}} &= -V_{\text{м}} - V_{\text{н}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + V_{\text{АФП БС}} = \\ &= -10 + 2,5 - 4 - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = -9,5 \text{ дБ}, \end{aligned}$$

де $V_{\text{п}} = 10 \lg P = 10 \lg 10 = 10$ дБ;

$G_1 = 4$ дБ;

$V_{\text{н}} = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right) = -2,5$ дБ;

$\alpha_{\text{ф1}} l_1 = 1,5$ дБ;

$\alpha_{\text{ф2}} l_2 = 0,5$ дБ,

$V_{\text{АФУ БС}} = 0$ дБ.

Визначаємо значення імовірнісних коефіцієнтів, виходячи з надійності радіозв'язку по полю 90%, за формулою (2.5):

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

де $V_{\text{місц}}=3$ дБ (див. табл. 2.8) для траси типу 2;

$V_{\text{і}}=5$ дБ;

$V_{\text{час}}=1,8$ дБ.

Визначаємо розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в точці прийому

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}} = 8 + 12 + 4 - 9,5 + 9,8 = 24,3 \text{ дБ.}$$

Для напруженості поля $E_{2p}=24,3$ дБ, створюваної передавачем стаціонарної радіостанції в точці прийому возимої радіостанції, по кривій 1 на рис. 2.9 визначаємо очікувану дальність зв'язку: $r = 18,2$ км.

Приклад 2. Для умов прикладу 1 визначити висоту установки антени стаціонарної радіостанції, якщо необхідна дальність зв'язку становить 25 км.

Необхідне значення напруги на вході приймача радіостанції становить $U_{2\text{мін}} = 8$ дБ. Виходячи із заданої дальності зв'язку 25 км по кривій 1 (див. рис. 2.10) визначаємо рівень напруженості поля: $E_2=18$ дБ.

Відповідно до формули (2.6) для заданих значень $U_{2\text{мін}}$ і E_2 можна записати

$$8 = 18 - g_2 + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}} .$$

Значення сум коефіцієнтів $\sum V_{\text{трас}}$ і $\sum V_{\text{імов}}$, розраховані за формулами (2.4) і (2.5), візьмемо з попереднього прикладу: $\sum V_{\text{трас}} = 4$ дБ і $\sum V_{\text{імов}} = 9,8$ дБ, величина $g_2 = 12$ дБ.

Тоді значення поправок $\sum V_{\text{парам}}$, у яку входить коефіцієнт V_h , складе

$$\sum V_{\text{парам}} = 8 - 18 + 12 - 4 - 9,8 = 15,8 \text{ дБ.}$$

Виходячи з формули (2.3), можна обчислити значення коефіцієнта V_h

$$\begin{aligned} V_h &= -\sum V_{\text{парам}} - B_{\text{п}} - G_1 - G_2 + \alpha_{\text{ф}1} l_1 + \alpha_{\text{ф}2} l_2 = \\ &= 15,8 - 10 - 4 - 0 + 1,5 + 0,5 = 3,8 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Значення величин V_{Π} , G_1 и $\alpha_{\phi 2} l_2$ установлені в попередньому прикладі:

$$V_{\Pi} = 10 \text{ дБ}; G_1 = 4 \text{ дБ}; G_2 = 0 \text{ дБ}; \alpha_{\phi 2} l_2 = 0,5 \text{ дБ}.$$

За графіком на рис. 2.10 визначаємо необхідне значення добутку висот установки антен $h_1 h_2$, що відповідає обчисленому значенню V_h - $h_1 h_2 = 147 \text{ м}^2$.

При заданій висоті установки антени возимої радіостанції $h_2 = 5 \text{ м}$ необхідна висота установки стаціонарної антени складе $h_1 = 147 / 5 = 29,4 \text{ м}$.

Приклад 3. Ділянка залізниці з тепловозною тягою проходить по горбкуватій місцевості. Необхідно визначити дальність дії радіозв'язку між портативною і стаціонарною радіостанціями. Як антена стаціонарної радіостанції використовується антена АС-5/2 ($G_2 = 5 \text{ дБ}$) з висотою установки $h_2 = 20 \text{ м}$. Параметри портативної радіостанції: $P = 1 \text{ Вт}$, висота антени $h_1 = 1,5 \text{ м}$, коефіцієнт підсилення антени поблизу тіла оператора $G_1 = -2 \text{ дБ}$ [15].

Канал «портативна радіостанція - стаціонарна радіостанція» розраховується для напрямку зв'язку від портативної радіостанції до стаціонарної. Тому в розрахунках індекс 1 ставиться до портативної радіостанції, індекс 2 - до стаціонарної.

Для ділянок залізниць із тепловозною тягою напругу корисного сигналу на вході приймача стаціонарної радіостанції приймають рівною $U_{2\text{мін}} = 0 \text{ дБ}$.

Сума поправочних коефіцієнтів $\sum V_{\text{трас}}$ у формулі (2.4):

$$\sum V_{\text{трас}} = V_{\text{рел}} + V_{\text{кп}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}} = 0 \text{ дБ},$$

тому що $V_{\text{рел}} = 0 \text{ дБ}$ для траси типу 2; $V_{\text{кп}} = 0 \text{ дБ}$; $V_{\text{л}} = 0 \text{ дБ}$; для стаціонарних радіостанцій, коефіцієнт $V_{\text{рн}}$, який враховує додаткове ослаблення напруженості поля при зв'язку з портативними радіостанціями, в умовах перегонів залізниць дорівнює $V_{\text{рн}} = 0 \text{ дБ}$.

Визначимо значення поправочних коефіцієнтів за формулою (2.3).

Потужність портативної радіостанції становить 1 Вт, тому $\sum V_{\Pi} = 0$ дБ. Для добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 1,5 \cdot 20 = 30$ м² коефіцієнт $V_h = -10$ дБ відповідно до графіка на рис. 2.10.

Припускаючи, що антенний фідер – це коаксіальний кабель типу РК-50-7-11 з погонним згасанням $\alpha_{\phi 2} = 0,1$ дБ/м, довжиною $l_2 = 20$ м, визначимо коефіцієнт $\alpha_{\phi 2} l_2 = 2$ дБ, коефіцієнт $\alpha_{\phi 1} l_1$ приймаємо рівним 0 дБ.

Загальна сума поправочних коефіцієнтів цієї групи становить

$$\sum V_{\text{парам}} = -V_{\Pi} - V_h - G_1 - G_2 + \alpha_{\phi 1} l_1 + \alpha_{\phi 2} l_2 = 0 - (-10) - 5 - (-5) + 2 + 0 = 9 \text{ дБ.}$$

Визначимо суму поправочних коефіцієнтів у формулі (2.5), за умови забезпечення надійності каналу по полю 90%:

$$\sum V_{\text{імов}} = V_i + V_{\text{місц}} + V_{\text{час}} = 1,5 + 3 + 1,8 = 6,3 \text{ дБ.}$$

Тут $V_i = 1,5$ дБ для неелектрифікованих ділянок залізниць, $V_{\text{місц}} = 3$ дБ для траси типу 2, $V_{\text{час}} = 1,8$ дБ.

