ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО РАДІОЗВ'ЯЗОК…….. 6
1.1. Принципи радіозв'язку. Найпростіша система радіозв'язку…….... 6
1.2. Природа радіохвиль. Випромінювання радіохвиль……. 10
1.3. Властивості радіохвиль……. 14
1.4. Види поляризації електромагнітної хвилі……. 15
1.5. Розподіл спектру радіохвиль. Особливості розповсюдження радіохвиль різних діапазонів…… 17
1.6. Використання різних піддіапазонів для організації систем радіозв'язку…… 26
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ БУДОВИ РАДІОСТАНЦІЙ……. 31
Частина 1. Радіопередавальні пристрої радіостанцій……. 31
2.1. Класифікація та основні характеристики радіопередавальних пристроїв…… 31
2.1.1. Узагальнена структурна схема радіопередавача. Класифікація радіопередавачів…… 31
2.1.2. Вимоги, які висуваються до радіопередавачів……. 33
2.1.3. Вимоги загального характеру……... 41
2.2. Формування сигналів телефонного радіозв'язку…….. 43
2.2.1. Загальні положення…… 43
2.2.2. Загальні відомості про амплітудну модуляцію…….. 46
2.2.3. Формування односмугових сигналів……... 50
2.2.4. Кутова модуляція…… 57
2.2.4.1. Загальні відомості про кутову модуляцію…… 57
2.2.4.2. Основні вимоги до частотних модуляторів…… 63
2.2.4.3. Формування частотно-модульованих сигналів за допомогою варикапів…… 65
Частина 2. Радіоприймальні пристрої радіостанцій оперативно-рятувальної служби…… 72
2.3. Призначення, класифікація та основні характеристики радіоприймальних пристроїв……... 72
2.3.1. Основні технічні характеристики радіоприймальних пристроїв….. 73
2.4. Структурні схеми радіоприймальних пристроїв…….. 79
2.4.1. Радіоприймач прямого посилення……... 79
2.4.2. Радіоприймач супергетеродинного типу…… 80
2.4.3. Функціональна схема радіоприймача супергетеродинного типу. Побічні канали прийому…….. 82
РОЗДІЛ 3. АНТЕНИ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ……... 85
3.1. Утворення електромагнітної хвилі…….. 85
3.2. Параметри ЕМХ і середовища поширення……. 87
3.3. Діаграма направленості……. 89
3.4. Посилення антени…… 91
3.5. Опори випромінювання й втрат. Вхідний імпеданс…….... 92

3.6. Принцип взаємності. Прийомні антени……... 95
3.7. Площа розкриття антени…… 96
3.8. Вимоги до ДН антени…….. 101
3.8.1. Вимоги до ДН УКХ антен……... 101
3.8.2. Вимоги до ДН антени на КХ…….. 103
3.9. Антени УКХ-діапазону та їх розрахунок…… 105
3.10. Антени КХ-діапазона та їх розрахунок…….. 112
3.11. Антени які використовуються підрозділами Оперативно-рятувальної служби…… 114
3.12. Фідери……... 121
РОЗДІЛ 4. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ…… 125
4.1. Класифікація систем радіозв'язку…… 125
4.2. Класифікація систем професійного рухомого зв'язку…….. 127
4.3. Радіорелейні системи передачі…….. 133
4.4. Тропосферні радіорелейні системи передачі…….. 135
4.5. Радіосистеми передачі на декаметрових хвилях…… 136
4.6. Радіосистеми, що використовують іоносферне розсіювання радіохвиль і відбиття від слідів метеорів…… 136
4.7. Супутникові системи зв'язку…… 137
4.7.1. Відомча мережа супутникового зв'язку Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи…… 141
4.8. Системи визначення місцезнаходження…….. 144
4.9. Системи персонального радіо виклику……... 147
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОНВЕНЦІОНАЛЬНОГО УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ……. 152
5.1. Загальні відомості про конвенціональні радіосистеми…… 152
5.2. Принцип ретрансляції…… 152
5.3. Принцип роботи системи шумоподавлення. Системи ідентифікації абонентів та груп…… 156
5.4. Методи захисту інформації в системах конвенціонального радіозв'язку…….. 161
5.5. Реалізація систем конвенціонального радіозв'язку…….. 170
РОЗДІЛ 6. СИСТЕМИ ТРАНКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ…… 176
6.1. Системи транкового радіозв'язку з децентралізованим каналом управління. Транкова система радіозв'язку протоколу SmarTrunk…… 176
6.2. Системи транкового радіозв'язку з розподіленим каналом управління. Транкова система протоколу LTR…… 182
6.2.1. Приклади організації систем зв'язку……... 189
6.2.2. Побудова багатозонових мереж LTR…… 190
6.2.3. Розширення протоколу LTR…….. 192
6.3. Системи транкового радіозв'язку з виділеним каналом

управління. Транкова система протоколу MPT1327……. 194
6.3.1. Коротка характеристика стандарту……. 196
6.3.2. Основні характеристики системи……. 197
6.3.3. Загальні принципи роботи……. 201
6.3.4. Нумерація абонентів MPT1343……... 202
6.3.5. Можливості передачі даних в MPT1327…… 204
6.3.6. Послуги, які надаються системами на основі MPT1327…… 206
6.4. Цифрові види транкового радіозв'язку…….. 207
6.4.1.Основні характеристики цифрових транкових систем……. 207
6.4.2. Принципи роботи цифрових систем радіозв'язку……. 211
6.4.3. Методи доступу FDMA та TDMA в цифрових системах зв'язку…… 214
6.4.4. Стійкість до інтерференції цифрових систем……. 216
6.4.5. Загальні відомості про стандарти цифрового транкового радіозв'язку……. 218
6.4.6. Короткий порівняльний аналіз стандартів цифрового радіозв'язку 237
РОЗДІЛ 7. ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В ГАРНІЗОНІ ОРС ЦЗ……. 243
7.1. Призначення і особливості організації радіозв'язку……. 243
7.2. Організація зв'язку повідомлення…… 247
7.3. Організація оперативно-диспетчерського зв'язку…… 248
7.4. Організація зв'язку на місці ліквідації НС……. 250
7.5. Особливості використання й розміщення засобів радіозв'язку…….. 254
7.6. Побудова профілю радіотраси при організації внутрішньообласного радіозв'язку аварійно-рятувальних підрозділів МНС……. 259
7.7. Організація УКХ та КХ радіозв'язку зі стаціонарними й рухомими об'єктами одноканальних мереж і розрахунок її дальності…….. 262
РОЗДІЛ 8. РУХОМІ ПУНКТИ УПРАВЛІННЯ…….. 268
8.1. Принципи побудови рухомих пунктів управління…….. 268
8.1.1. Призначення й особливості застосування рухомих пунктів управління……... 268
8.1.2. Структурна схема й коротка характеристика елементів рухомого вузла зв'язку…… 270
8.1.3. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів рухомих вузлів зв'язку. Шляхи зниження взаємних перешкод…… 273
8.2. Командно-штабні машини Р-145БМ і Р-142Н. Тактико-технічні характеристики, структурна схема, склад і призначення основних елементів КШМ…… 276
8.3. Використання КШМ підрозділами ОРС ЦЗ України……... 279
8.3.1. Модернізації КШМ Р-142Г проведена на базі Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля…….. 282
ЛІТЕРАТУРА……. 287

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО РАДІОЗВ'ЯЗОК

1.1. Принципи радіозв'язку. Найпростіша система радіозв'язку

Радіозв'язок як і інші види зв'язку, призначений для передачі інформації на відстані. Принципова відмінність радіосистем передачі інформації виявляється в тому, що умови розповсюдження радіохвиль в радіолінії нестаціонарні, тобто можуть змінюватися залежно від часу та частоти. Однак передача за допомогою радіозв'язку в деяких випадках є єдиним методом зв'язку (наприклад зв'язок з рухомими об'єктами).

Найпростішу систему радіозв'язку (зв'язку) представлено на рис. 1.1.

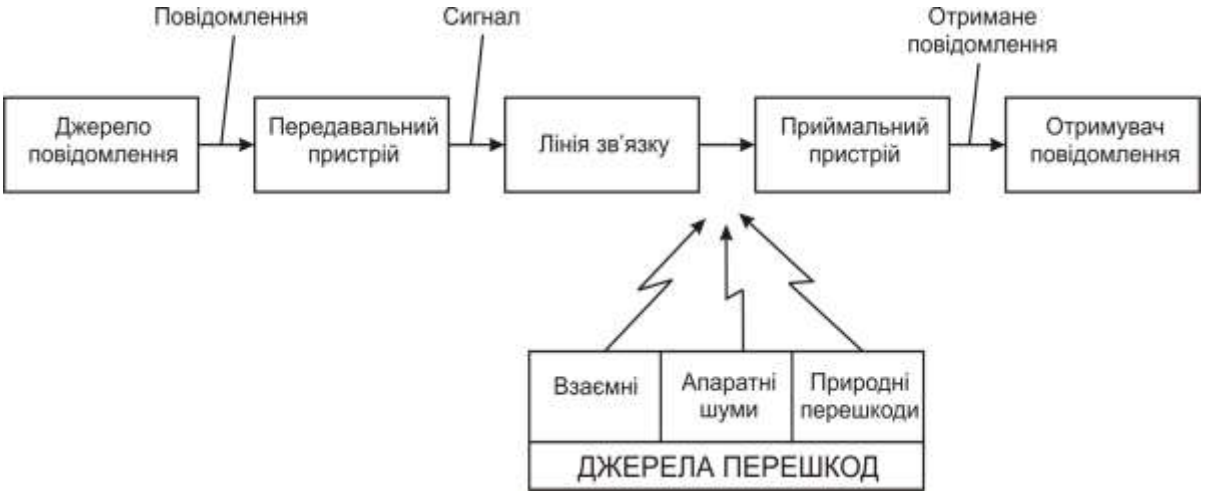

Рис. 1.1. Найпростіша система радіозв'язку

Під *інформацією* розуміють сукупність відомостей про якісь явища, події, об'єкти, про стан якоїсь матеріальної системи – все те, що можливо використати для виконання цілеспрямованих дій.

Інформація, викладена в певній формі, являє собою *повідомлення*, що підлягає передачі на відстань. Звичайно інформація являє собою сукупність знаків, що характерні для даної *мови*. Ця сукупність знаків, що містить деяку інформацію, і є *повідомленням*.

По формі викладення повідомлення може бути дискретним або аналоговим.

При передаванні будь-якого повідомлення користуються будь-яким матеріальним носієм, що здатний розповсюджуватися з деякою швидкістю від джерела повідомлення (людини, ЕОМ, системи телекерування тощо) до адресата (людини, ЕОМ, системи телесигналізації тощо). Такими носіями можуть бути, наприклад, листоноша, звукові коливання повітря, електромагнітне поле тощо.

Повідомлення що поступило від джерела певним чином перетворюється в передавальному пристрої у *сигнал* (в радіозв'язку – радіосигнал) для того, щоб найкращим чином адаптувати його для передавання по лінії зв'язку (лінії радіозв'язку). Фізична величина, яка

відображає при передачі повідомлення називається *сигналом*. Між повідомленням та сигналом повинна існувати однозначна відповідність, щоб адресат зміг однозначно вилучити з сигналу передане повідомлення.

В процесі передачі повідомлення один або декілька параметрів сигналу змінюються в залежності з заданим правилом та повідомленням, яке передається.

Лінією зв'язку називається середовище, в якому відбувається перенесення повідомлення від джерела до адресата. У радіозв'язку, як і в електропровідному зв'язку, матеріальним носієм повідомлення є електромагнітне поле. Різниця полягає в тому, що в електропровідному зв'язку електромагнітне поле розповсюджується вздовж лінії, яка утворюється не менше ніж двома провідниками (інколи в якості другого дроту може бути використаний ґрунт землі, яка має струмопровідні властивості). При радіозв'язку електромагнітне поле розповсюджується у просторі над поверхнею землі при відсутності штучних провідників між пунктами передачі й прийому. Таким чином, *лінію радіозв'язку* утворює область простору над поверхнею землі, в якому розповсюджуються електромагнітні хвилі.

З цього випливає, що для передачі повідомлення по лінії радіозв'язку необхідне попереднє перетворення повідомлення в електричні коливання, які називаються *первинним сигналом* електрозв'язку. Так при передачі мовних повідомлень звуковий тиск повітря перетворюється мікрофоном в електричну напругу (струм), а при передачі телеграм кожний символ (літера, цифра) перетворюється телеграфним апаратом у визначену послідовність електричних імпульсів тощо. В останньому випадку одночасно з перетворенням повідомлень в первинний сигнал здійснюється і *кодування повідомлення*.

Тому первинний перетворювач дискретних повідомлень інколи називають (що використовується в *моделі* найпростішої системи зв'язку) *кодером* джерела повідомлень.

Каналом електрозв'язку називається сукупність технічних пристроїв і ліній зв'язку, що забезпечують при підключенні кінцевих апаратів (абонентських пристроїв) передачу повідомлень від джерела до адресата. При такому визначенні кінцеві апарати (телефонні, телеграфні тощо) не є складовою каналу. Канал існує незалежно від того, ввімкнені кінцеві апарати чи ні, передається по каналу інформація або він не зайнятий.

Канал зв'язку разом з джерелом повідомлення і його отримувачем *при заданих (обраних) методах перетворення повідомлення в сигнал* (а також відновлення з прийнятого сигналу) називається *найпростішою системою зв'язку*.

Система радіозв'язку називається багатоканальною, якщо їй належить декілька одночасно задіяних каналів, по яким передаються сигнали, що несуть різні, а інколи однакові повідомлення.

Пристрій, що перетворює повідомлення в сигнал, називається передаючим пристроєм, а пристрій, що перетворює прийнятий сигнал, –

приймальним пристроєм. В техніці радіозв’язку ці два поняття більш конкретизовані. Під *передавальним пристроєм* розуміють технічні засоби, що знаходяться між джерелом повідомлення і середовищем розповсюдження радіохвиль, а під *приймальним пристроєм* – технічні засоби, що знаходяться між середовищем та адресатом повідомлення. (рис. 1.2).

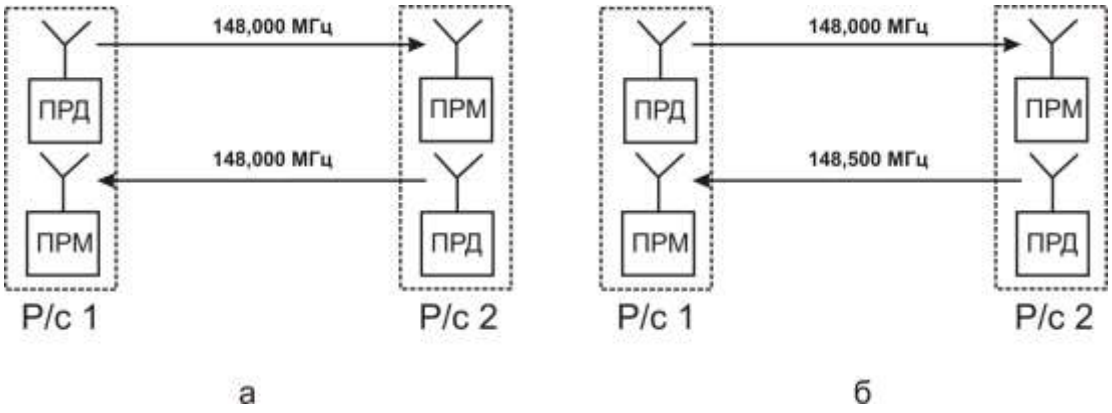

Рис. 1.4. Схема симплексного зв’язку (а) та дуплексного зв’язку (б)

Комплекс апаратури, призначеної для ведення радіозв’язку, звичайно називають радіостанцією. В наведеній на рис. 1.1 і рис. 1.2 системі радіозв’язку одна радіостанція є передавальною, інша – приймальною. Так всі транслюючі радіостанції є передавальними. Оскільки радіозв’язок Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту України (ОРС ЦЗ) найчастіше буває двостороннім, то на кожному пункті радіозв’язку розміщують і приймальну і передавальну апаратуру: радіостанції на кожному пункті стають прийомопередавальними (рис. 1.3).

У цьому випадку джерело повідомлення і його отримувач об’єднуються одним поняттям *кореспондент*, оскільки поняття «джерело» і «отримувач» повідомлення при двобічному зв’язку стають умовними: один і той же об’єкт (або суб’єкти) періодично виступає то в ролі джерела, то в ролі отримувача повідомлення.