Розрахунковий рівень напруженості поля сигналу в антені стаціонарної радіостанції складе

$$E_{2p} = U_{2\text{мін}} + g_2 + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}} = 0 + 12 + 0 + 9 + 6,3 = 27,3 \text{ дБ.}$$

По кривій 1 на рис. 2.9 для значення $E_{2p} = 27,3$ дБ визначимо очікувану дальність радіозв'язку: $r = 14$ км.

В умовах двоколіїних ділянок залізниць, електрифікованих по системі змінного струму, змінюються значення коефіцієнтів, що входять у розрахункові формули (2.3)-(2.6)

$$U_{2\text{мін}} = 6 \text{ дБ, } \sum V_{\text{трас}} = 2 \text{ дБ, } \sum V_{\text{імов}} = -9,8 \text{ дБ.}$$

У цьому випадку розрахунковий рівень напруженості поля сигналу складе $E_{2p} = 36,8$ дБ, а очікувана дальність зв'язку 9 км.

2.4.3. Розрахунок дальності радіозв'язку в станційних зонах

У діапазоні частот 160 МГц розрахунок каналів радіозв'язку, організованих на території великих залізничних станцій і вузлів, виконують із використанням кривих поширення радіохвиль, наведених на рис. 2.13 [25]. На графіках по осі абсцис у логарифмічному масштабі відкладена відстань r , по осі ординат відкладені значення напруженості поля в точці прийому E_2 , дБ і відповідні їм значення напруги на вході приймача радіостанції U_2 , дБ, визначені як $E_2 - g_2 = E_2 - 12$ дБ ($g_2 = 12$ дБ для діапазону частот 160 МГц при $Z_A = 50$ Ом, див. табл. 2.3).

Криві побудовані при різних значеннях добутку висот установки антен $h_1 h_2$ для умов неелектрифікованих ділянок залізниць; значення напруженості поля спостерігаються в 50% випадків. Потужність передавача прийнята $P_1 = 12$ Вт при $R_{прд} = 50$ Ом, використовуються антени з коефіцієнтами підсилення $G_1 = G_2 = 0$ дБ стосовно напівхвильового вібратора, згасання у фідерах $\alpha_{\phi 1} l_1 = \alpha_{\phi 2} l_2 = 0$ дБ.

На графіках рис. 2.13 можна виділити чотири характерні області [10].

У ближній зоні при малих відстанях між антенами земна поверхня не потрапляє в область простору, істотну при поширенні радіохвиль, і відбиті від землі промені істотно не впливають на величину напруженості поля. У цьому випадку залежність напруженості поля від відстані близька до $\frac{1}{r}$, як і в умовах вільного простору, і не залежить від висоти установки антен.

У зоні реальних дальностей зв'язку ($r = 1-15$ км) криві побудовані на основі формули (2.1) з урахуванням поправочних коефіцієнтів, що враховують особливості поширення радіохвиль в умовах залізничних станцій і вузлів.

У перехідній зоні (при $r = 0,7-1,0$ км) значення напруженості поля визначені на основі формул Френеля, що враховують особливості відбиття радіохвиль залежно від кута падіння і параметрів земної поверхні.

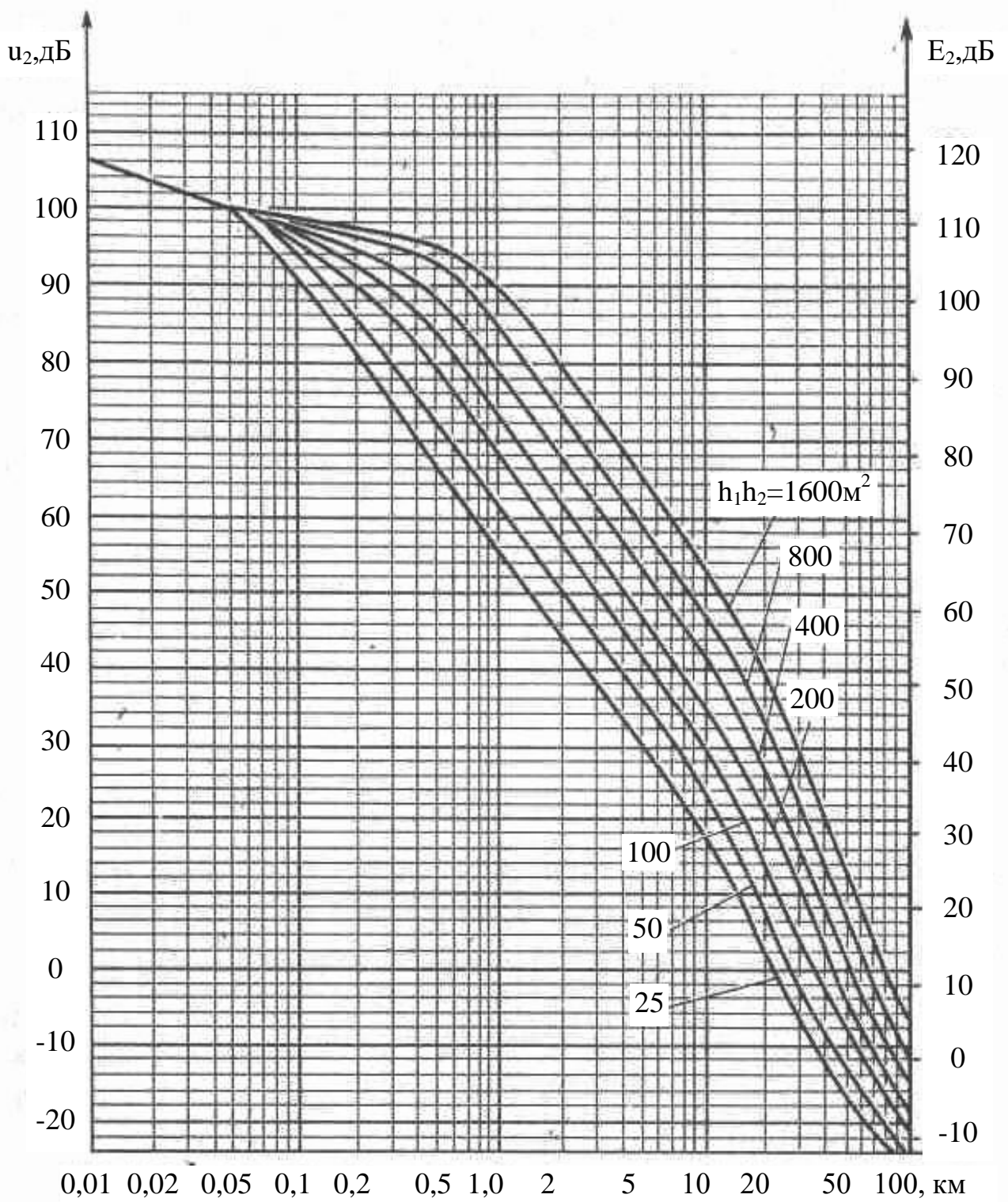


Рис. 2.13. Криві поширення радіохвиль для розрахунку зон обслуговування в станційних мережах

У далекій зоні ($r > 20-30$ км) значення напруженості поля визначені з урахуванням рекомендацій МККР для розрахунків каналів радіозв'язку [4, 26].

Криві поширення радіохвиль на рис. 2.13 дають можливість вирішувати кілька завдань, що виникають при проектуванні мереж транкінгового радіозв'язку на залізничних станціях і вузлах:

- розрахувати дальність радіозв'язку в межах зон обслуговування;
- визначити умови електромагнітної сумісності базових станцій з радіозасобами інших мереж, розташованими в ближній зоні;
- визначити координаційні відстані, на яких можливе повторне використання однакових частот базових станцій ТСР.

Розглянемо особливості вибору коефіцієнтів і виконання розрахунків за формулами (2.2)-(2.6) при визначенні дальності радіозв'язку в станційних зонах транкінгових мереж.

Розрахунки електромагнітної сумісності радіозасобів будуть розглянуті в розд. 2.5.

При розрахунках дальності радіозв'язку з використанням графіків на рис. 2.13 доцільно відразу визначати необхідну напругу на вході приймача радіостанції U_{2p} , що відповідає значенню напруженості поля в точці приймання E_{2p} , дБ,

$$U_{2p} = U_{2\text{мін}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{імов}} . \quad (2.7)$$

У табл. 2.9 наведені рекомендовані значення мінімально допустимого напруження $U_{2\text{мін}}$ на вході приймачів возимих радіостанцій. Ці значення визначені експериментально з урахуванням реальної дії індустриальних завод на ділянках залізниць із різними видами тяги.

Для стаціонарних радіостанцій значення $U_{2\text{мін}}$ можна прийняти рівним 6 дБ на ділянках залізниць, електрифікованих по системі змінного струму, 2 дБ – постійного струму, 0 дБ – на ділянках з тепловозною тягою, як і у лінійних мережах (див. розд. 2.4.2).

Таблиця 2.9

Мінімально допустимі рівні сигналів на вході приймачів
локомотивних радиостанцій

Характеристика ділянки	$U_{2\text{мін}}$, дБ	$U_{2\text{мін}}$, мкВ
Електрифікована		
на змінному струмі	14	5
на постійному струмі	6	2
Неелектрифікована	4	1,5

При розрахунку поправок $\sum V_{\text{парам}}$ в станційних зонах (див. формулу (2.3)) необхідно визначити коефіцієнт $V_{\text{п}}$ з урахуванням потужності передавача $P_1=12$ Вт, прийнятої при побудові графіків на рис. 2.13. У цьому випадку $V_{\text{п}}$ визначають, як

$$V_{\text{п}} = 10 \lg \frac{P_1}{12}. \quad (2.8)$$

Якщо відомі висоти установки антен h_1 і h_2 , то при розрахунках доцільно використовувати значення поправочного коефіцієнта V_h (див. рис. 2.10), обчислене стосовно добутку $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$, а потім визначити дальність радіозв'язку по базовій кривій $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ на графіках рис. 2.13.

Для визначення необхідного добутку висот установки антен $h_1 h_2$, через точки, що відповідають значенням необхідної дальності радіозв'язку і напруги $U_{2\text{р}}$, відкладеним на осях графіків рис. 2.13, проводять перпендикуляри. Точка їхнього перетинання визначає значення $h_1 h_2$. У необхідних випадках здійснюють інтерполяцію найближчих оцифрованих значень $h_1 h_2$.

На території великих залізничних станцій і вузлів зосереджене значне число абонентів транкінгових мереж, тому, як правило, використовують багатоканальні базові станції. На рис. 2.14 наведена схема включення устаткування чотирьоканальної базової станції з використанням комбайнера й мультикоуплера (див. також розд. 1.4.1). У цьому випадку при

розрахунку каналів необхідно враховувати додаткові втрати в антенно-фідерному тракті базової станції $V_{\text{АФПБС}}$.

Втрати, внесені в тракт передачі, становлять 3,8-4,5 дБ для 2-канальних гібридних комбайнерів; 6,8-7,2 дБ для 4-канальних систем. Завдяки використанню багатовходової передавальної антени, втрати в тракті передачі антеною системи АСС-2/2 не перевищують 4 дБ.

Втрати, внесені в тракт приймання розподільними панелями, становлять не більше 3,2 дБ для 2-канальних і не більше 6,4 дБ для 4-канальних систем. Для компенсації втрат розподільні панелі застосовуються разом з малошумними підсилювачами, які мають коефіцієнт підсилення 18-20 дБ і робочий динамічний діапазон вхідних сигналів не менш 90 дБ.

В умовах високих рівнів індустриальних радіозавод на електрифікованих ділянках залізниць мінімально допустима напруга корисних сигналів $U_{2\text{мін}}$ істотно перевищує номінальну чутливість приймачів радіостанцій (див. табл. 2.9). Із цієї причини внесене в тракт приймання додаткове згасання не може істотно погіршити умови приймання, оскільки співвідношення сигнал/шум як в антені, так і на вході приймача залишається незмінним, а номінальна чутливість однаково не може бути реалізована. Таким чином, якщо додатково внесене в тракт приймання згасання не перевищує мінімально необхідний рівень корисного сигналу $V_{\text{АФП ПРМ}} \leq U_{2\text{мін}}$, воно може не враховуватися при розрахунках.

У формулі (2.4) при розрахунку поправок $\sum V_{\text{трас}}$ приймають $V_{\text{рел}}=0$ дБ, тому що станції звичайно розташовуються на рівнинній місцевості, $V_{\text{км}}=8$ дБ на електрифікованих ділянках залізниць, $V_{\text{л}}=9$ дБ. Поправку $V_{\text{рн}}$, що враховує погіршення умов зв'язку в каналах з портативними радіостанціями, приймають рівною $V_{\text{рн}}=4$ дБ на неелектрифікованих ділянках і $V_{\text{рн}}=0$ дБ на ділянках з електротягою. При розрахунках закритих трас коефіцієнт $V_{\text{рн}}$ повинен бути збільшений на 4 дБ для всіх ділянок залізниць.