Зв'язок між кореспондентами вважається встановленим, якщо від одного з них отримано підтвердження про отримане повідомлення.

Канал зв’язку, по якому в даний момент часу можлива передача сигналів тільки в одному напрямку (від джерела до адресата), називається *симплексним* (рис. 1.4). Якщо по каналу зв’язку можлива одночасна передача сигналів з обох напрямків, то такий канал називається *дуплексним*.

Рис. 1.2. Одностороння система радіозв'язку. Канал радіозв'язку [1]

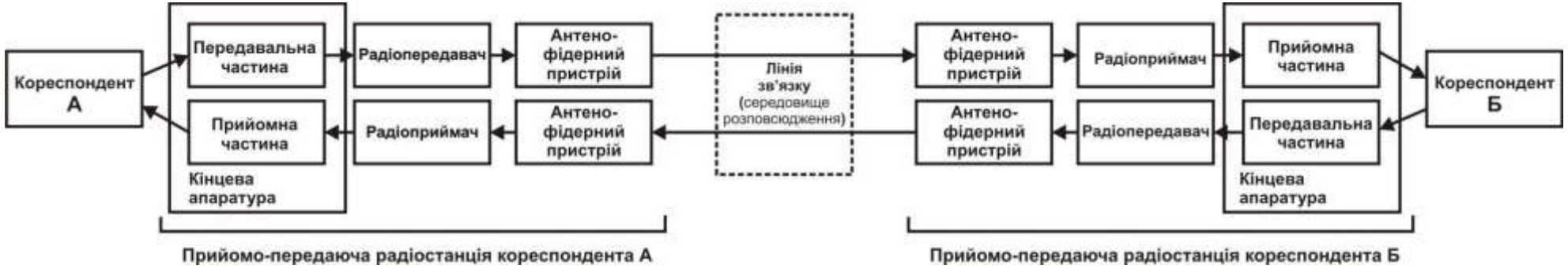

Рис. 1.3. Двостороння система радіозв'язку

1.2. Природа радіохвиль. Випромінювання радіохвиль

Радіохвилі – це електромагнітні коливання (сукупність взаємозв'язаних електричних і магнітних коливань), що поширюються в просторі зі швидкістю світла (300 000 км/сек). До речі, світло також відноситься до електромагнітних хвиль, що і визначає їх досить схожі властивості (відбиття, інтерференцію, загасання тощо).

Електромагнітне випромінювання характеризується частотою, довжиною хвилі та потужністю енергії, яка переноситься.

Частота електромагнітних хвиль f – число повних періодів зміни напруженості поля в одиницю часу. Показує, скільки разів у секунду змінюється у випромінювачі напрямок електричного струму й, отже, скільки разів у секунду змінюється в кожній точці простору величина електричних і магнітних полів. Виміряється частота в герцах (Гц) – одиницях названих ім'ям німецького вченого Генріха Рудольфа Герца. 1 Гц – це одне коливання в секунду, 1 кГц (1 кілогерц) – 1000 Гц, 1 МГц (1 мегагерц) – 1000 кГц – 1000000 Гц.

Знаючи, що швидкість руху електромагнітних хвиль в вакуумі дорівнює швидкості світла, можна визначити відстань між точками простору, де електричне (або магнітне) поле перебуває в однаковій фазі. Ця відстань називається довжиною хвилі.

Довжина хвилі λ – найкоротша відстань між двома точками в просторі, на якій фаза електромагнітної хвилі змінюється на 2π. Довжина хвилі (у метрах) розраховується за формулою:

$$\lambda = \frac{300000000\,м/с}{f}, \qquad (1.1)$$

де f – частота електромагнітного випромінювання в Гц.

З формули видно, що, наприклад, частоті 1 МГц відповідає довжина хвилі близько 300 м. Зі збільшенням частоти довжина хвилі зменшується, зі зменшенням – збільшується.

Знання довжини хвилі дуже важливе при виборі антени для радіосистеми, оскільки від неї прямо залежить довжина антени.

Електромагнітні хвилі вільно проходять через повітря або космічний простір (вакуум). Але якщо на шляху хвилі зустрічається металевий провідник, антена або будь-яке інше провідне тіло, то вони віддають йому свою енергію, викликаючи тим самим у цьому провіднику змінний електричний струм. Але не вся енергія хвилі поглинається провідником, частина її відбивається від поверхні. До речі, на цьому засноване застосування електромагнітних хвиль у радіолокації.

Ще однією корисною властивістю електромагнітних хвиль є їх здатність огинати тіла на своєму шляху. Але це можливо лише в тому випадку, коли розміри тіла менші, ніж довжина хвилі, або порівнянні з нею. Наприклад, щоб виявити літак, довжина радіохвилі системи

радіолокації повинна бути менше його геометричних розмірів (менше 10 м). Якщо ж тіло більше, ніж довжина хвилі, воно може відбити її.

Енергія, яку переносять електромагнітні хвилі, залежить від потужності генератора (випромінювача) і відстані до нього. Потік енергії, що припадає на одиницю площі, прямо пропорційний потужності випромінювання й обернено пропорційний квадрату відстані до випромінювача. Це значить, що дальність зв'язку залежить від потужності передавача, але в набагато більшому ступені від відстані до нього.

Наприклад, потік енергії електромагнітного випромінювання Сонця на поверхню Землі сягає 1 кіловата на квадратний метр, а потік енергії середньохвильової віщальної радіостанції – всього тисячні й навіть мільйонні частки вата на квадратний метр.

Відкритий коливальний контур. Формування електричного поля в просторі [2]

Радіохвилі переносять через простір енергію, випромінювану генератором електромагнітних коливань. Радіохвилі створюються струмами високої частоти, які отримують за допомогою коливальних систем, наприклад, замкненого коливального контуру. Однак для випромінювання радіохвиль замкнений коливальний контур непридатний. Випромінювати в простір електромагнітну енергію здатен лише відкритий коливальний контур чи антена.

Щоб уявити, як можна отримати відкритий коливальний контур розглянемо рис.1.5 [2] Замкнений коливальний контур складається з котушки індуктивності L і ємності конденсатора C. Якщо розсунути обкладки конденсатора, то отримаємо відкритий коливальний контур. Далі якщо замінити обкладки конденсатора дротом відповідної довжини, а дріт котушки індуктивності розвернути у пряму лінію, то отримаємо звичайний відрізок дроту. Будь-який дріт має власну ємність та індуктивність, що розподілені по його довжині. Тобто за допомогою прямолінійного дроту (що має ті ж властивості, що й замкнений коливальний контур) можна отримати вільні електромагнітні коливання.

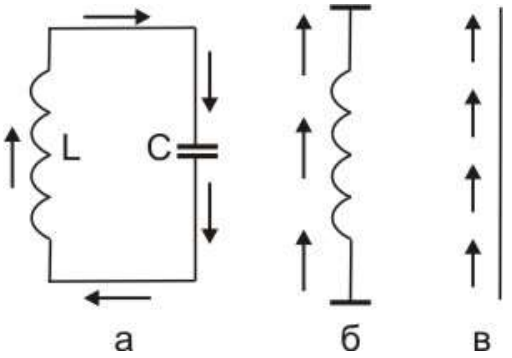

Рис.1.5. Перехід від замкненого коливального контуру до відкритого і перетворення його в антену

Процес електромагнітного випромінювання можна розглядати в спрощеному вигляді взаємодії між силовими лініями електричного поля та електричними зарядами, що виникають в передавачі. Припустимо, що передавач здійснює незатухаючі електричні коливання однієї частоти. Графік цих коливань зображений на рис. 1.6. В якості антени використовують два вертикальних провідника (вібратор), довжина яких співрозмірна з довжиною випромінюючих радіохвиль. Антена є відкритим коливальним контуром, який налаштований в резонанс з електричними коливаннями, які поступають на неї. При підключенні передавача до вібратора за рахунок роботи, що здійснюється джерелом струму в електрично нейтральних провідниках вібратора, починається процес поділу електричних зарядів. Цей процес можна представити у вигляді появи на затискачах вібратора зарядів позитивної і негативної полярності. Кількість зарядів будемо вважати зростаючою чи спадаючою пропорційно до зміни ЕРС (Е), що поступає з виходу передавача на вібратор.

Прослідкуємо весь процес на відрізку часу, рівному часу одного періоду. В момент часу ($t = 0$), коли ЕРС генератора рівна нулю, вібратор не заряджений і електричного поля немає. Із збільшенням ЕРС верхня половина вібратора почне заряджатись позитивними зарядами, а нижня – негативними. Для простоти розгляду будемо вважати, що перший заряд, що з'явився при збільшенні напруги рухається ніби від центра до протилежних кінців вібратора. Одночасно з рухом заряду силові лінії електричного поля, що починаються на позитивних і закінчуються на негативних зарядах, будуть викривлятись і займати все більші і більші об'єми простору. Даний процес буде проходити по всій поверхні вібратора при $t = T/4$. Таким чином відбувається перетворення електричної енергії в енергію електричного поля, яка ніби рухається від антени в навколишнє середовище. З моменту часу $t = T/4$, ЕРС на затискачах вібратора зменшується. Електричні заряди переміщуються від кінців вібратора до джерела, силові лінії електричного поля стягуються до середини вібратора і замикаються. В момент часу $t = T/2$, ЕРС на затискачах вібратора і його заряд знову рівний нулю. У просторі залишаються замкнені силові лінії електричного поля. Протягом наступної чверті періоду (від $t = T/2$ до $t = 3/4T$) ЕРС на затискачах вібратора має напрям, протилежний первісному. Вібратор знову заряджається, однак тепер в його верхній половині виникають негативні, а в нижній – позитивні заряди. У просторі, що оточує вібратор, створюється нове електричне поле, силові лінії якого направлені знизу – вгору. При наростанні ЕРС заряди переміщуються від середини вібратора до його кінців, електричне поле займає щоразу більший простір, відштовхуючи від вібратора електричне поле, що було створене за час першого півперіоду. В момент часу $t = 3/4T$ створене електричне поле досягне максимуму. За час повного періоду коливання ЕРС на затискачах вібратора проходить повний цикл зміни напруженості

електричного поля. Таким чином навколо вібратора створюється змінне електричне поле, що переміщується у просторі.

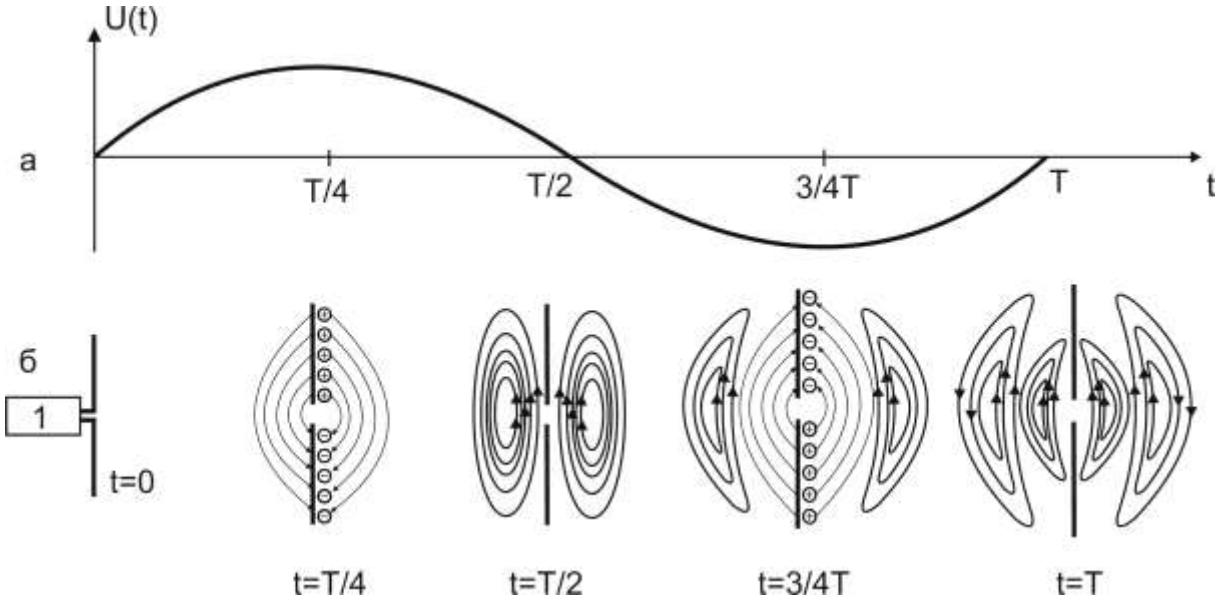

Рис. 1.6. Формування електричного поля у просторі [2]
а) електричний сигнал, б) електричне поле в різні моменти часу

При зміні електричного поля виникає зв'язана з ним зміна магнітного поля. Силові лінії магнітного поля формуються навколо вібратора у вигляді концентричних кіл і переміщуються в просторі одночасно з електричним колом. Змінні електричне і магнітне поля і є радіохвилею. Швидкість розповсюдження радіохвиль в вакуумі і в повітрі практично рівна швидкості світла – $3 \cdot 10^8$ м/с.

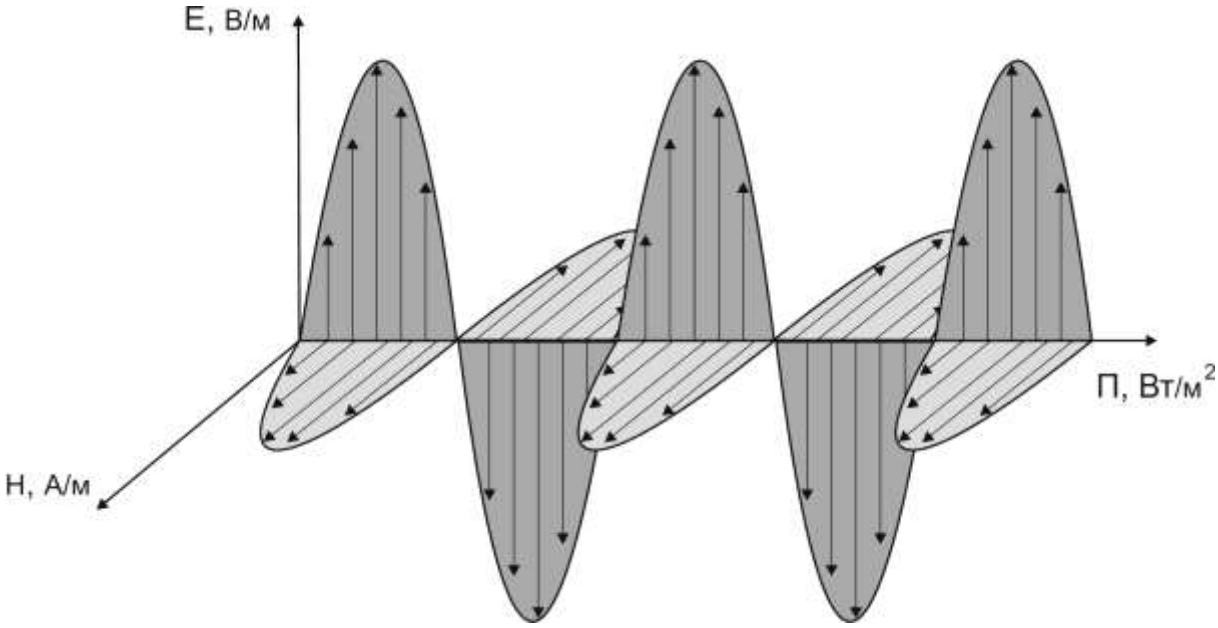

Рис.1.7. Графічне зображення радіохвилі

Графічно радіохвилі зображають у вигляді двох синусоїд, що розміщені у взаємно перпендикулярних площинах (рис.1.7). Вектори напруженості електричного поля E розміщені у вертикальній площині, а вектори напруженості магнітного поля H – в горизонтальній, причому ці вектори перпендикулярні до вектора $П$, який називається вектором Умова-Пойтінга. Напрям вектора $П$ співпадає з напрямом розповсюдження енергії хвиль, а його довжина в прийнятому масштабі відповідає кількості електромагнітної енергії, яку переносять радіохвилі.