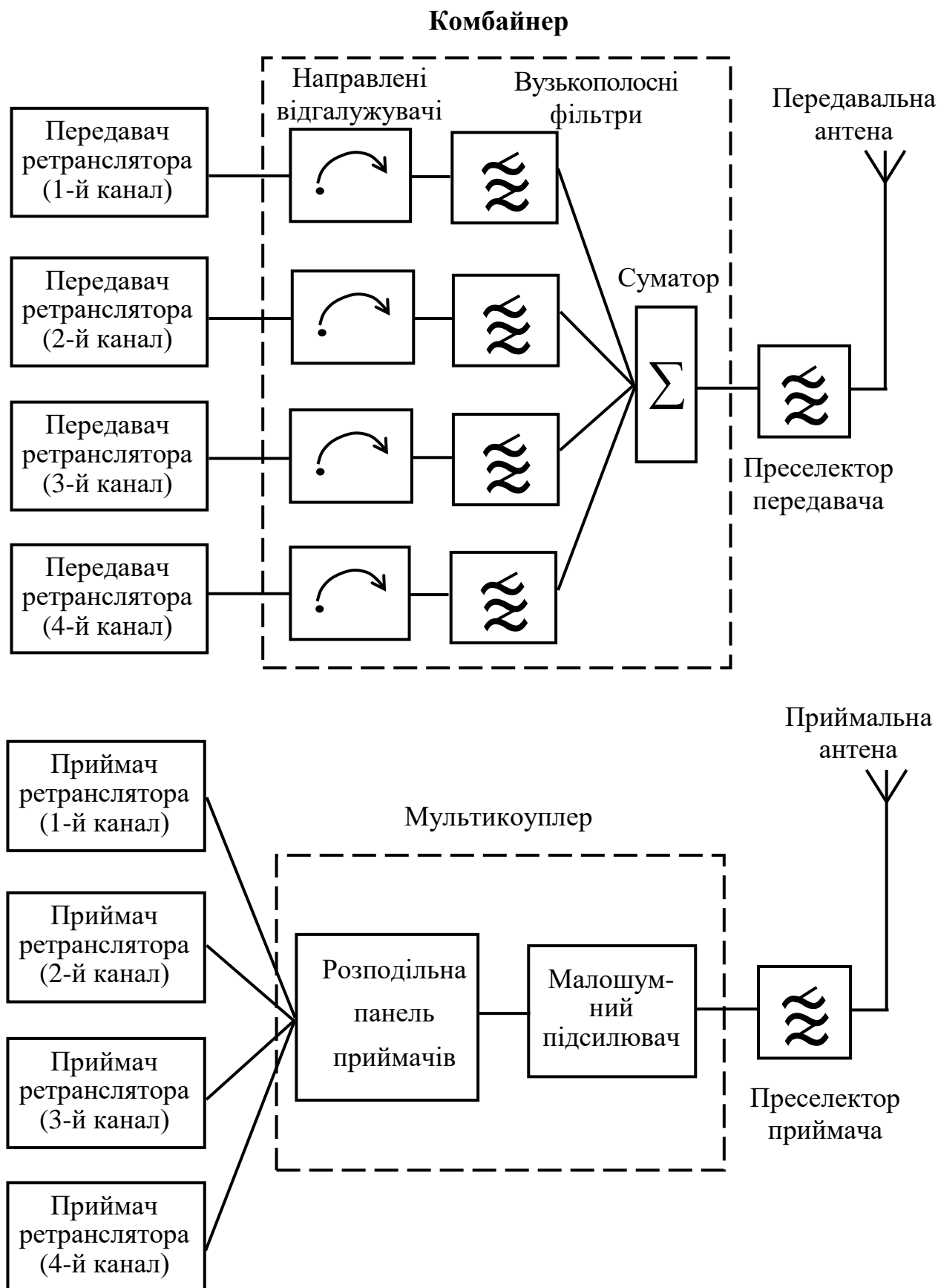


Рис. 2.14. Схема вмикання устаткування чотирьохканальної базової станції

При розрахунках поправок $\sum V_{i\text{мов}}$ приймають значення коефіцієнтів $\sum V_{\text{місц}} = 0$ дБ і $\sum V_{\text{час}} = 0$ дБ, а значення інтегрального коефіцієнта V_i визначають за графіками на рис. 2.15 залежно від необхідної надійності каналу радіозв'язку. Крива 1 наведена для неелектрифікованих, а крива 2 – для електрифікованих ділянок залізниць.

Порядок розрахунку каналів відповідно до методики [25] розглянемо нижче на конкретних прикладах.

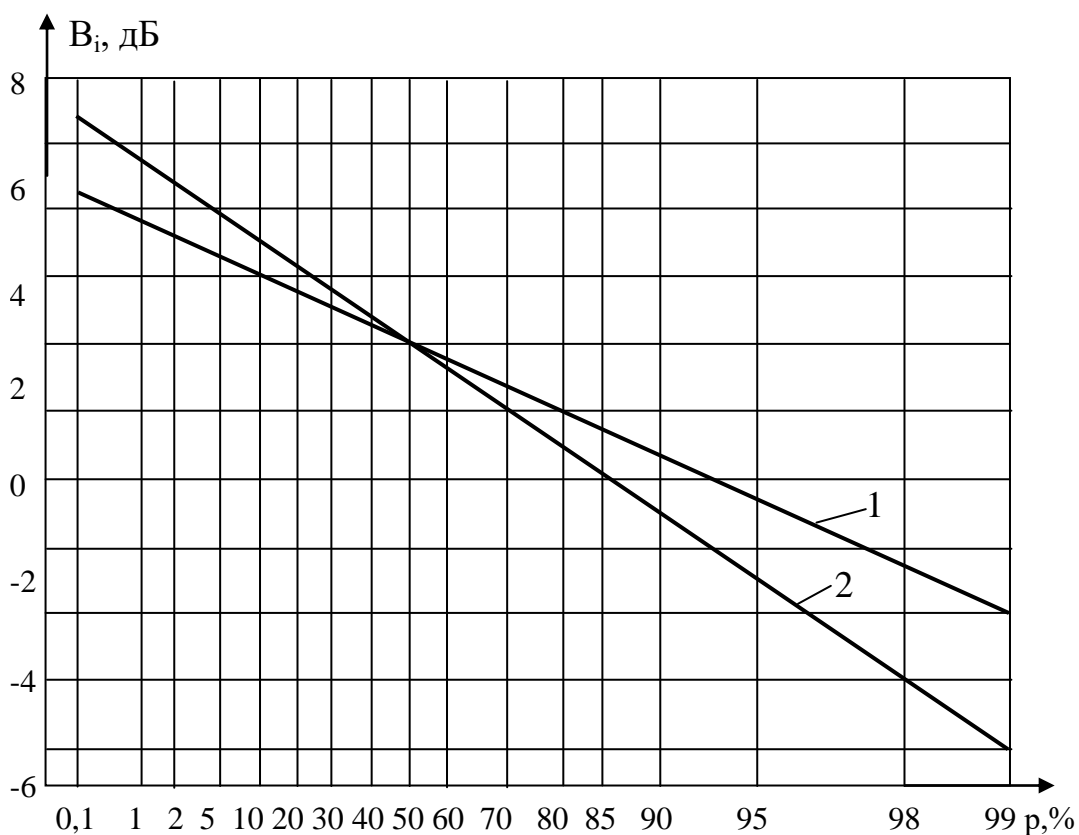


Рис. 2.15. Розподіл рівнів сигналів у залежності від надійності радіоканалу по полю

Приклад 4. Визначити можливу дальність радіозв'язку в радіальній зоні, організованій на території великої залізничної станції. При розрахунках використати вихідні дані прикладу 1.

Визначимо значення поправок, що входять у розрахункову формулу (2.7) для умов залізниці, електрифікованої по системі змінного струму.

$$U_{2\text{мін}} = 14 \text{ дБ (див. табл. 2.9).}$$

$$\begin{aligned} \sum V_{\text{парам}} &= -V_{\Pi} - V_{\text{н}} - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + V_{\text{АФП БС}} = \\ &= -(-0,8) - (-2,5) - 4 - 0 + 1,5 + 0,5 + 0 = 1,3 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Тут $V_{\Pi} = 10 \lg \frac{10}{12} = -0,8 \text{ дБ}$. Значення інших коефіцієнтів взяті із прикладу 1.

$$\sum V_{\text{трас}} = V_{\text{рел}} + V_{\text{км}} + V_{\text{л}} + V_{\text{рн}} = 0 + 8 + 9 + 0 = 17 \text{ дБ.}$$

$$\sum V_{\text{імов}} = V_{\text{і}} + V_{\text{місц}} + V_{\text{час}} = -(5,7) + 0 + 0 = 5,7 \text{ дБ.}$$

Значення $V_{\text{і}}$ визначене по кривій 1 на рис. 2.15 для ймовірності (надійності по полю) 90%.

Тоді

$$U_{2\text{р}} = U_{2\text{мін}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{імов}} = 14 + 1,3 + 17 + 5,7 = 38 \text{ дБ.}$$

По базовій кривій, що відповідає добутку висот установки антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$ на рис. 2.13, визначаємо дальність радіозв'язку: $r = 6,2 \text{ км}$.

Для умов електрифікації на постійному струмі у формулі (2.7) змінюється тільки значення $U_{2\text{мін}}$, тому

$$U_{2\text{р}} = U_{2\text{мін}} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{трас}} + \sum V_{\text{імов}} = 6 + 1,3 + 17 + 5,7 = 30 \text{ дБ,}$$

а дальність радіозв'язку складе 10 км.

При тепловозній тязі $U_{2\text{мін}} = 4 \text{ дБ}$, $\sum V_{\text{трас}} = 9 \text{ дБ}$, $U_{2\text{р}} = 20 \text{ дБ}$, а дальність радіозв'язку складе 16 км.

2.5. Розрахунок електромагнітної сумісності радіозасобів

Під електромагнітною сумісністю (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) розуміють забезпечення умов їх одночасної спільної роботи без недопустимих взаємних завад.

Можливість взаємних заважаючих впливів між радіостанціями безпосередньо витікає з неідеальності характеристик випромінювання передавачів і неідеальності характеристик вибірності приймачів.

На рис. 2.16 наведений умовний спектр сигналу радіопередавального пристрою. Випромінювання передавачів через антену діляться на основні й неосновні. Основне випромінювання призначене для передачі корисних сигналів. Воно займає необхідну смугу частот, достатню для передачі сигналу певного виду (класу випромінювання) з необхідною якістю.

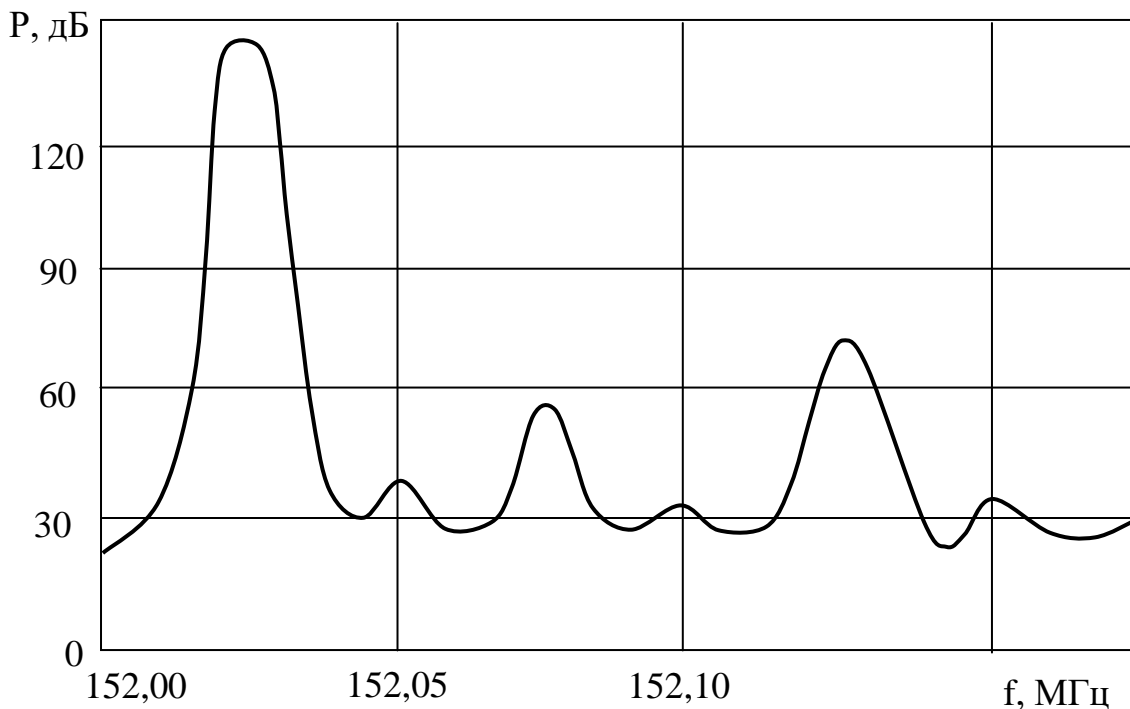


Рис. 2.16. Характеристика випромінювання передавачів

Крім основного, створюється широкий спектр неосновних випромінювань передавачів, які діляться на позаполосні, побічні й шумові [10, 27]. Відповідно до ГОСТ 12252-86 [7] неосновні

випромінювання передавачів не повинні перевищувати 2,5 мкВт на будь-якій частоті. При потужності передавача $P_{\text{ПРД}} = 12 \text{ Вт}$ і опорі $R_{\text{ПРД}} = 50 \text{ Ом}$ рівень напруги основного випромінювання становить $U_{\text{ПРД}} = 148 \text{ дБ}$ (стосовно 1 мкВ). Неосновні випромінювання передавача повинні бути ослаблені не менш, ніж на 68 дБ.

На рис. 2.17 наведена характеристика частотної вибірності приймача, що включає основний і побічні канали прийому. Вибірність приймача по побічних каналах прийому повинна бути не менш 80 дБ [7]. При таких параметрах радіозасобів можливе проникнення побічного випромінювання передавача (з рівнем до 80 дБ) по основному каналу прийому або основного випромінювання передавача (з рівнем до 148 дБ) по побічному каналу прийому з вибірністю 80 дБ. Для рішення питань забезпечення ЕМС у цих умовах необхідно знати частоти і рівні побічних випромінювань передавачів, частоти і рівні сприйнятливості побічних каналів прийому. Однак такі відомості відсутні в технічних характеристиках радіозасобів і оцінка ЕМС за цими параметрами ускладнена.