Радіохвилі характеризуються площиною поляризації, тобто напрямом площини, що проходить через вектори E і H. На рис. 1.7 показані вертикально поляризовані радіохвилі. Такі хвилі створюються вертикальним вібратором (антеною). Якщо вібратор розміщений горизонтально, вектори E і H матимуть напрям вздовж поверхні землі і радіохвилі будуть горизонтально поляризовані. В радіостанцій приймальні антени повинні бути орієнтовані у відповідності з поляризацією радіохвиль, що приймаються.

1.3. Властивості радіохвиль

Розповсюдження радіохвиль в просторі супроводжується такими явищами.

Розсіювання енергії. Зі збільшенням відстані від випромінювача (антени) густина потоку енергії у визначеній точці простору зменшується. Для виявлення цієї залежності припустимо, що вся потужність, яку випромінює антена розповсюджується у всі сторони рівномірно, не поглинаючись. Якщо припустити існування навколо антени деякої сферичної поверхні то потужність, що буде проходити через одиницю поверхні сфери, в центрі якої знаходиться випромінювач, визначається величиною модуля вектора Умова-Пойтінга:

$$П = \frac{P_{\Sigma}}{4\pi r^2} \qquad (1.2)$$

де $П$ – густина потоку енергії, Вт/м^2; P_{Σ} – потужність, що випромінюється антеною, Вт; r – відстань від випромінювача до точки прийому, м.

Таким чином, величина густини потоку енергії радіохвилі зі збільшенням відстані від антени зменшується пропорційно до квадрату відстані.

Поглинання енергії. При розповсюдженні радіохвиль їх енергія для певної точки місцевості безперервно зменшується не лише через явище розсіювання. Частина енергії радіохвиль губиться при утворенні струмів провідності у ґрунті і в інших металевих предметах, оскільки під дією змінного електричного і магнітного полів у провідниках з'являється електричний струм вихрового характеру, енергія якого частково

перетворюється у тепло. Явище перетворення енергії радіохвиль в інші види енергії отримало назву поглинання енергії.

Атмосферна рефракція. Радіохвилі розповсюджуються у повітряному середовищі прямолінійно. Однак якщо шари атмосфери відрізняються один від одного густиною, будуть відрізнятись і їхні електричні характеристики, а саме діелектрична проникність. Радіохвилі будуть заломлюватись, тобто шлях їх розповсюдження викривляється. Явище викривлення напрямку розповсюдження радіохвиль у неоднорідному середовищі отримало назву атмосферної рефракції. Якщо діелектрична густина середовищ, в яких розповсюджуються хвилі, сильно відрізняється одна від одної (наприклад, «повітря-ґрунт», «повітря-вода»), радіохвилі будуть не тільки заломлюватись, але й відбиватись. При цьому, так як і в оптиці, кут падіння рівний куту відбиття.

Дифракція радіохвиль. Радіохвилі можуть огинати різні перешкоди, що зустрічаються на шляху розповсюдження. Це явище отримало назву дифракції. Дифракція тим менша чим менша довжина хвилі. На ультракоротких хвилях явище дифракції майже не зустрічається.

Інтерференція радіохвиль. У тому випадку коли хвилі від одного й того ж передавача, пройшовши різні шляхи, приходять у точку прийому, виникає явище інтерференції.

Інтерференцією називається явище, що виникає при накладенні двох чи декількох хвиль і означає стійке (у часі) взаємне підсилення в одних точках простору і послаблення в інших – залежно від співвідношення між фазами цих хвиль. При інтерференції двох хвиль інтерференційні максимуми знаходяться в тих точках, в яких коливання відповідні обом хвилям здійснюються з різницею фаз, що рівна 0 чи кратна 2π. Інтерференційні мінімуми знаходяться у точках в яких різниця фаз коливань рівна непарному числу π.

1.4. Види поляризації електромагнітної хвилі

Просторове положення передавальної антени відносно Землі визначає площину *поляризації хвилі*, що представляє собою площину, у якій розташований вектор напруженості електричного поля E. Якщо цей вектор (рис. 1.8) розташований у горизонтальній площині, то радіохвиля називається горизонтально поляризованою, якщо у вертикальній – вертикально поляризованою (в принципі радіохвилі можуть мати й інші види поляризації, наприклад, кругову).

Випромінювання вертикально або горизонтально поляризованих хвиль здійснюється за допомогою випромінювачів розташованих відповідним чином. У зв'язку із цим передавальні й прийомні антени іноді класифікують як антени з вертикальною або горизонтальною поляризацією.

У діапазоні коротких хвиль поляризація електромагнітного поля антени має другорядне значення. Так, радіохвиля, випромінювана антеною

з вертикальною поляризацією, може бути без особливого ослаблення прийнята за допомогою антени, що має горизонтальну поляризацію.

Рис. 1.8. Площини поляризації електромагнітної хвилі

Зовсім інакше поляризація радіохвилі розглядається в діапазоні УКХ. Для одержання максимального рівня прийнятого сигналу обов'язково, щоб поляризація передавальної й приймальної антен була однаковою.

Якщо говорити про поляризацію електромагнітних хвиль у вільному просторі, то горизонтальна й вертикальна поляризації не мають яких-небудь переваг одна над одною, через те, що в місці прийому вони дають поле однакової напруженості. Однак у реальних умовах внаслідок близькості Землі, наявності природних і штучних об'єктів, різних джерел перешкод горизонтальна й вертикальна поляризації стають нерівноцінними.

Так, вертикально поляризовані хвилі при поширенні поблизу поверхні Землі (на висотах, рівним декільком довжинам хвиль) у місці прийому забезпечують трохи більший рівень напруженості електромагнітного поля, особливо якщо поверхня на трасі має гарну провідність (наприклад, морська вода). Однак зі збільшенням висоти підвісу передавальної й приймальної антен ця перевага вертикальної поляризації зменшується, а при значних висотах практично не проявляється зовсім. У той же час радіохвилі з горизонтальною поляризацією краще проникають через перешкоди й за межі зони прямої видимості, забезпечуючи в цих умовах порівняно більшу величину напруженості електромагнітного поля. Крім того, у містах, де є велика кількість вертикальних об'єктів, що можуть відбивати ЕМХ (стіни будинків, промислові вежі, труби, стовпи тощо), при горизонтальній поляризації отримується менше відбитих інтерферуючих хвиль, які викликають помітні завмирання сигналу. Варто також вказати на вплив перешкод, створюваних системами запалювання двигунів внутрішнього згоряння. При проходженні іскри в переривнику та свічах, наприклад, автомобільних двигунів, виникають ультракороткі хвилі, які

вільно випромінюються, викликаючи появу в гучномовці шумових перешкод. Такі ультракороткохвильові перешкоди звичайно мають більш сильну вертикально поляризовану складову електромагнітного поля, ніж горизонтально поляризовану. Це відбувається через те, що джерела таких перешкод, як правило, розташовані близько до поверхні Землі, внаслідок чого горизонтальна складова перешкоди отримує більше загасання. Експериментальні виміри показують, що потужність перешкод на вході приймача в діапазоні частот 50-60 МГц при горизонтально розташованій антені приблизно у два рази менша, ніж при вертикальній антені. Щоправда, на частотах вище 100 МГц значної різниці в рівнях перешкод вже не спостерігається Нарешті, для прийому горизонтально поляризованих хвиль розроблені різноманітні конструкції горизонтальних антен, технологія виготовлення яких простіша, ніж для вертикальних. До того ж горизонтальні антени можна встановлювати на металевих щоглах, що істотно спрощує їхню експлуатацію. Горизонтальні антени (навіть найпростіша з них – напівхвильовий вібратор) мають спрямованість у горизонтальній площині, що дозволяє за рахунок просторової селекції послабити дію перешкод і відбитих сигналів.

Слід відзначити, що при відбитті радіохвиль від різних предметів поляризація може змінюватися. Інтенсивність відбиття хвиль із різною поляризацією також різна. Тому в деяких випадках може виявитися корисним відмова від звичайного горизонтального розташування прийомної антени, нахиливши її в ту або іншу сторону для поліпшення умов прийому.

Таким чином, горизонтальна поляризація має ряд переваг у порівнянні з вертикальною.

1.5. Розподіл спектру радіохвиль. Особливості розповсюдження радіохвиль різних діапазонів

У відповідності з методами прийнятими Міжнародним комітетом електрозв’язку, спектр електромагнітних коливань від 3 Гц віднесено до радіочастотного спектру, який поділений на 12 діапазонів $f=(0,3...3)\cdot 10^N$ ($N=1,2,...,12$). Термінологію для кожного діапазону приведено в таблиці 1.1.

Для організації ліній радіозв’язку використовують 4-12 діапазони. Діапазони з 1-го по 3-тій використовуються в наукових цілях. Підрозділами МНС використовуються, в основному, 7-й та 8-й діапазон (короткі хвилі – КХ та ультракороткі хвилі – УКХ).

Використання для зв’язку того чи іншого інтервалу частот залежить від багатьох факторів, зокрема, від умов розповсюдження радіохвиль різних діапазонів, необхідної дальності зв’язку, реалізованості величин потужності передавачів в обраному інтервалі частот тощо.

За використанням механізму розповсюдження радіохвиль лінії радіозв'язку можна класифікувати на лінії, які використовують:

- процес розповсюдження радіохвиль вздовж земної поверхні з її огинанням (так звані *земні хвилі*);
- процес розповсюдження радіохвиль в межах прямої видимості (*прямі хвилі*);
- процес відбиття радіохвиль від іоносфери (*іоносферні хвилі*);
- процес розсіювання радіохвиль в тропосфері (*тропосферні хвилі*);
- процес відбиття радіохвиль від метеорних слідів;
- відбиття чи ретрансляцію від штучних супутників Землі;
- відбиття від штучно створюваних утворень газової плазми чи від штучно створених провідних поверхонь.

На умови розповсюдження радіохвиль в просторі між радіопередавачем та радіоприймачем кореспондентів впливає кінцева провідність Земної поверхні і властивості середовища над Землею. Цей вплив для різних діапазонів хвиль (частот) різний, тому перш ніж їх розглядати необхідно ознайомитись з будовою атмосфери і впливом поверхні землі на розповсюдження радіохвиль.

Розповсюдження радіохвиль відбувається у атмосфері і біля поверхні землі, причому електричні і магнітні характеристики, що змінюються в часі сильно змінюють початкову картину випромінювання радіохвиль.

В радіотехніці атмосферу прийнято поділяти на три області: тропосферу, стратосферу і іоносферу. Тропосфера – це нижній шар атмосфери, що простягається до висоти 8-17 км. Стратосфера – частина атмосфери, що знаходиться між тропосферою і іоносферою. Іоносфера – іонізована верхня область атмосфери, що починається з висоти приблизно 50 км над земною поверхнею і простягається до границі земної магнітосфери.

У тропосфері зосереджена основна маса повітря, що складається з азоту, кисню, водяних парів, частинок пороху і деяких інших газів.

Електромагнітні характеристики тропосфери і стратосфери залежать від пори року, доби, погодних умов і висоти. Обидві ці області є добрими діелектриками. Іоносфера має деяку провідність. В цій області під дією ультрафіолетового сонячного випромінювання проходить розщеплення нейтральних молекул газу на іони і електрони. Іонізація верхніх шарів атмосфери проходить також завдяки рентгенівському випромінюванню сонячної корони, сонячним корпускулярним потокам і космічним променям. Ступінь іонізації характеризується електронною концентрацією, тобто кількістю вільних електронів в 1 $см^3$, і залежить від сонячної активності, пори року і доби.

Таблиця 1.1. Поділ радіочастотного спектру на діапазони [1]

Номер діапазону (основний термін)	Найменування діапазону (паралельний термін)			Межі діапазону		Частотна місткість	Спосіб розповсюдження	
	хвиль	застарілий термін	частот	радіохвиль	радіочастот		На близьку відстань	На дальню відстань
1	Декаметрові хвилі		Крайньо низькі частоти (КНЧ)	100000… 10000 км	3…30 Гц	27 Гц		
2	Мегаметрові хвилі		Наднизькі частоти (ННЧ)	10000… 1000 км	30…300 Гц	270 Гц		
3	Гектокілометрові хвилі		Інфранизькі частоти (ІНЧ)	1000… 100 км	0,3…3 кГц	2,7 кГц		
4	Міріаметрові хвилі	(Наддовгі хвилі)	Дуже низькі частоти (ДНЧ)	100…10 км	3…30 кГц	27 кГц	Земні та іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі
5	Кілометрові хвилі	(Довгі хвилі)	Низькі частоти (НЧ)	10…1 км	30…300 кГц	270 кГц	Земні та іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі
6	Гектометрові хвилі	(Середні хвилі)	Середні частоти (СЧ)	1000… 100 м	0,3…3 МГц	2,7 МГц	Земні хвилі	Земні хвилі
7	Декаметрові хвилі	(Короткі хвилі)	Високі частоти (ВЧ)	100…10 м	3…30 МГц	27 МГц	Земні хвилі	Іоносферні хвилі
8	Метрові хвилі	(Ультракороткі хвилі)	Дуже високі частоти (ДВЧ)	10…1 м	30…300 МГц	270 МГц	Земні хвилі	Іоносферні та тропосферні хвилі
9	Дециметрові хвилі		Ультрависокі частоти (УВЧ)	10…1 дм	0,3…3 ГГц	2,7 ГГц	Земні хвилі	Тропосферні та прямі хвилі
10	Сантиметрові хвилі		Надвисокі частоти (НВЧ)	10…1 см	3…30 ГГц	27 ГГц	Земні хвилі	Тропосферні та прямі хвилі
11	Міліметрові хвилі		Крайньо високі частоти (КВЧ)	10…1 мм	30…300 ГГц	270 ГГц	Прямі хвилі	Прямі хвилі
12	Децимілліметрові хвилі		Гіпервисокі частоти (ГВЧ)	1…0,1 мм	0,3…3 ТГц	2,7 ТГц	Прямі хвилі	Прямі хвилі

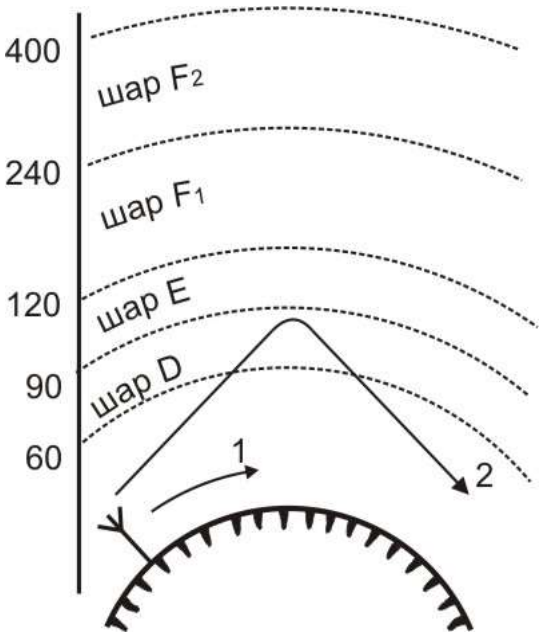

Рис. 1.9. Шари іоносфери.
1 – земна хвиля; 2 – просторова хвиля

В іоносфері розрізняють чотири шари: D, E, F_1, і F_2, які, залежно від сонячної активності, розміщуються відповідно на висотах 60-90; 90-150; 160-220; 220-320 км (рис. 1.9). Найнижчий шар D існує тільки у денні години і є основним поглинаючим шаром для коротких і середніх хвиль. Шар E має більш постійні властивості: він відбиває середні хвилі (а також довгі хвилі у нічний час) і в деяких випадках короткі хвилі. Шар F вдень і в літні місяці складається, в свою чергу, з двох шарів: F_1 – що має спільні властивості з шаром E і F_2 – що є основним відбиваючим шаром для коротких хвиль. У нічний час спостерігаються тільки відбиваючі властивості шару F_2. Цей шар використовується для забезпечення дальнього радіозв'язку. Його висота і концентрація електронів у ньому змінюються протягом доби і залежать від пори року.

Радіохвиля випромінена передавачем, може прийти у місце прийому кількома шляхами: вздовж поверхні землі, чи після відбиття від іоносфери. *Земна хвиля* викликає у ґрунті появу вихрових струмів, енергія яких частково переходить у тепло, тому дальність зв'язку на цих хвилях незначна. *Іоносферна хвиля* також називається *просторовою*. Вона також втрачає частину своєї енергії на збільшення чи зменшення швидкості руху заряджених частинок іоносфери, однак ці енергетичні затрати значно менші ґрунтових, тому дальність дії радіостанцій, що використовують іоносферні хвилі, набагато більша.