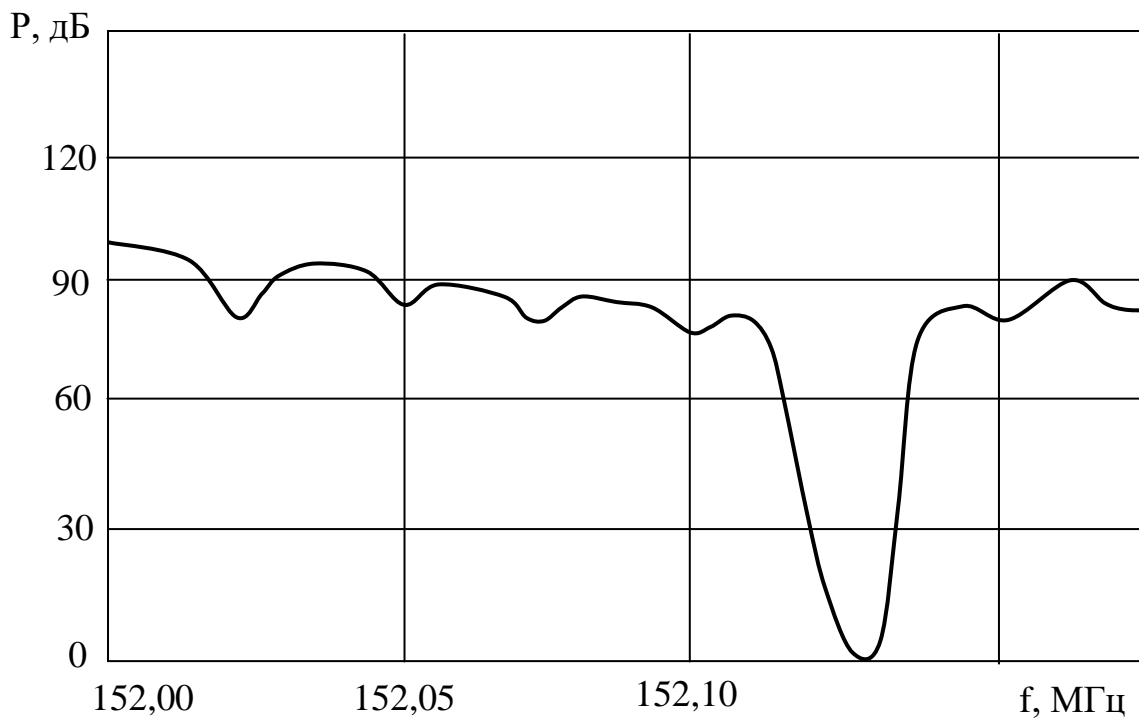


Рис. 2.17. Характеристика частотної вибірності приймачів

Методика [25] передбачає оцінку умов забезпечення ЕМС радіомереж на основі урахування явища блокування сигналів у радіоприймачах і можливості виникнення інтермодуляційних завад.

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

Параметром, що характеризує сприйнятливість приймача до блокування, є його вибірність по сусідньому каналу S_2 , що вимірюється двосигнальними методами при одночасній дії корисного сигналу і завади. Відповідно до ГОСТ 12252-86 [7] двосигнальну вибірність визначають як

$$S_2 = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{зав}}}{U_c} \right), \quad (2.9)$$

де U_c - напруга корисного сигналу;

$U_{\text{зав}}$ - напруга сигналу, що заважає, на частоті сусіднього каналу.

З урахуванням формули (2.9), двосигнальну вибірність приймачів так само називають динамічним діапазоном по блокуванню. Для стаціонарних і возимих радіостанцій двосигнальна вибірність на частоті сусіднього каналу S_2 становить ≈ 80 дБ [7].

Збільшення частотного розносу між корисними сигналами і сигналами, що заважають $\Delta f = |f_c - f_{\text{пом}}|$, приводить до збільшення захищеності приймача. Залежність вибірності приймачів радіостанцій від частотного розносу корисних сигналів і сигналів, що заважають $S_2(\Delta f)$, наведена на рис. 2.18 [25]. При мінімально допустимому рівні корисного сигналу $U_{2\text{мін}}$ вплив завад буде найбільшим, тому допустимий рівень сигналу, що заважає, у цьому випадку визначають як

$$U_{2\text{зав.доп.}(Бл)} = S_2(\Delta f) + U_{2\text{мін}}. \quad (2.10)$$

Інтермодуляцією називають явище виникнення завад на виході приймача при дії на його вході двох або більше радіосигналів, частоти яких не збігаються із частотами основного і побічного каналів прийому. Інтермодуляція обумовлена нелінійними ефектами перетворення коливань двох і більше заважаючих сигналів у тракці прийому.

Інтермодуляційно несумісними за складовими 3-го порядку вважають частоти f_1, f_2, f_3 , якщо при їхній взаємодії можуть виникнути коливання робочої частоти

$$\begin{aligned} 2f_1 - f_2 &= f_{\text{раб}}; \\ f_1 + f_2 - f_3 &= f_{\text{раб}}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

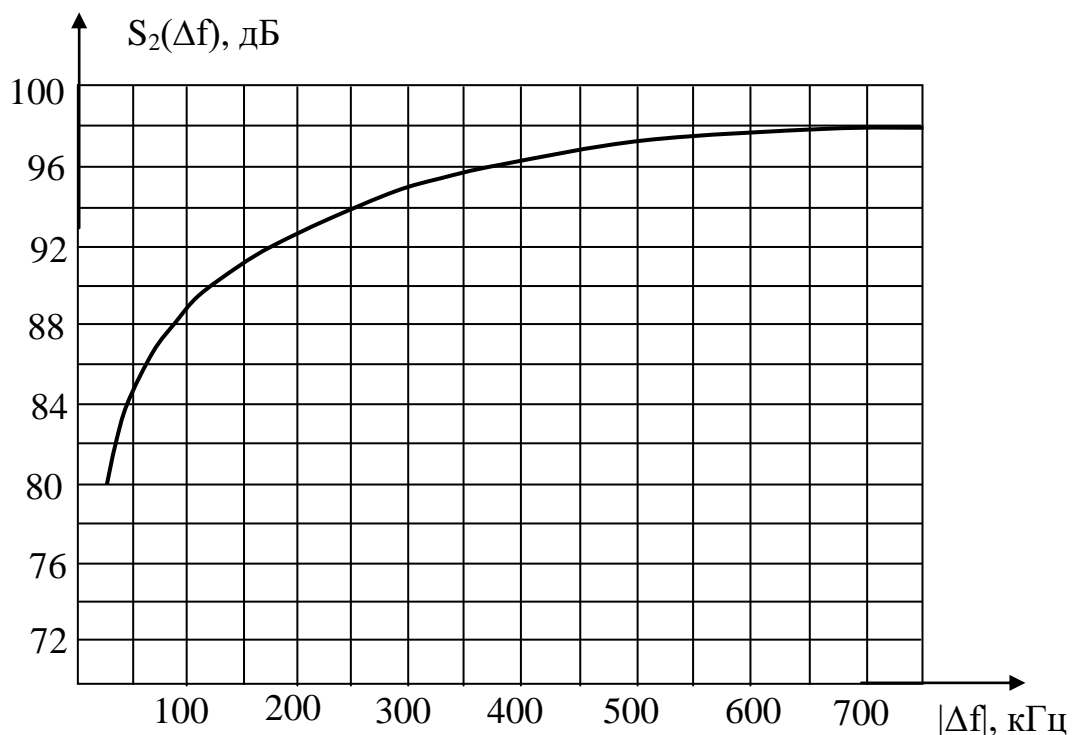


Рис. 2.18. Залежність двосигнальної вибірності приймача від частотного розносу корисного і заважаючого сигналів

Порядок інтермодуляційних складових визначають по сумі множників при частотах f_1, f_2 і f_3 .