Міріаметрові та кілометрові хвилі розповсюджуються ніби в природному хвилеводі, слабко поглинаючись в нижніх шарах *D* та *E* та добре відбиваючись від цих шарів (рис. 1.10). Дальність зв'язку на відстані

до сотень кілометрів звичайно забезпечується земною хвилею, а на дальності більше 2000…3000 км – просторовою (іоносферною). Два суттєвих недоліки, які обмежують практичне використання, властиві радіохвилям цих діапазонів – громіздкість антен при великих потужностях передавачів та мала частотна ємність (мале число одночасно працюючих без перешкоджання одна одній радіостанцій).

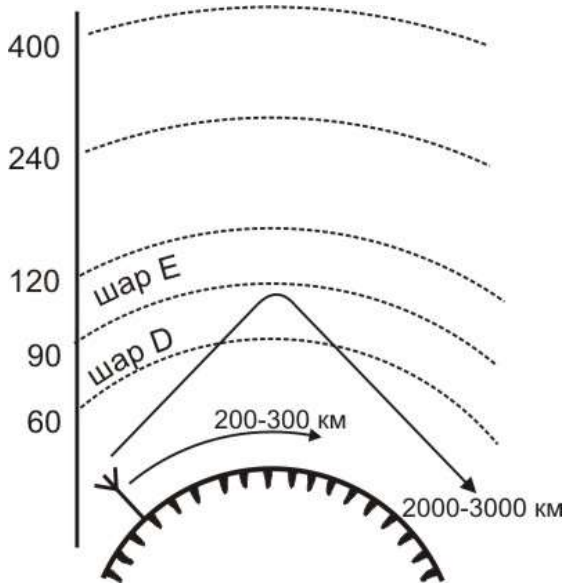

Рис. 1.10. Розповсюдження міріаметрових та кілометрових хвиль

Гектометрові хвилі (рис. 1.11) більше ніж міріаметрові та кілометрові хвилі затухають при розповсюдженні земною хвилею. Ці хвилі можуть розповсюджуватися і відбиванням від шару E, але лише в нічний час, коли зникає шар D. У денний час зв'язок можливий лише земною хвилею, оскільки просторова хвиля сильно затухає в шарі D. Частотна ємність цього діапазону на порядок вища частотної ємності попередніх діапазонів. Гектометрові хвилі використовуються для морського та авіаційного зв’язку.

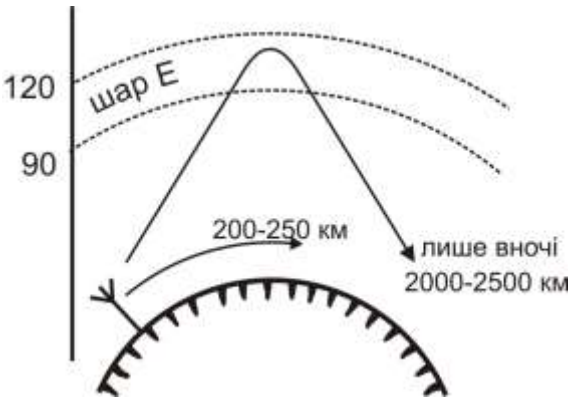

Рис. 1.11. Розповсюдження гектометрових хвиль

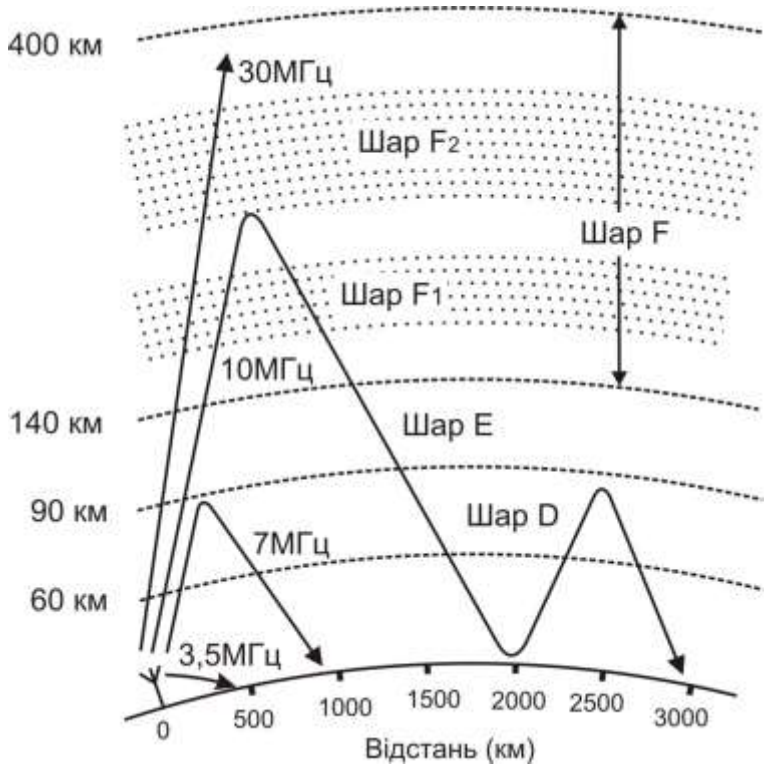

Рис. 1.12. Розповсюдження декаметрових хвиль в залежності від частоти в денний час

При радіозв'язку на *декаметрових хвилях* (рис. 1.11, 1.12) знаходять застосування обидва механізми розповсюдження: і земним, і просторовим променем. Хвилі, які розповсюджуються вздовж Землі, затухають в ній ще сильніше, ніж хвилі гектометрового діапазону (дальність зв'язку земною хвилею сягає 150 км).

Різке збільшення дальності зв'язку в декаметровому діапазоні досягається при використанні просторових хвиль: декаметрові хвилі слабо поглинаються нижніми шарами іоносфери D та E і добре відбиваються її верхнім шаром F_2. Чим вище розміщено відбиваючий шар, тим більша дальність зв'язку. Просторові хвилі утворюються, коли передавальна антена випромінює під деяким кутом до горизонту і випромінені нею хвилі падають на відбиваючий шар іоносфери, переломлюється в ньому і повертається на Землю. Вони можуть знову відбитися від поверхні Землі і, потрапивши в іоносферу, переломлюватися в ній. В залежності від кількості відбиттів від іоносфери розрізняють однострибкові, двохстрибкові та трьохстрибкові радіолінії.

Найбільша довжина одного стрибка (відстань по поверхні Землі) сягає 2500…3500 км, таким чином трьохстрибкова лінія дозволяє забезпечити дальність зв'язку близько 10000 км. Більше трьох стрибків (через втрати енергії в іоносфері і розсіювання при відбитті від Землі) досягти не вдається. Антенні пристрої, які використовуються в діапазоні декаметрових хвиль, мають прийнятні (навіть для зв'язку між рухомими об'єктами) габарити і можуть мати явно виражені направлені властивості, завдяки чому забезпечуються великі дальності зв'язку при малих

потужностях передавачів. Хоча частотна ємність декаметрового діапазону в 10 разів перевищує ємність діапазону гектометрових хвиль, велика кількість одночасно працюючих радіостанцій породжує високий рівень взаємних перешкод. Таким чином, перевага даного діапазону перетворилася з часом у свою протилежність.

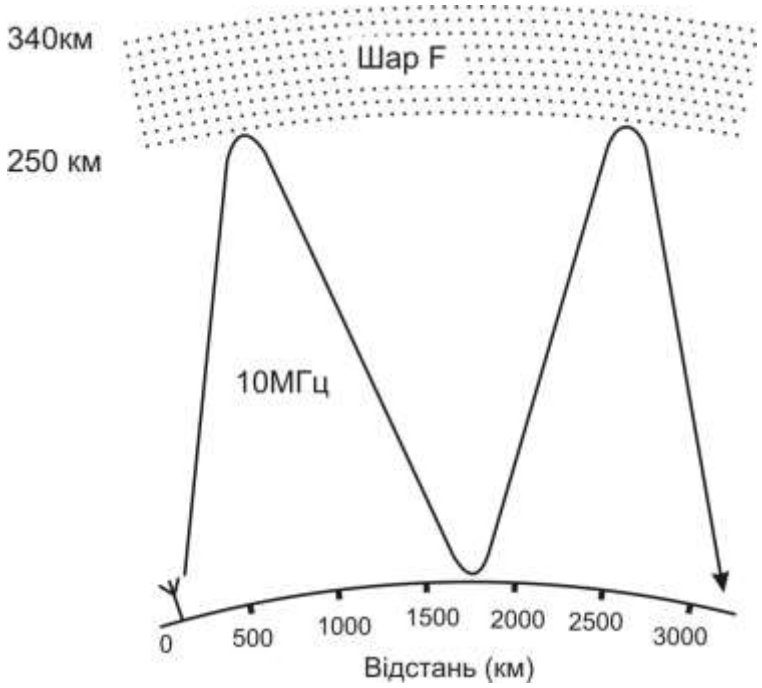

Рис. 1.13. Розповсюдження декаметрових хвиль в нічний час

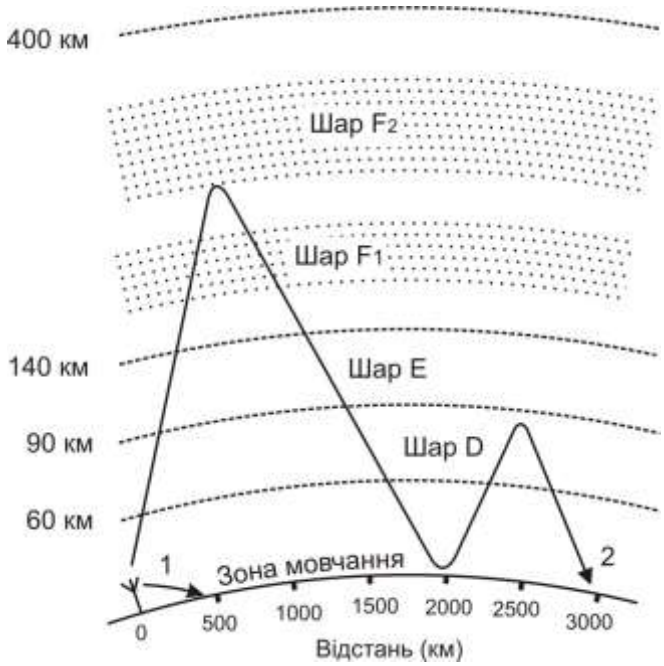

Рис. 1.14. Зона мовчання:
1 – земна хвиля; 2 – просторова хвиля

Недоліком використання коротких хвиль є наявність зон мовчання (рис. 1.14), тобто такої місцевості на поверхні землі, куди не можуть

проникнути земні хвилі. Енергія цих хвиль в зоні мовчання перетворюється на теплову, а шлях розповсюдження іоносферних хвиль проходить стороною, не доторкаючись до приймальних антен. Величина зон мовчання постійно змінюється, тому що умови розповсюдження радіохвиль залежать від інтенсивності іонізації відбиваючих шарів іоносфери, їх висоти над поверхнею землі і погодних умов місцевості, що постійно змінюються, і, в свою чергу, змінюють коефіцієнти заломлення, що приводить до викривлення шляху розповсюдження радіохвиль.

Суттєвим недоліком декаметрового діапазону є «рухливість» шарів іоносфери: висота розміщення шарів, їх товщина та концентрація іонів у шарах залежить від часу доби, пори року та 11-ти річного періоду сонячної активності. З цієї причини умови забезпечення зв'язку при іоносферному відбиванні різко змінюються. При організації радіозв'язку просторовим променем це змушує складати розклад, що рекомендує, які частоти слід переважно використовувати протягом доби. Розклади складаються на основі місячних прогнозів розповсюдження радіохвиль.

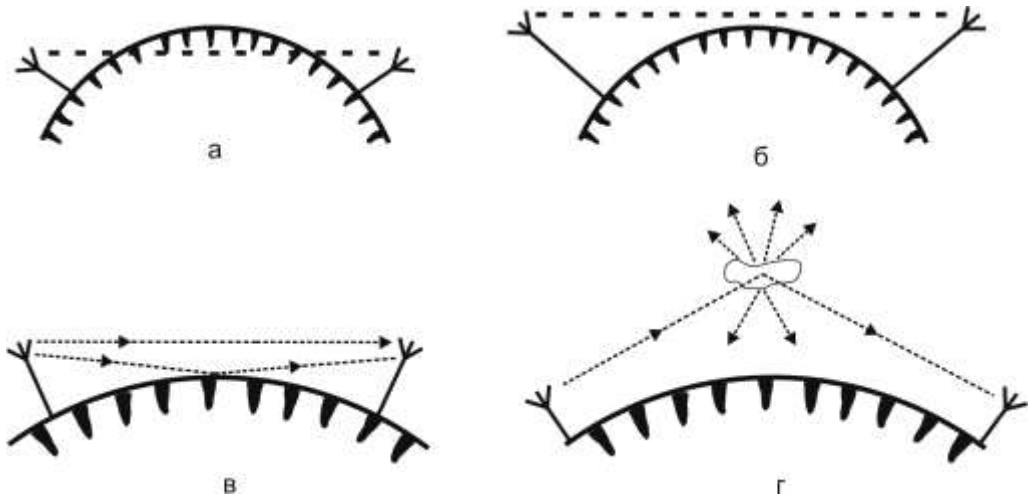

Рис. 1.15. Розповсюдження радіохвиль діапазонів ДВЧ, УВЧ та НВЧ

Метрові хвилі за умовами розповсюдження мають деякі відмінності від хвиль декаметрового діапазону. При розповсюдженні земним променем дальність зв'язку практично визначається відстанню прямої видимості (якщо на трасі немає перешкод, розміри яких співвідносні з довжиною хвилі). При цьому затухання тим сильніше, чим вища робоча частота. Просторовий промінь від іоносфери практично не відбивається (за виключенням випадків тропосферного та іоносферного розсіювання). Тому зв'язок у діапазоні метрових хвиль здійснюється головним чином земним променем. Для збільшення дальності зв'язку необхідно працювати на високо піднятій антені (рис. 1.15,*а* та 1.15,*б*). Збільшення потужності передавача не призводить до пропорційного збільшення дальності зв'язку, тому в даному діапазоні в основному використовуються малопотужні радіостанції. Оскільки хвилі відбиваються від земної поверхні, у місці прийому, як видно з рис. 1.15,*в*, можлива інтерференція променів, як

наслідок виникають інтерференційні завмирання й спотворення переданих повідомлень.

Вплив нерівностей земної поверхні й відмінностей ґрунтів на нижні шари повітря, відмінності й відповідно неоднаковий вплив рослинного покриву на окремих ділянках території, над якою поширюються хвилі, наявність річок і водойм, а також селищ й інженерних споруджень призводить до утворення в атмосфері зон з різною температурою й вологістю, локальних потоків повітря тощо. У цих зонах, які виникають на висотах до декількох кілометрів, відбувається розсіювання хвиль, як це схематично показано на рис. 1.15,*г.* У цьому випадку частина енергії хвиль доходить до пунктів, що знаходяться від передавальної антени на відстані, у кілька разів більшій за дальність геометричної видимості. При значній потужності передавача гостро спрямованих антенах і приймачу з високою чутливістю розсіювання хвиль у тропосферних неоднорідностях на висотах 2-3 км дозволяє одержати радіозв'язок на відстанях у сотні кілометрів, що в 5-10 разів більше відстані геометричної видимості. Неоднорідності є і на більших висотах в іоносфері, де вони проявляються в нерівномірності концентрації вільних електронів і в них також відбувається розсіювання хвиль. При досить великій потужності передавача іоносферне розсіювання хвиль дозволяє одержати стійкий радіозв'язок на відстанях 1-2 тисячі км. Існують й інші види дальнього поширення хвиль переважно діапазонів УВЧ і НВЧ. Вони проявляються при утворенні в атмосфері протяжних і порівняно чітко виражених неоднорідностей у вигляді шарів. Хвилі поширюються всередині подібного шару, послідовно відбиваючись від його границь або між поверхнею землі та нижньою границею шару. Ще один вид дальнього поширення в мікрохвильових діапазонах – відбиття від слідів метеорів. Для зв’язку за рахунок тропосферного та іоносферного розсіювання потрібні передавачі значних потужностей.