Параметром, що характеризує сприйнятливість приймача до інтермодуляційних впливів, є його інтермодуляційна вибірність S_3 , що визначається трисигнальним методом при одночасній дії корисного і двох сигналів, що заважають. Для приймачів стаціонарних і возимих радіостанцій вона становить $S_3=70$ дБ [7] і практично не залежить від розносу робочих частот радіостанцій, тому максимально допустимий рівень сигналів, що заважають, за умовами інтермодуляційних впливів визначають як

$$U_{\text{зав.доп}(im)} = S_3. \quad (2.12)$$

Для виключення інтермодуляційних впливів частоти радіостанцій, які розташовані поблизу, необхідно вибрати інтермодуляційно сумісні, тобто при їхній взаємодії не повинна виконуватися умова (2.10). У колонках робочих частот системи «Транспорт» (див. рис. 2.3 і 2.4) підібрані інтермодуляційно сумісні частоти за складовими 3-го порядку.

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

$$U_{2\text{зав}} \leq U_{2\text{зав.доп}}. \quad (2.13)$$

Внутрішньосистемні умови забезпечення ЕМС багатоканальних базових станцій транкінгових мереж можуть бути досягнуті відповідним підбором фільтруючих елементів у трактах передачі і прийому (комбайнерів і мультикоуплерів) і раціональним вибором робочих частот. Однак на залізничних станціях зосереджена значна кількість радіостанцій інших мереж станційного, поїзного і ремонтно-оперативного зв'язку. Це створює додаткові передумови для виникнення взаємних завад, які здатні викликати порушення радіозв'язку.

Для усунення недопустимих взаємних завад необхідно виконати розрахунки ЕМС, які передбачають визначення необхідного просторового розносу між антенами стаціонарних радіостанцій і частотного розносу між робочими каналами радіомереж за умовами виключення недопустимого блокування радіосигналів і інтермодуляційних впливів.

При розрахунках ЕМС за умовами блокування сигналів вирішують два типи завдань:

- визначення необхідного просторового розносу Δr між антенами стаціонарних радіостанцій, виходячи із заданих робочих частот радіомереж f_1 і f_2 і відповідного частотного розносу $\Delta f = |f_1 - f_2|$;

- визначення необхідного розносу робочих частот радіомереж Δf , виходячи із заданої відстані між антенами стаціонарних радіостанцій Δr .

Завдання першого типу вирішують у такій послідовності.

Визначають рознос робочих частот радіомереж $\Delta f = |f_c - f_{зав}|$ і обчислюють допустимий рівень сигналу, що заважає, за формулою (2.10). При цьому значення вибірності $S_2(\Delta f)$ визначають по кривій (рис. 2.18) для заданого частотного розносу Δf .

Наступним кроком визначають розрахунковий рівень заважаючого сигналу $U_{2зав.р}$, який приведено до кривих поширення радіохвиль на рис. 2.13

$$U_{2зав.р} = U_{2зав.доп} + \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}}. \quad (2.14)$$

При розрахунках ЕМС, з огляду на малу відстань між антенами стаціонарних радіостанцій, установленими вище контактної мережі, суму поправок $\sum V_{\text{трас}}$ вважають рівною $\sum V_{\text{трас}} = 0$ дБ.

Поправку $\sum V_{\text{парам}}$ розраховують за формулою (2.3).

Коефіцієнт $V_{\text{п}}$ ураховують у тому випадку, якщо потужність передавача радіостанції, що створює заваду, відрізняється від 12 Вт.

Поправка $\sum V_{\text{ймов}} = V_i$. Значення коефіцієнта V_i визначають за графіками (рис. 2.14) для ймовірності перевищення заважаючим сигналом допустимого рівня 5-10%, що відповідає надійності забезпечення ЕМС по полю 90-95%.

Відклавши значення $U_{2\text{зав.р}}$ на осі ординат, по кривих поширення радіохвиль (рис. 2.13) для заданого добутку висот антен стаціонарних радіостанцій $h_1 h_2$, на осі абсцис визначають їх необхідний просторовий рознос Δr , при якому заважаючий сигнал не буде перевищувати допустиме розрахункове значення.

Завдання другого типу вирішують у такій послідовності.

По кривих (рис. 2.13) визначають напругу заважаючого сигналу U_2 , виходячи із заданих висот установки антен $h_1 h_2$ і просторового розносу між ними Δr .

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

$$U_{2\text{вх.зав}} = U_2 - \alpha_{\phi 1} l_1 - \alpha_{\phi 2} l_2 + G_1 + G_2 + V_i - V_{\Pi}. \quad (2.15)$$

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

$$S_2(\Delta f) = U_{2\text{вх.зав}} - U_{2\text{мін}}. \quad (2.16)$$

Частотний рознос радіомереж, необхідний для досягнення необхідного значення вибірності $S_2(\Delta f)$, визначають по кривих на рис. 2.18.

Мінімальна відстань між антенами стаціонарних радіостанцій, яка необхідна для забезпечення їх роботи на однаковій частоті без взаємних завад, називається координатною відстанню.

Допустимий рівень напруги заважаючого сигналу, частота якого збігається із частотою настройки приймачів радіостанції, приймають $U_{2\text{зав.доп.коорд}} = 0,3$ мкВ (-10 дБ) незалежно від виду тяги поїздів. При такому рівні виключається спрацьовування

шумоподавлювача від сигналу заважаючої станції, а також його прослуховування при наявності корисного сигналу з рівнями не менш $U_{2\text{мін}}$.

Для визначення координаційної відстані обчислюють розрахунковий рівень заважаючого сигналу, приведений до графіків на рис. 2.13.

$$U_{2\text{зав.коорд.р}} = \sum V_{\text{парам}} + \sum V_{\text{імов}} - 10. \quad (2.17)$$

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

Значення поправок $\sum V_{\text{парам}}$ і $\sum V_{\text{імов}}$ визначають аналогічно розглянутому раніше для формули (2.14). Поправку $\sum V_{\text{трас}}$ і у цьому випадку приймають рівною нулю.