В атмосферу беззупинно проникають, згораючи в ній, потоки невеликих метеорів. Цей процес теж спричиняє виникнення неоднорідностей (на відміну від попередніх – тимчасових), здатних ефективно відбивати хвилі. Оскільки він нерівномірний у часі, умови поширення хаотично змінюються. Із цієї причини метеорне поширення хвиль застосовується в спеціальних системах радіозв'язку, що враховують його специфічні особливості.

Хвилі, випромінені під кутом до земної поверхні, йдуть у заатмосферний простір практично без зміни траєкторії, ця властивість дозволила успішно застосувати мікрохвилі (*діапазонів ДВЧ, УВЧ і НВЧ*) для космічного зв'язку.

До переваг діапазону метрових хвиль можна віднести наступні:

1. малі габарити антен; антени можна реалізувати з явно вираженим направленим випромінюванням;
2. умови розповсюдження не залежать від часу доби і пори року, від сонячної активності;

3. обмежена дальність зв’язку дозволяє багатократно використовувати одні й ті самі частоти на ділянках поверхні, відстань між кордонами яких не менше суми дальності дії радіостанцій з однаковими частотами;
4. менший рівень ненавмисних перешкод (природного та штучного походження);
5. в 10 разів більша частотна ємність, ніж в діапазоні декаметрових хвиль.

Слід зазначити, що межа між діапазонами декаметрових та метрових хвиль при зв’язку іоносферними хвилями не є строгою. Наприклад, в роки сонячної активності може виявитися неможливим радіозв’язок за рахунок іоносферного відбивання на частотах 20…30 МГц, тобто дана ділянка декаметрового діапазону буде мати властивості метрового.

1.6. Використання різних піддіапазонів для організації систем радіозв’язку

В даному параграфі буде розглянуто використання різних піддіапазонів для організації систем радіозв’язку. Це пов’язано з тим, що не весь спектр радіохвиль використовується для організації радіозв’язку, зокрема підрозділи ОРС ЦЗ України експлуатують техніку переважно для організації зв’язку в діапазонах КХ та УКХ. Нижче приведено типовий поділ на піддіапазони та основні напрямки експлуатації даних піддіапазонів з урахуванням міжнародного досвіду [3].

Діапазон 2-25 МГц.

Короткохвильовий діапазон (КХ) дозволяє організовувати зв'язок на великі відстані (аж до трансконтинентальних). Короткі хвилі широко використовувалися в період 40-60-х років для організації далекого зв'язку. Саме даний діапазон використовувався для організації обміну повідомленнями під час II Світової війни, у період освоєння Півночі й Антарктиди, при роботі геологічних партій і рятувальних експедицій.

З початку 80-х років нові комунікаційні технології (провідний, стільниковий, супутниковий зв'язок) поступово витиснули досить примхливий КХ радіозв'язок із традиційного сектору далекого зв'язку. Короткі хвилі стали незаслужено відсуватися на другий план. Але перетворення, що відбуваються в країнах з колишньою плановою економікою змусили розпочати пошук недорогих і незалежних методів далекого зв'язку. Знову стала проявлятися цікавість до «забутого» КХ діапазону.

Сучасні короткохвильові радіостанції дозволяють створювати системи зв'язку по можливостях наближені до досить складних систем в УКХ діапазонах. Використовується селективний виклик, автоматичний вибір найкращої частоти зв'язку, можливість передачі факсимільних повідомлень, шифрування мови тощо. Існують компактні моделі для установки на транспортні засоби, і навіть переносні радіостанції, з

можливостями, що не поступаються стаціонарним. Сучасні КХ радіостанції мають високу чутливість і вибірковість, вихідну потужність до 100 і більше ватів.

До недоліків КХ діапазону можна віднести складності з мініатюризацією радіостанцій, більші розміри антен (десятки метрів), низьку перешкодозахищеність (у дні гарного проходження сигналу можна почути на обраній частоті передачу із протилежної сторони Землі). До переваг – повну автономність на великих відстанях, низьку вартість устаткування в порівнянні з будь-якими іншими видами зв'язку, що забезпечують таку ж дальність.

В основному застосовується для зв'язку:

- між віддаленими точками на великі відстані аж до трансконтинентального зв'язку;
- у важкодоступних районах (ліси, пустелі) і районах зі складним рельєфом місцевості (пагорби, гори);
- з транспортними засобами на великі відстані – на сотні й тисячі кілометрів;
- з портативними радіостанціями на великі відстані (десятки й сотні кілометрів) і районах зі складним рельєфом місцевості (пагорби, гори);
- низькошвидкісної передачі цифрових даних (файли, електронна пошта, факси);
- для обміну телеметричними даними з віддаленими й важкодоступними об'єктами (метеостанції, шлюзи, насосні станції тощо).

Діапазон 25,6-30 МГц.

«*Цивільний*» діапазон – «Civil band» (Сі-Бі), або як його називають – «27 МГц». Єдиний діапазон, у якому радіозв’язне устаткування може без обмежень використовуватися приватними особами.

Висока дальність зв'язку в умовах рівнинної сільської місцевості й низька вартість абонентського устаткування робить цей діапазон досить привабливим для різних категорій користувачів від фермерів, рибалок і пастухів, до великих будівельних, видобувних і транспортних організацій.

І хоча найбільша ефективність діапазону буде в рівнинній сільській місцевості, практика використання «Сі-Бі» показала, що при грамотній організації системи й оптимальному розташуванні антен базових станцій можна домогтися якісного й упевненого радіозв'язку на великі відстані навіть в умовах індустріальних міських перешкод і висотної забудови. Як приклад можна привести активний розвиток приватних служб таксі в м. Москва, що використовують «Сі-Бі» радіозв'язок.

У даному діапазоні поширення радіохвиль відбувається, крім прямолінійного, ще й за допомогою відбиття від іоносфери Землі тому дальність проходження радіосигналу і його якість буде у високому ступені залежати від стану іоносфери й сонячної активності, і може сильно змінюватися в різні дні й протягом доби.

Іоносферне проходження радіохвиль може збільшувати дальність зв'язку до декількох тисяч кілометрів. Це буває в основному в літню пору року й у періоди сонячної активності.

Серед недоліків «цивільної» зв'язку слід зазначити високу чутливість до перешкод, перевантаженість каналів у дні сприятливого поширення радіохвиль (можуть бути чутні передавачі, віддалені на тисячі кілометрів), низьку ефективність портативних радіостанцій через короткі антени, більшу довжину антен мобільних радіостанцій (близько 1,5 м).

Не буде перебільшенням твердження, що в «Сі-Бі» діапазоні працює більше радіостанцій, ніж на всіх інших частотах разом узятих.

Найбільш кращий для радіозв'язку:

- між стаціонарними й автомобільними радіостанціями при використанні ефективних базових антен;
- між транспортними засобами при русі по трасі, за містом, у колоні або на невеликій відстані один від одного (5-15 км);
- між сільськогосподарською технікою (комбайни, сівалки, бавовнозбиральні машини тощо) і між технікою й диспетчерськими пунктами (приймальні, заправки тощо) у рівнинній або горбистій місцевості при використанні ефективних базових антен;
- у місті між мобільними й стаціонарними об'єктами через диспетчерські радіостанції з ефективними антенами, установленими на достатній висоті.

Діапазон 33-50 МГц.

Діапазон 33-50 МГц має власну назву «Low Band». Широко використовувався в колишньому СРСР. Багато підприємств й організацій використовували радіостанції, зокрема «Льон» й «Граніт» для вирішення потреб оперативного радіозв'язку, а деякі використовують дотепер. Але економічні перетворення останніх років змусили переглянути погляди на вибір комунікаційного встаткування. Новітні західні розробки заповнили наш ринок і «Low Band» став витіснятися більш високочастотними діапазонами.

У цей час у продажі можна зустріти радіостанції на 33-50 МГц виробництва Vertex, Motorola, Alan, Roger тощо. Це дозволяє організаціям і відомствам оновлювати парк застарілого устаткування, яке виходить з ладу, і використовувати вже наявні радіочастоти. Є ряд моделей у портативному виконанні. На жаль, ціни на подібну техніку вищі, ніж на аналогічні моделі більш високих частот.

По фізичним властивостям займає проміжне положення між КХ й УКХ діапазонами, через що має властивості й того, і іншого. При певних обставинах дозволяє здійснювати зв'язок за межі радіогоризонту (відбитою хвилею). Але в основному зв'язок можливий в межах прямої видимості. Характеризується невеликим загасанням, меншим відбиттям. Найбільша дальність досягається в сільських районах з низькою забудовою й у рівнинній місцевості.

Діапазони 136-174, 400-512 МГц.

Висока перешкодозахищеність і гарне проходження сигналу дозволяє активно використовувати дані діапазони для організації практично будь-яких систем службового радіозв'язку. Нижня частина діапазону (УКХ) більш ефективна в умовах сільської місцевості, мало – (до 3-х поверхів) і середньоповерхової (до 5-ти поверхів) міської забудови. Верхня частина (ДЦХ) краща в умовах індустріальних центрів і багатоповерхової забудови.

У багатьох країнах дані діапазони використовуються для організації пейджингового (УКХ) і стільникового (ДЦХ) радіозв'язку. Хоча спостерігається тенденція до переходу на більш високі частотні ділянки (900, 1800 МГц)

Зв'язок можливий тільки в межах прямої видимості, через що в більшості випадків використовуються системи з ретрансляцією.

УКХ діапазон протягом тривалого часу залишався основним для організації систем радіозв’язку МВС, МНС та інших спеціальних служб в країнах колишнього СРСР. І на сьогодні даний діапазон є основою створення систем радіозв’язку ОРС ЦЗ України.

806-825, 851-870 МГЦ

Використовується для організації систем радіозв'язку в містах з висотною забудовою й у зонах з високим рівнем індустріальних перешкод. Дуже висока перешкодозахищеність і гарне проходження сигналу крізь різні перешкоди (аж до металевих сіток), дозволяє використовувати даний діапазон там, де поширення радіохвиль із більш низькими частотами неможливе або пов’язане з більшими витратами (розміщення проміжних ретрансляторів, збільшена висота антен тощо). У багатьох країнах світу використовується для організації стільникового радіозв'язку. Зокрема, стільниковий зв'язок у країнах СНД організовано саме в цьому діапазоні (поряд з освоєнням діапазонів 1800 МГц для систем GSM зв’язку та порядку 2 ГГц для CDMA систем). Традиційний діапазон рухомого наземного зв'язку США.

Зв'язок можливий лише в межах радіогоризонту. Діапазон характеризує високий ступінь відбиття радіохвиль від будинків, споруд й інших природних і штучних перешкод, за рахунок чого можливий радіозв'язок в умовах промислових районів й індустріальних центрів з висотною забудовою. У деяких випадках це можна розглядати як перевагу (менша кількість «мертвих зон» через відбиття), а іноді може виявитися великою проблемою (інтерференція).

По фізичним властивостям характеризується більшим загасанням радіохвиль, внаслідок чого дальність зв'язку в сільській місцевості буде менша, ніж на нижчих частотах.

До недоліків варто віднести відносно високу вартість устаткування в порівнянні з устаткуванням на більш низькі частоти й складності зі створенням потужних радіопередавачів носимих станцій. Частково це пов'язане зі збільшенням енергії переданого сигналу на високих частотах, а

це, у свою чергу вимагає джерел живлення (акумуляторів) великої ємності, габарити яких, при сучасному рівні розвитку технології, важко піддаються мініатюризації.

Діапазони вище 1000 МГц. В основному використовуються для:

- створення стільникових систем в'язку (GSM-1800/1900, CDMA2000);
- організації радіорелейних систем передачі даних (1,7-2,1 ГГц, 3,4-3,9 ГГц, 5-12 ГГц);
- організації супутникових систем зв'язку, радіолокаційних систем тощо.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ БУДОВИ РАДІОСТАНЦІЙ

Частина 1. Радіопередавальні пристрої радіостанцій

2.1. Класифікація та основні характеристики радіопередавальних пристроїв

2.1.1. Узагальнена структурна схема радіопередавача. Класифікація радіопередавачів

Головною функцією радіопередавального пристрою є створення модулюваних електромагнітних коливань (коливань, з якими проведено маніпуляцію). Так, при ручному телеграфному радіозв'язку електромагнітні коливання повинні змінюватись відповідно натисканню і відпусканню ключа (або клавіш датчика коду Морзе), при телефонному радіозв'язку – у відповідності з коливаннями, що створюються мікрофоном, для літеродрукуючого радіозв'язку – у відповідності з роботою передавального телеграфного апарату.

Відповідно до рис. 1.2 радіопередавальний пристрій складається з перетворювача повідомлення в первинний електричний сигнал (передавальна частина кінцевої апаратури), радіопередавача та антенно–фідерної системи.

Передавальна частина кінцевої апаратури перетворює повідомлення в первинний електричний сигнал. Ці пристрої (мікрофон, телефонний апарат, телеграфний ключ, телеграфний апарат тощо) звичайно вивчаються окремими дисциплінами.

Антенно–фідерна система (*в деяких випадках антена підключається до передавача без фідера*) забезпечує передачу сформованих в радіопередавачі сигналів в антену, а остання випромінює ці сигнали в навколишній простір. Відомо, що антени випромінюють електромагнітну енергію достатньо ефективно лише в тому випадку, якщо розміри частини антени, що випромінює, співвідносні довжині хвилі випромінюваного коливання.

Створення антен, розміри яких перевищували б декілька сотень метрів, з однієї сторони складне завдання, а для мобільних радіостанцій недоцільне. Тому для мобільних радіостанцій широке застосування отримали антени з розмірами, що не перевищують сотень метрів (частіше десятки та одиниці метрів). Для таких антен частоти збуджуваних коливань перевищують сотні кілогерц.

Оскільки первинні електричні сигнали $c(t)$ звичайно займають відносно вузьку смугу частот, яка примикає до початку частотної осі, то високочастотні коливання, що збуджують антену, використовується в якості *носія повідомлення*. З цією метою один із параметрів високочастотного, *несучого коливання* необхідно змінювати за законом

сигналу $c(t)$. Цей процес отримав назву *управління коливаннями в передавачах* і здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв – *модуляторів*. Отже, несуче високочастотне коливання повинне відображати властивості повідомлення, яке передається і за допомогою антени перетворюватись в електромагнітні хвилі, що розповсюджуються у навколишньому середовищі.

Відповідно, в кожному радіопередавачі, незалежно від виду повідомлень що передаються, обов'язково повинні здійснюватися три фізичні процеси, які складають основу його роботи:

- створення (генерування) коливань несучих радіочастот гармонічного характеру;
- управління (модуляція) несучими коливаннями для зміни їх параметрів за законом первинного електричного сигналу $c(t)$;
- перетворення отриманих в процесі модуляції високочастотних сигналів в електромагнітні хвилі (радіохвилі).

Реальна структура схеми передавача визначається цільовим призначенням передавача і вимогам, які висуваються до нього. Останні формуються на основі вимог до радіостанції в цілому. Узагальнена структурна схема передавача включає наступні основні елементи (рис. 2.1).

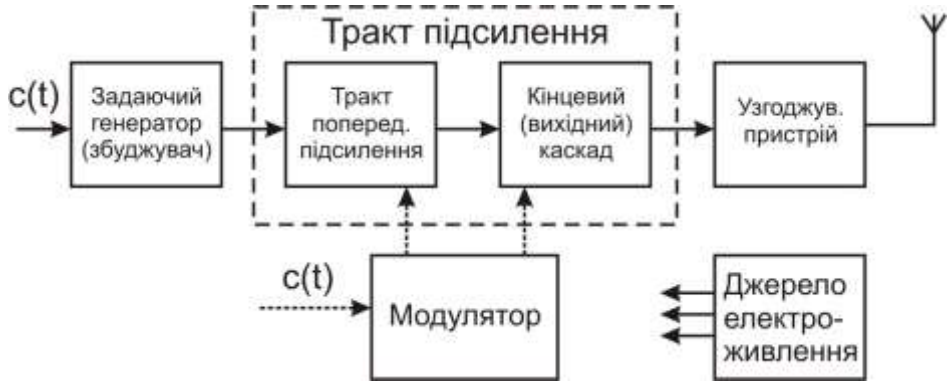

Рис. 2.1 Узагальнена структурна схема передавача

Задаючий генератор (інакше: збуджувач) є джерелом несучих коливань.

З метою часткової компенсації остаточного згасання на трансі радіозв'язку коливання задаючого генератора підсилюються до отримання необхідної потужності, яка подається на передавальну антену. Ця функція передавача реалізується в *тракті підсилення*. У цьому тракті особлива увага звертається на останній каскад, який забезпечує задану величину вихідної потужності передавача. Всі каскади, що включені між збуджувачем і вихідним каскадом, називаються каскадами попереднього підсилення.

Найкращі умови для передачі вихідної потужності від кінцевого каскаду до антени створюються завдяки ввімкненню в схему так званого

узгоджувального пристрою. Необхідність цього пристрою (в деяких передавачах він має назву антенного контура) зумовлюється недостатньою пристосованістю електричних параметрів антени, головним чином – її вхідного опору, до електричної схеми вихідного каскаду.

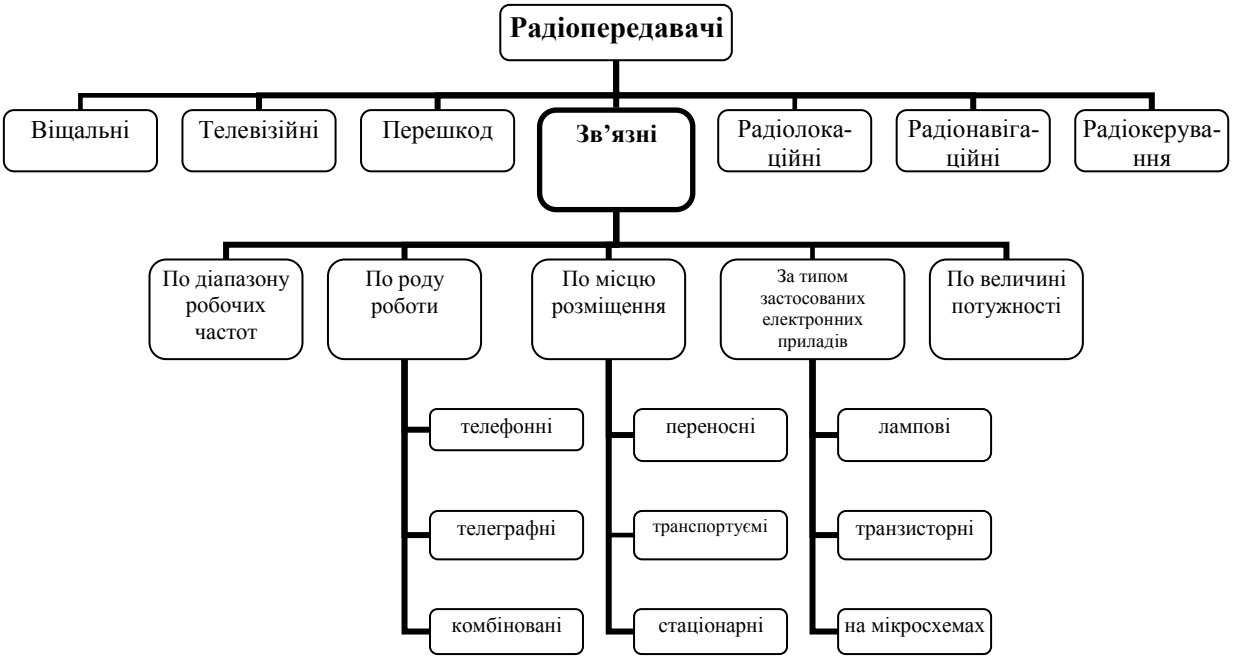

Рис. 2.2. Класифікація зв'язних передавачів [1]

Необхідність *модулятора* була наведена вище. В сучасних збуджувачах формуються всі види сигналів крім імпульсних (випромінювання класу *Р3*) і амплітудно-модульованих (випромінювання класу *А3*). Сигнали класів *Р3* та *А3* формуються в тракті підсилення, найчастіше за все у вихідному каскаді (штрихові лінії на рис. 2.1). В сучасних передавачах ОРС ЦЗ сигнали *А3* взагалі не формуються; замість них формуються сигнали класу *А3Н*.

Формування радіосигналів заданої потужності в передавачах здійснюється за рахунок енергії джерел електроживлення, первинних та вторинних. Вони є предметом вивчення окремої дисципліни і в даному посібнику не розглядаються.

В залежності від цільового призначення всі радіопередавальні пристрої поділяються на: трансляційні, зв'язні, радіолокаційні та інші. Класифікація зв'язних радіопередавачів приведена на рис. 2.2. Приведена класифікація – невичерпна, оскільки не охоплює всі характеристики передавачів (радіостанцій).

2.1.2. Вимоги, які висуваються до радіопередавачів

Для успішної роботи будь-якого радіопередавального пристрою необхідно правильно обґрунтувати і чітко сформулювати технічні вимоги до нього. Якщо вимоги сформульовані не до кінця, то розроблений

пристрій буде не повністю відповідати своєму призначенню. І навпаки, занадто жорсткі вимоги призводять до небажаних додаткових ускладнень при розробці, подовжують терміни розробки, роблять пристрій трудомістким у виробництві та настройці, менш надійним у використанні тощо.

Всі вимоги, що висуваються до радіопередавачів слід поділити на дві групи: вимоги до електричних характеристик та вимоги загального характеру.

Розглянемо спочатку деякі вимоги до електричних характеристик.

Потужність

Найбільш важливим параметром передавача, що визначає дальність дії і надійність радіозв'язку, є *вихідна потужність* передавача (відповідно до ГОСТ – це активна потужність, що передається радіопередавачем в антено–фідерний пристрій, або еквівалент навантаження). Тому дана характеристика входить до характеристики радіостанції в цілому. Необхідне значення потужності передавача визначається з енергетичного розрахунку лінії радіозв'язку з врахуванням її затухання, чутливості радіоприймача, класу випромінювання і умов приймання, зокрема, обстановки з перешкодами, можливості використання тих чи інших антен і направлених властивостей антен, які використовуються.

В окремих випадках під потужністю передавача розуміють найбільшу коливальну потужність, що знімається з лампи (транзистора) вихідного каскаду. В останньому випадку ця потужність може не співпадати з потужністю, що подається до антени, наприклад, через втрати в узгоджувальному пристрої (рис. 2.1).

За величиною потужності передавачі класифікуються згідно табл. 2.1.

Табл. 2.1. Класифікація зв'язних передавачів за потужністю [1, 4]

Класифікація		**Потужність передавачів**	
		Зв'язкових, мобільних	**Трансляційних, стаціонарних**
Малопотужні	1 група	1 Вт≥P	
	2 група	1 Вт<P≤10 Вт	
	3 група	10 Вт<P≤100 Вт	
Середньої потужності		100 Вт < P≤1 кВт	100 Вт < P≤10 кВт
Потужні		-	10 кВт < P≤1000 кВт
Великої потужності		P>1 кВт	-
Надпотужні		-	P>1000 кВт

Діапазон робочих частот

Діапазон робочих частот $f_{\min}...f_{\max}$, який виділено для передавача, визначається умовами організації радіозв'язку, її дальністю, реальною зайнятістю деяких ділянок радіочастотного спектру спеціальними службами (трансляції, телебачення, радіонавігацією тощо), ефективністю антенних пристроїв і їх габаритами, шириною смуги частот радіосигналу, кількістю необхідних робочих частот тощо.

Вимога перекриття широкого діапазону частот істотно ускладнює конструкцію передавача. Незважаючи на це, в останні роки спостерігається тенденція побудови широкодіапазонних радіопередавачів декаметрового і метрового діапазону з коефіцієнтом перекриття по частоті $K_f = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}$ до 20 і більше. Величина K_f, в залежності від цільового призначення передавачів, може бути і невеликою, порядку 1,2…2, наприклад, для радіорелейних, тропосферних і супутникових передавачів, портативних радіостанцій. Можливі передавачі всього на декілька частот.

Інтервал $f_{\min} \ldots f_{\max}$ може перекриватися плавно, коли передавач може бути налаштованим плавно на будь-яку (навіть дробову) частоту або дискретно з *кроком дискретності* Δf_c. В останньому випадку частоти фіксовані. *Кількість фіксованих частот* визначаються виразом

$$N = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f_c} + 1.$$

Величина Δf_c може набувати значення 10, 5, 2, 1 інколи 0,1 і навіть 0,001 кГц в декаметровому діапазоні частот. В метровому діапазоні можливий набір величин Δf_c складається з 200, 100, 75, 50, 25, 1 кГц. В дециметровому і метровому діапазонах величина Δf_c може досягати одиниць мегагерців.

Стабільність частоти

Хоча в на даний час точна кількість передавачів, що працюють на земній кулі (включаючи передавачі спеціальних служб) невідома, орієнтовна їх кількість обчислюється мільйонами. В зв’язку з обмеженням радіочастотних діапазонів (див табл. 1.1) кожна радіостанція повинна випромінювати спектр необхідної ширини, яка визначається характером повідомлення, що передається. Крім того, для зменшення взаємних перешкод слід підтримувати обрану робочу частоту коливань, що випромінюються постійно і з високим ступенем точності.

Висока стабільність частоти коливань, які випромінюються обумовлена також вимогами безпошукового входження в зв'язок і ведення зв’язку без підстроювання. Найбільш жорсткі вимоги по стабільності частоти пред’являються до односмугових передавачів та передавачів з можливістю багатоканальної роботи. Найбільш важко вирішуються задачі стабілізації частоти в передавачах з великим значенням K_f і на високих частотах.

Відхилення частоти коливань на виході радіопередавача f_H за визначений проміжок часу відносно частоти, яку встановлено (номінального значення $f_{НОМ}$) отримало назву *абсолютною нестабільністю частоти* радіопередавача.

$$\Delta f = \left| f_{НОМ} - f_{Н} \right|.$$

Реалізація вимог по стабільності частоти ускладнюється, якщо ці вимоги стають більш жорсткими. В зв'язку з цим вони є компромісними між бажаним та тим, що реалізується на даному етапі розвитку техніки або є економічно доцільним. Ці вимоги завжди конкретизуються та застосовуються до визначених категорій радіостанцій.

Вони завжди більш жорсткі для наземних стаціонарних пристроїв та послаблюються при переході до масової апаратури, до мобільних радіостанцій, які працюють в складних умовах експлуатації.

Високі вимоги, що висуваються до стабільності частоти передавачів, визначаються, крім всього іншого, прагненням зменшити до мінімуму необхідну смугу пропускання приймача кореспондента з метою зменшення рівня шумів і завад при радіоприйомі. Мінімальна ширина смуги пропускання приймача не може бути менше величини $\Delta F_{сигн} + \Delta F_{нест}$, де $\Delta F_{сигн}$ – смуга частот, яку займає сигнал, а $\Delta F_{нест}$ – максимально можливе відхилення частоти радіопередавача, яке пов'язане з її неточністю. Смугу $\Delta F_{сигн}$ можна вважати корисно використаною смугою, всередині якої утримується основна частина потужності передавача (близько 95…99%). Величина $\Delta F_{нест}$ (рис. 2.3) є непотрібним розширенням смуги частот приймача, за рахунок якої збільшується рівень перешкод. З цього випливає, що зменшення $\Delta F_{нест}$ еквівалентно виграшу по потужності передавача. Цей виграш тим більший, чим краще нерівність $\Delta F_{сигн} >> \Delta F_{нест}$. Ця умова показує, що вимоги до стабільності частоти підвищуються при використанні вузькосмугових видів радіосигналів, коли $\Delta F_{сигн}$ набуває малих значень, і знижується при використанні широкосмугових видів передачі.

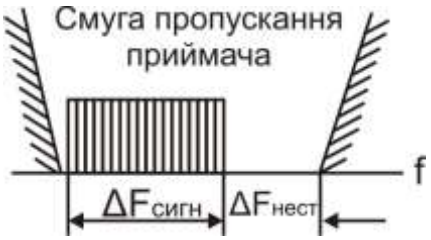

Рис. 2.3. Схематичне зображення смуги пропускання радіоприймача

Крім того, підвищені вимоги до стабільності частоти інколи пов'язують з іншими факторами, наприклад, спотвореннями інформації, яка приймається за рахунок асинхронізму несучого коливання при односмуговій радіопередачі.

Оскільки нестабільність частоти вихідних коливань передавача повністю визначається нестабільністю частоти збуджувача, то основною

вимогою до задаючого генератора (збуджувача) є висока точність і стабільність частоти коливань, які генеруються.

Коефіцієнт корисної дії (ККД)

ККД передавача визначається як відношення вихідної потужності передавача P_A до всієї споживаної потужності передавача $P_{спож}$:

$$\eta = \frac{P_A}{P_{спож}}$$

Ця величина в залежності від потужності передавача і його складності (а також елементної бази) може змінюватись від одиниць відсотків до декількох десятків відсотків. Так, для 200-ватних передавачів η=20…30%, для 30…50-кіловатних передавачів декаметрового діапазону $\eta = 40…50\%$.

На рис. 2.4 приведено наближене розподілення всієї споживаної потужності $P_{спож}$.

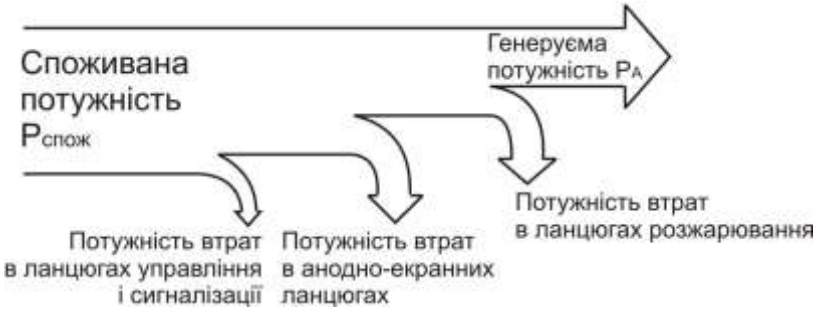

Рис 2.4. Орієнтовне розподілення потужності, яка споживається ламповим передавачем $P_{спож}$

Величина P_A та η істотно впливають на потужність (або ємність) первинних джерел електроживлення. В цьому відношенні особливо актуальним є підвищення ККД передавачів портативних і носимих радіостанцій, оскільки енергоємність джерел живлення жорстко обмежена вагою та габаритами радіостанцій. Підвищення ККД важливе в будь-якому передавачі ще й тому, що при заданій споживаній потужності зменшуються втрати всередині передавача у вигляді тепла. В зв'язку з цим, полегшується тепловий режим (що особливо важливо в транзисторних передавачах), спрощується система охолодження, що дозволяє зменшити габарити і масу передавача та дозволяє покращити його експлуатаційні характеристики.

Неосновні випромінювання

При веденні радіозв'язку на вході в радіопередавальному пристрої повинні бути лише *основні випромінювання*, тобто випромінювання в необхідній смузі частот.

Примітка: необхідна смуга частот – це мінімальна смуга частот сигналу, достатня при даному класі випромінювання для передачі повідомлень в системі з необхідною швидкістю та якістю.

Однак, внаслідок недосконалості радіопередавача, останній є джерелом *неосновних випромінювань*, спектр яких знаходиться за межами необхідної смуги частот. З цього випливає, що на частотах цих випромінювань передавач є джерелом перешкод. В умовах прогресуючого росту кількості одночасно працюючих радіоелектронних засобів різного призначення цілком природною є потреба боротьби з неосновними випромінюваннями, зокрема, шляхом нормування рівня цих випромінювань.

Всі неосновні випромінювання умовно поділяються на побічні та позасмугові (рис 2.5 [1]).

Позасмугові випромінювання передавача – це клас неосновних випромінювань в смугах частот, які межують з необхідною смугою випромінювання, і з'являється в процесі модуляції шумами або первинним сигналом.

Побічні випромінювання обумовлені нелінійними процесами, що утворюються при протіканні високочастотних струмів через нелінійні елементи електричної схеми передавача. Як правило їх поява не пов’язана з процесом модуляції.