Приклад 5. Антени стаціонарних радіостанцій перебувають на відстані 50 м одна від одної. Визначити, чи є достатнім цей просторовий рознос при роботі радіостанції на частотах сусідніх каналів. Якщо необхідно, розрахувати допустимий частотний рознос каналів.

Ділянка електрифікована змінним струмом, висоти установки антен $h_1 = 20\text{ м}$, $h_2 = 10\text{ м}$, довжина фідерів $l_1 = l_2 = 20\text{ м}$, коефіцієнти згасання коаксіального кабелю $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,15\text{ дБ/м}$, коефіцієнти підсилення антен $G_1 = G_2 = 0\text{ дБ}$, коефіцієнт $V_i = 4\text{ дБ}$ (див. рис. 2.15, крива 2 для $p = 5\%$).

Визначаємо допустимий рівень заважаючого сигналу на вході приймача за формулою (2.10) для умов роботи радіостанцій на сусідніх каналах $\Delta f = 25\text{ кГц}$:

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

Розраховуємо допустиму напругу заважаючого сигналу на вході приймача, приведену до кривих поширення радіохвиль на рис. 2.13

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

Визначаємо необхідний просторовий рознос антен стаціонарних радіостанцій по кривих на рис. 2.13 при $h_1 h_2 = 20 \cdot 10 = 200 \text{ м}^2$ і $U_{2\text{зав } p} = 96 \text{ дБ}$: $\Delta r_{\text{доп}} = 0,15 \text{ км}$.

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

Визначаємо напругу заважаючого сигналу на вході приймача радіостанції за формулою (2.10) при $\Delta r = 50 \text{ м}$ і $h_1 h_2 = 200 \text{ м}^2$, $U_2 = 100 \text{ дБ}$ по кривих на рис. 2.13

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

Визначаємо необхідний динамічний діапазон по блокуванню за формулою (2.11):

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

По кривій на рис. 2.18 визначаємо, що значення динамічного діапазону по блокуванню $S_2 = 84 \text{ дБ}$ досягається при частотному розносі $\Delta f = 50 \text{ кГц}$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Принципи класифікації мереж залізничного технологічного радіозв'язку.
2. Які смуги частот виділені для організації мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті?
3. Основні положення застосування транкінгових систем для організації залізничного технологічного радіозв'язку.
4. Завдання проектування мереж транкінгового радіозв'язку.

5. Переваги використання транкінгових систем для технологічного зв'язку.
6. Принципи планування робочих частот для мереж технологічного радіозв'язку.
7. Особливості поширення ультракоротких радіохвиль в умовах залізниць.
8. Які фактори впливають на можливу дальність радіозв'язку?
9. Що таке надійність радіозв'язку по полю?
10. Як визначається мінімально необхідний рівень корисного сигналу на вході приймача радіостанції?
11. Основні принципи методики розрахунку зон обслуговування в лінійних і радіальних зонах транкінгового радіозв'язку.
12. Які основні причини виникнення взаємних завад при одночасній роботі радіостанцій різних радіомереж?
13. Методи забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів.
14. Які види взаємних впливів ураховують при визначенні ЕМС радіомереж залізничного технологічного радіозв'язку?
15. Які частоти радіомереж називають інтермодуляційно сумісними?
16. Що таке «координаційна відстань»?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Сухопутная подвижная радиосвязь: В 2 кн. Кн. 1. Основы теории. Кн. 2. Системы и аппаратура / И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, Р.Т. Пантикян и др.; Под ред. В.С. Семенихина и И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1990.
2. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 2000.
3. Розов А.В., Брунштейн В.А. Оценка статистических параметров систем радиосвязи SmartTrunk II // Автоматика, связь, информатика. – 1998. - №5. – С.23-25.
4. Транкинговые системы радиосвязи/ В.М. Тамаркин, В.Б. Громов, С.И.Ковалев и др. – М.: МЦНТИ, Мобильные коммуникации, 1997.
5. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой связи. – М.: МЦНТИ, Мобильные коммуникации, 2000.
6. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирсова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001.
7. ГОСТ 12252-86. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений.
8. Антенные системы метрового диапазона волн/ Б.Н.Порываев, И.В. Зузенко, Э.Б. Каменева// Автоматика, телемеханика и связь.-1998. - №12. – С. 2-4.
9. Правила технической эксплуатации железных дорог Украины: Официальное издание. – К.: Транспорт Украины, 1995.
10. Радиотехнические системы железнодорожного транспорта: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Ю.В. Ваванов, А.В. Елизаренко, А.А. Танцюра и др. – М.: Транспорт, 1991.
11. Дагаева Н.Х., Клеванский Ю.М. Радиосвязь на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1991.
12. Ваванов Ю.В. Технологическая железнодорожная радиосвязь. – М.: Транспорт, 1985.
13. Савонин В.Н., Мойсеев С.В. Транкинговые системы связи на железных дорогах // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. - №4. – С. 14-16.

14. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.
15. Руководящие указания по организации и расчету ремонтно-оперативной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.
16. Ваванов Ю.В., Вериго А.М. Основные направления развития железнодорожной технологической радиосвязи // Автоматика, связь, информатика. – 1998. - №6. –С. 7-10.
17. Частотный план технологической радиосвязи железнодорожного транспорта. Утв. МПС СССР 18.04.1989.
18. Основные положения по организации сетей транкинговой и пейджинговой радиосвязи МПС РФ. – М., 1997.
19. Розов А.В., Брунштейн В.А. Радиотелефонная связь системы SmarTrunk II на Рязанском отделении // Автоматика, телемеханика и связь. – 1997. - №4. – С. 32-35.
20. Каргулин С.Г., Леднев А.В. Использование систем транкинговой радиотелефонной связи предприятиями МПС РФ // Автоматика, связь, информатика. – 2001. - №4. – С. 18-20.
21. Меремсон Ю.Я., Родигина Т.М. TETRA в Санкт-Петербурге // Автоматика, связь, информатика. – 2000. - №7. – С. 27-30.
22. Грибова И. Антенные системы для базовых станций // Радио. – 1997. - № 11. – С. 60-61.
23. Леднев А.В., Каргулин С.Г., Климова Т.В. Расчет зон обслуживания транкинговых систем радиосвязи // Автоматика, связь, информатика. – 2002. - № 12. – С. 16-17.
24. Леднев А.В., Хизгилов В.А., Каргулин С.Г. Телефонный интерфейс ELTA 200 для сопряжения транкинговых систем связи с телефонными сетями // Автоматика, связь, информатика. – 2000. - № 1. – С. 26-28.
25. Методические указания по расчету системы станционной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.
26. Мясковский Г.М. Системы производственной радиосвязи. – М.: Связь, 1980.
27. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1986.

О.В.Єлізаренко, А.О.Єлізаренко, В.П.Поляков,
К.А.Трубчанінова

ТРАНКІНГОВІ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск Єлізаренко О.В.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 23.05.06 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 6,5. Обл.-вид.арк. 6,75.

Замовлення № Тираж 100 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7