В силу специфіки появи побічних випромінювань вони поділяються на:

- випромінювання на гармоніках (частотах, кратних частотам основного випромінювання);
- випромінювання на субгармоніках (частотах, значення яких в ціле число разів менше частоти основного випромінювання), характерних для передавачів, в яких частоти основного випромінювання отримані шляхом множення більш низьких частот;
- комбінаційні випромінювання, характерні для передавачів з так званою діапазонно-кварцовою стабілізацією частоти збудження;
- паразитні випромінювання, причина появи яких пов’язана з виконанням умов самозбудження на будь-якій частоті (випадковій частоті) і не пов’язана з утворенням основного випромінювання;
- інтермодуляційні випромінювання з’являються у тих випадках, коли вихідні коливання одного передавача потрапляють (у випадку наявності функціонального або конструктивного зв’язку між одночасно працюючими передавачами) у вихідний каскад іншого; при цьому на нелінійних елементах вихідних каскадів утворюються коливання з частотами, які відрізняються від частот основного випромінювання працюючих передавачів.

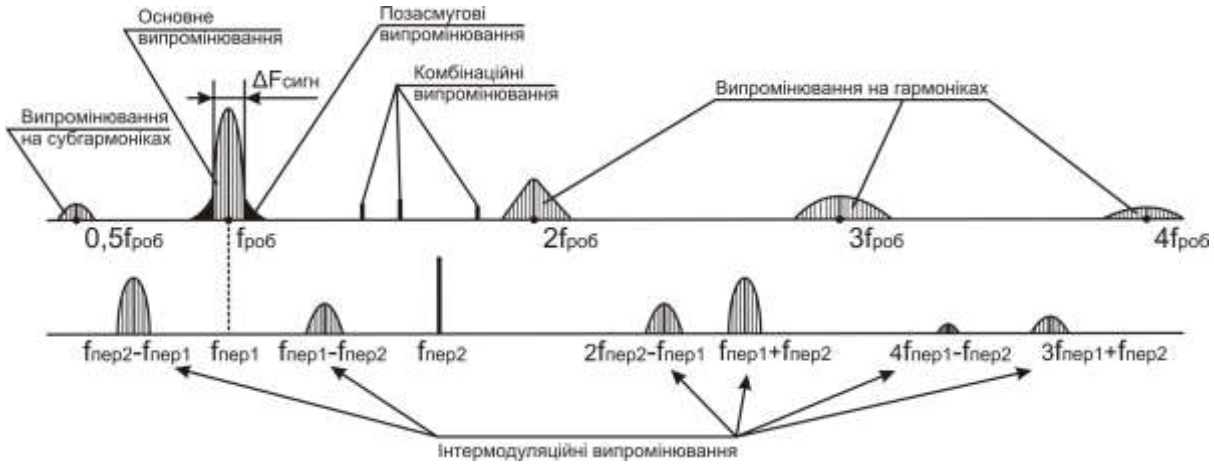

Рис. 2.5 Побічні та позасмугові випромінювання

Починаючи з 1962 р., рівень побічних випромінювань нормується. Норми на послаблення побічних коливань на виході передавачів цивільних зразків наведені на рис. 2.6 [1].

Для передавачів, що використовуються в підрозділах ОРС ЦЗ, вимоги по подавленню побічних випромінювань значно жорсткіші ніж приведені на рис 2.6.

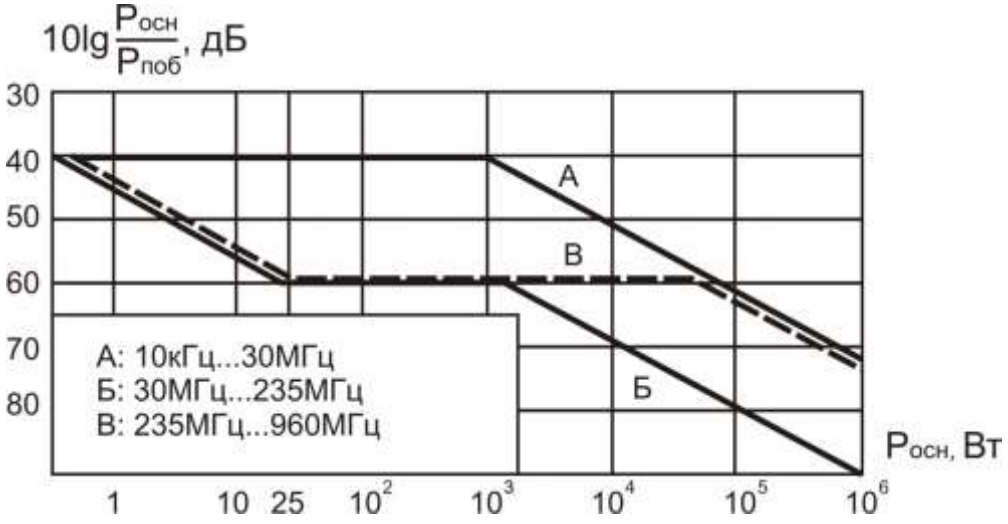

Рис. 2.6. Норми побічних випромінювань для цивільних передавачів

Дотримання норм на рівні побічних випромінювань передавальних пристроїв контролюється відповідними органами.

Класи сигналів, що випромінюються.

Використання того чи іншого класу випромінювання визначається перешкодозахищеністю системи радіозв'язку з даним видом модуляції, а також цільовим призначенням передавача (радіостанції). Зокрема, радіостанція, що проектується повинна забезпечувати можливість роботи з радіостанціями попередніх розробок.

Зв’язні малопотужні передавачі частіше за все працюють одним, двома, рідше – трьома видами сигналів. Радіопередавачі середньої та великої потужності, як правило, універсальні по видам випромінювань: вони мають великий набір як телефонних, так і телеграфних видів сигналів.

Кожному класу випромінювання відведено свою смугу радіочастот. Відповідно рекомендаціям МККР* ширина смуги, яку займає випромінювання – це смуга частот, за нижньою і верхньою межею якої середні потужності, що випромінюються складають по 0,5% кожна від середньої потужності випромінювання даного передавача. Якщо основне випромінювання в межах необхідної смуги частот містить 95%, а позасмугові випромінювання – 1% всієї середньої потужності випромінювання передавача, то ширину смуги випромінювання вважають рівною необхідній смузі частот. У цьому випадку мова йде про досконале випромінювання (рис. 2.7 ,а).

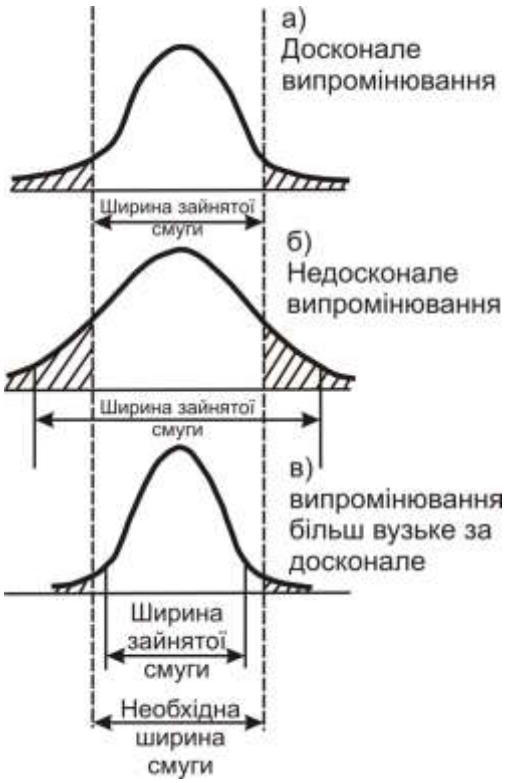

Рис 2.7. Взаємне розташування необхідної смуги випромінювання та наявної

Частіше за все має місце перевищення ширини випромінювання над необхідною смугою (рис 2.7, б), тобто передавач має недосконале випромінювання. Інколи за рахунок зменшення якості сигналу, що передається, вдається реалізувати випромінювання більш вужче, ніж досконале (рис 2.7, в).

З метою покращення використання спектру радіочастот і зменшення позасмугових випромінювань МККР радить використовувати вузькосмугові сигнали, які забезпечують мінімально можливу смугу

випромінювань, зокрема, максимально використовувати односмугові сигнали і забезпечувати заокруглення фронтів телеграфних сигналів при телеграфному радіозв'язку.

В табл. 2.4 наведена рекомендована МККР класифікація деяких випромінювань за ознаками управління несучими коливаннями.

Таблиця 2.4. Класифікація деяких випромінювань за ознаками управління несучими коливаннями

Клас випромінювання	**Характеристики сигналу, що випромінюється по ознакам керування високочастотними коливаннями**
A0	Немодульована несуча
A1	Сигнал телеграфного радіозв'язку при амплітудній маніпуляції
A2	Сигнал телеграфного радіозв'язку при амплітудній тональній маніпуляції
A3	Сигнал телефонного радіозв'язку при амплітудній модуляції
A3A	Сигнал односмугової радіопередачі з послабленою несучою
A3H	Сигнал односмугової радіопередачі з повною несучою
A3I	Сигнал односмугової радіопередачі з подавленою несучою
A3B	Сигнал радіопередачі з двома незалежними боковими смугами
A4	Сигнал факсимільного (фототелеграфного) радіозв'язку при модуляції шляхом зміни амплітуди
F1	Сигнал телеграфного радіозв'язку при частотній маніпуляції
F2	Сигнал телеграфного радіозв'язку при частотній тональній маніпуляції
F3	Сигнал телефонного радіозв'язку при частотній модуляції
F6	Сигнал двоканального телеграфного радіозв'язку при частотній маніпуляції
F9	Сигнал телеграфного радіозв'язку при фазовій (відносній фазовій) маніпуляції
P0	Імпульсні сигнали з високочастотним заповненням без використання модуляції (наприклад, в радіолокації)
P3D	Сигнал телефонного радіозв'язку при амплітудній модуляції імпульсів
P3E	Сигнал телефонного радіозв'язку при модуляції імпульсів по ширині (протяжності)
P3F	Сигнал телефонного радіозв'язку при модуляції імпульсів по фазі (положенню)
P4	Сигнали радіозв'язку при кодово-імпульсній модуляції

2.1.3. Вимоги загального характеру

Звичайно, конструктору надається свобода вибору конструкції передавача. Обумовлюються в технічних умовах лише вимоги розміщення передавача, зокрема, вид транспортної бази (або стаціонарні умови), маса і габарити, кліматичні умови експлуатації.

Питання *маси і габаритів* особливо серйозне при проектуванні переносних радіопередавачів і передавачів, які встановлюються на літальних апаратах (літаках, космічних станціях), в пересувних об'єктах тощо. В цьому випадку використовуються більш прості схемні рішення, застосовуються спеціальні матеріали і конструкції, продумується компактність монтажу з одночасним застосуванням, у випадку необхідності, заходів примусового охолодження. Все це повинно здійснюватися за рахунок зниження надійності.

Вимоги *надійності* – завжди одні з важливіших, і особливо для мобільних передавачів. Їх виконання досягається таким чином:

- електричною і механічною стійкістю компонентів і всієї конструкції;

– застосуванням високоякісних матеріалів;
– недопущенням складних режимів (недостатній відвід теплоти, робота електронних приладів зі струмами і напругою, що досягають максимально можливих величин тощо;
– спрощення схеми і конструкції.

Для пересувних і переносних передавачів важливе практичне значення має виконання *кліматичних і механічних* вимог. Ці передавачі повинні зберігати свою працездатність в діапазоні температур від – 40 до $+50^0$С при відносній вологості до 98% і зниженні атмосферного тиску до 350 мм. рт. ст. Незалежність від кліматичних умов досягається герметизацією деталей, використанням вологонепроникних ущільнень матеріалів з малими температурними коефіцієнтами, а також термокомпенсуванням. Для цих передавачів надзвичайно суворими є механічні вимоги, задоволення яких забезпечує надійну роботу в умовах вібрацій і тряски.

Для стаціонарних передавачів наведені вимоги звичайно значно послаблені.

В показник надійності входить і ремонтопридатність. За необхідності повинна бути передбачена система резервування.

В зв’язку з ускладненням апаратури більш суворими стають *ергономічні вимоги* до передавачів. До них, зокрема, належать:

– кількість органів управління, необхідних оператору для виконання перерахованих операцій;
– наявність і простота вмонтованої системи контролю працездатності (справності);
– час готовності до роботи після ввімкнення живлення;
– час переходу (перестройки) з однієї частоти на іншу;
– час переходу з телефонної роботи на телеграфну і навпаки.

Тривале перестроювання неприпустиме для передавачів, в яких за умовами експлуатації доводиться часто змінювати робочі частоти, наприклад, у випадку роботи в так званих адаптивних системах радіозв’язку.

Примітка: Адаптивна система автоматично пристосовується до умов зв’язку, які змінюються, наприклад, швидко переходить на нову робочу частоту (адаптація по частоті).

Перераховані вимоги в значній мірі задовольняються використанням систем автоматики. В зв’язку з цим ускладнюється схема і більш актуальним стає показник надійності передавача.

З ергономічними вимогами пов’язані вимоги *забезпечення безпеки* обслуговуючого персоналу, операторів. Чим більша потужність передавача, тим більш високі градації напруг живлення в ньому використовуються. В лампових передавачах вони досягають декількох десятків кіловольт і представляють суттєву небезпеку для людини. Тому всі деталі і дроти передавача розташовуються всередині шаф (блоків),

металеві екрани (кожухи) яких повинні мати надійне заземлення (в наземних передавачах) або з'єднання з корпусом корабля, або літака (в корабельних передавачах і на літаках). В передавачах з напругами вище 300 В технічні умови вимагають використання двох незалежних один від одного блокувань – електричного і механічного. При відкриванні дверцят (вийманні блоків) повинна автоматично вимикатись висока напруга; доступ до потужних випрямлячів можливий тільки після того як буде здійснено розряджання фільтрувальних конденсаторів на корпус тощо. У багатьох випадках використовується додаткова сигналізація, спеціальні написи та інше. Чим потужніший передавач, тим розгалуженіша система його управління, блокування та сигналізації (УБС).

2.2. Формування сигналів телефонного радіозв'язку

2.2.1. Загальні положення

Основне завдання будь-якої системи зв'язку, і системи радіозв'язку зокрема, полягає в передачі певних повідомлень від джерела інформації до деякого віддаленого одержувача. Для передачі засобами радіозв'язку повідомлення перетворюється в електричні сигнали, що представляють собою деяку функцію часу.

Електричні коливання, створювані в радіопередавачах, а також випромінювані антеною електромагнітні хвилі не несуть у собі інформації про повідомлення, яке передається, якщо вони не піддаються управлінню (модуляції) за законом цього повідомлення. Умовою можливості відновлення повідомлення із сигналу в місці прийому є однозначна відповідність між ними, обумовлена вибором методу модуляції (а іноді й кодування) повідомлення.

Перетворення повідомлення в сигнал у більшості випадків здійснюється в два етапи. На першому етапі неелектричні величини або символи, що визначають повідомлення, заміняються електричними за допомогою якого-небудь перетворювача, що входить до складу кінцевого пристрою (мікрофона, телеграфного ключа тощо). Після подібного перетворення формується так званий *первинний електричний сигнал* (струм, напруга). Спектр первинного електричного сигналу найчастіше складають коливання порівняно низьких частот.

Для систем електропровідного зв'язку (наприклад, провідних систем) може виявитися достатньо лише одного перетворення повідомлення в електричний сигнал. Для систем радіозв'язку додатково здійснюється ще одне перетворення – модуляція. Процес модуляції будь-якого виду вимагає участі, принаймні, двох електричних коливань. Одне з них містить у собі інформацію про передане повідомлення й називається модулюючим сигналом. Як модулюючий сигнал виступає первинний електричний сигнал. Друге коливання являє собою високочастотне *несуче коливання*.

Найбільш часто як несуче коливання використовується гармонійне:

$$U_н(t) = U_н \cos\varphi(t) = U_н \cos\omega_н t \qquad (2.1)$$

В деяких випадках переносником інформації виступають й інші незатухаючі коливання, наприклад, періодична послідовність імпульсів. У кожному разі модулюючий сигнал певним чином змінює один або кілька параметрів несучого коливання. Коливання, промодульоване первинним електричним сигналом, називається *радіосигналом*. Воно передається в антену і потім випромінюється в навколишнє середовище. Таким чином, радіосигнал є матеріальним носієм повідомлення, яке передається.

Деякі параметри несучого коливання в процесі модуляції залишаються незмінними й, отже, є постійними ознаками радіосигналу. Вони можуть бути використані в місці прийому *для відокремлення сигналу від перешкод*.

У процесі модуляції повинна зберігатися *однозначна відповідність* між модулюючим сигналом і змінами керованого параметру несучого коливання. Найпростішим і найпоширенішим випадком подібної відповідності є пряма пропорційність між *відхиленням* керованого параметру (від його значення для немодульованих коливань) і миттєвими значеннями модулюючого сигналу. При виконанні цієї умови має місце *неспотворена* модуляція.

Оскільки передана інформація заздалегідь невідома її одержувачеві, то з точки зору теорії передачі сигналів модулюючі сигнали відносяться до випадкових процесів (випадкових функцій часу). На відміну від детермінованих процесів, які однозначно визначаються функціональною залежністю від часу, випадкові процеси можна представити *у вигляді сукупності* детермінованих функцій часу, що виникають із певними ймовірностями. Інакше: випадковий модулюючий сигнал не може бути представлений аналітично тобто заздалегідь відомою функцією часу.

Випадковий процес, у якості якогось виступає модулюючий сигнал (наприклад, напруга) $C(t)$, звичайно відносять до числа так званих стаціонарних процесів. Властивості (і параметри, що характеризують ці властивості) модулюючих сигналів виявляються протягом деякого кінцевого проміжку часу T і в подальшому можуть вважатися незмінними. Чим більше час спостереження T, тим менше виміряні значення цих параметрів відрізняються від постійних величин. Знання параметрів модулюючого сигналу необхідне для того, щоб правильно проектувати технічні пристрої, які дозволяють здійснити модуляцію без спотворення (строго кажучи, з припустимими спотвореннями).

З цих міркувань нижче розглядаються найбільш важливі параметри стаціонарних випадкових процесів.

Випадкова величина $U_\Omega(t)$ у різні моменти часу може приймати з деякою ймовірністю те або інше значення, більше величини $U_{\Omega_{\min}}$ і менше $U_{\Omega_{\max}}$. Оскільки амплітуда модулюючого сигналу завжди обмежена, то ймовірність появи миттєвих значень, які перевищують $U_{\Omega_{\max}}$ дорівнює

нулю. Якщо *величина* $U_{\Omega_{max}}$ невідома, то не можна правильно сформулювати вимоги до амплітудної характеристики тракту передачі модулюючих і модульованих коливань.

Середнє квадратичне значення визначається відповідно до виразу:

$$U_{\Omega еф} = \sqrt{\frac{1}{T}\int U_{\Omega}^{2}(t)dt}\,. \qquad (2.2)$$

З цього співвідношення, квадрат величини $U_{\Omega еф}$ пропорційний середній потужності модулюючого сигналу за час *спостереження T*.

Для оцінювання ефективності систем радіозв'язку важливий похідний параметр, так званий *пікфактор*:

$$П = \frac{U_{\Omega макс}}{U_{\Omega еф}}.$$

Для аналогового телефонного первинного електричного сигналу величина $П$ звичайно лежить у межах 3,0...6,0. Так, у системах радіомовлення для симфонічної музики $П \approx 6$, для естрадного і духового оркестру $П \approx 3$, для хорового співу й мови $П \approx 4$. Для систем професійного радіозв'язку (у тому числі систем радіозв'язку МНС) величина $П = 3{,}3$. *Енергетичний спектр* $W(F)$ характеризує розподіл середньої потужності первинного сигналу як випадкового процесу в смузі частот. Строго кажучи, енергетичний спектр випадкового процесу займає нескінченно широку смугу частот. Однак основна частина енергії виявляється зосередженою в смузі цілком обмеженої ширини. Це дозволяє обмежити смугу пропускання модуляційного тракту інтервалом частот $F_{мін}...F_{макс}$. Сигнал у смузі $F_{мін}...F_{макс}$ буде дещо відрізнятися від сигналу, пропущеного через тракт із нескінченною смугою пропускання. Величина смуги $F_{мін}...F_{макс}$ обирається залежно від вимог до якості каналу радіозв'язку й ряду інших міркувань.

На рис. 2.8 подано залежність $W(F)$ для української мови [1].

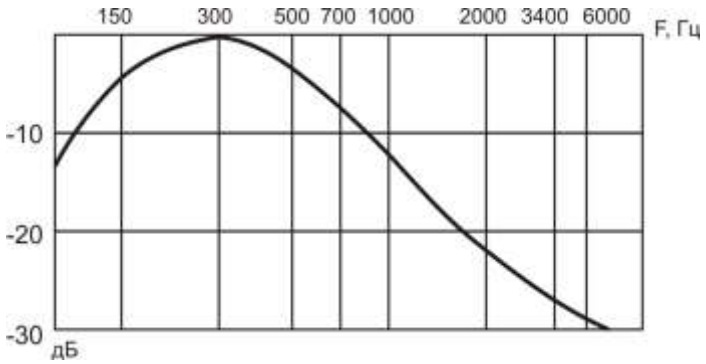

Рис. 2.8. Залежність $W(F)$ *для української мови*

З рисунку видно, що енергетично щільною є низькочастотна частина спектру: основна частина середньої потужності модулюючого мовного сигналу зосереджена в смузі від 100 до 700 Гц. Однак ширину смуги ефективно переданих частот не можна обмежувати тільки вказаним інтервалом, оскільки області, у межах яких знаходиться енергія, характерна для кожного окремого звуку й відрізняє його від інших, можуть бути розташовані на більш високих частотах.

Для сучасних систем професійного (у тому числі ОРС ЦЗ) радіотелефонного зв'язку ширина спектра модулюючих сигналів прийнята в межах $F_{мін}...F_{макс} = 300...3400$ Гц (у деяких випадках від 300 до 2700 Гц). При цьому забезпечується висока розбірливість і в значному ступені зберігається натуральність мовлення. Для міжнародних зв'язків відповідно до рекомендацій МККР смуга ефективно переданих частот модулюючого сигналу лежить в інтервалі 250...3000 Гц.

2.2.2. Загальні відомості про амплітудну модуляцію

Відомо, що несуче коливання виду (2.1) можна модулювати по амплітуді, частоті й фазі. Якщо за законом модулюючої функції $u_\Omega(t)$ змінюється тільки один із цих параметрів, то буде мати місце відповідно амплітудна, частотна й фазова модуляція. Знаходять застосування також і комбіновані види модуляції коли за законом модулюючої функції одночасно змінюється кілька параметрів несучого коливання.

Для того, щоб мала місце неспотворена амплітудна модуляція несучого коливання (2.1), необхідна лінійна залежність «амплітуди»* несучого коливання від $u_\Omega(t)$

** точніше: огинаючої (поняття амплітуди властиве лише гармонійним коливанням; промодульоване коливання не є гармонійним).*

$$U_н(t) = U_н + U_\Omega(t) \ . \qquad (2.3)$$

Вираз для амплітудно-модульованого сигналу (випромінювання класу А3) має вигляд

$$U(t) = U_н(t)\cos\omega_н t = U_н\left(1+\frac{U_\Omega t}{U_н}\right)\cos\omega_н t \ . \qquad (2.4)$$

При випробуваннях і регулюваннях амплітуди як модулюючий сигнал використовується гармонійне коливання

$$U_\Omega(t) = U_\Omega \cos\Omega t \ .$$

При цьому вираз (2.4) набуває вигляду

$$U(t) = U_н \cos \omega_н t + \frac{m}{2} U_н \cos(\omega_н + \Omega)t + \frac{m}{2} U_н \cos(\omega_н - \Omega)t, \qquad (2.5)$$

де $m = \frac{u_\Omega}{U_н}$ – коефіцієнт модуляції, який характеризує відносну зміну огинаючої модульованого сигналу.

Як видно з (2.5), амплітудно-модульоване коливання складається *із трьох гармонійних коливань*: коливання з несучою частотою $\omega_н$ й амплітудою $U_н$ та двох коливань із частотами $\omega_н + \Omega$ і $\omega_н - \Omega$ з амплітудами $\frac{m}{2} U_н$. Частоти $\omega_н + \Omega$ й $\omega_н - \Omega$ називаються бічними **.

***про те, що інформація про амплітудно-модульований сигнал міститься у двох бічних смугах, було показано М. В. Шулейкіним ще в 1916 році.*

Для цього випадку отримано (рис.2.9 [1]) наочні спектральні (а), векторні (б) та часові (в) діаграми.

На векторній діаграмі складова несучої частоти представлена нерухомим вектором $U_н$, а коливання бічних – двома векторами $mU_н$, які обертаються відносно вектора $U_н$ у взаємно протилежних напрямках з кутовими швидкостями Ω. Таким чином, результуючий сумарний вектор пульсує з частотою Ω, завжди збігаючись по фазі з вектором коливання несучої частоти.

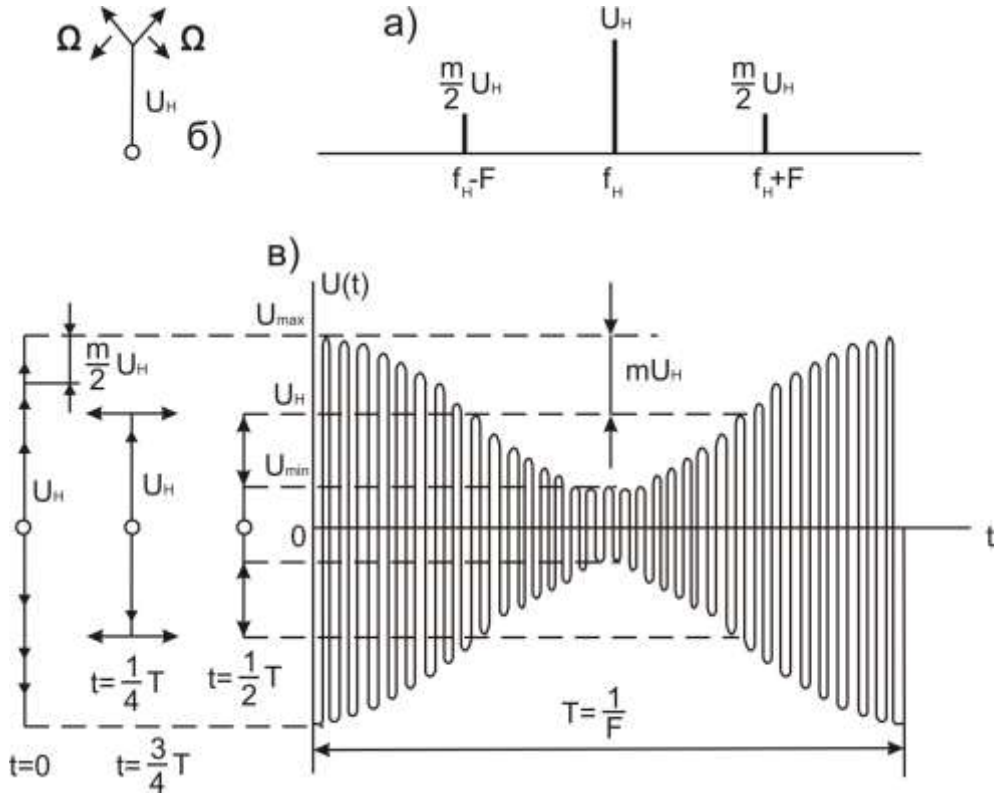

Рис. 2.9. Діаграми для амплітудно-модульованого сигналу

На рис. 2.10 [1] представлено зображення спектра модулюючого й модульованого коливань для більш загального випадку (зі складним спектром, що займає смугу $F_{мін}...F_{макс}$).

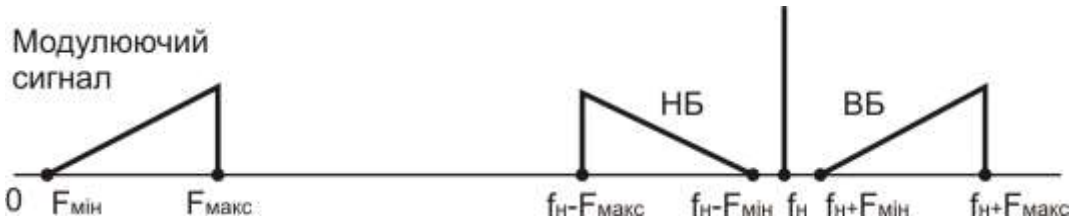

Рис. 2.10. Зображення загального випадку спектрів модулюючого і модульованого коливань

Смуга частот від $f_H - F_{макс}$ до $f_H - F_{мін}$ називається нижньою бічною смугою (НБ або НБС). Відповідно верхня бічна смуга (ВБ або ВБС) розташовується в інтервалі частот від $f_H + F_{мін}$ до $f_H + F_{макс}$.

Повний спектр випромінювань класу А3 займає смугу $2F_{макс}$.

Спектр НБ виявляється інвертованим у порівнянні зі спектром модулюючого сигналу.

В процесі модуляції мінімальне й максимальне значення огинаючої модульованого сигналу буде змінюватися від $U_{мін}$ до $U_{макс}$ (рис 2.11).

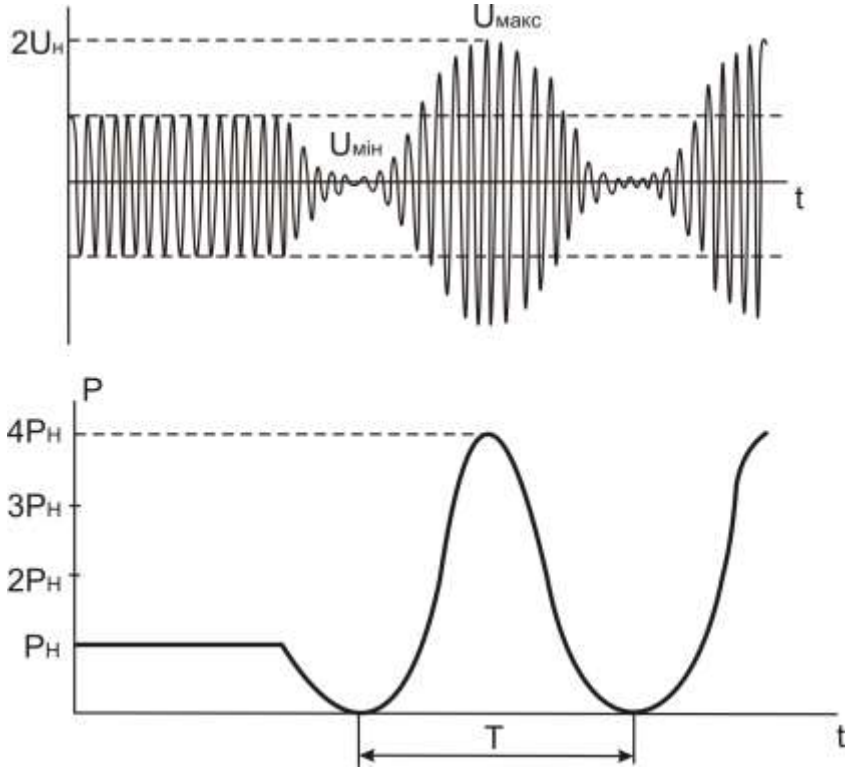

Рис. 2.11. Зміна значень огинаючої амплітудно-модульованого сигналу

$$U_{макс} = U_н + U_{\Omega макс} = U_н(1 + m_{макс});$$
$$U_{мін} = U_н - U_{\Omega макс} = U_н(1 - m_{макс}), \qquad (2.6)$$

де $m_{макс} = \frac{U_{\Omega макс}}{U_н}$ – максимальний коефіцієнт модуляції.

У режимі мовчання ($U_\Omega = 0$; $m = 0$) потужність на виході пристрою формування амплітудно-модульованих сигналів, створювана на навантаженні *R*, називається потужністю несучого коливання й складає

$$P_н = \frac{U_н^2}{2R}. \qquad (2.7)$$

Максимальна $P_{макс}$ та мінімальна $P_{мін}$ потужності на навантаженні *R* виділяються відповідно при максимальному й мінімальному значеннях огинаючої. Згідно (2.6)

$$P_{макс} = \frac{U_{макс}^2}{2R} = \frac{U_н^2(1+m_{макс})^2}{2R} = P_н(1+m_{макс})^2; \qquad (2.8)$$

$$P_{мін} = \frac{U_{мін}^2}{2R} = \frac{U_н^2(1-m_{макс})^2}{2R} = P_н(1-m_{макс})^2. \qquad (2.9)$$

При $m_{макс} = 1$ потужність, яка генерується змінюється від нуля до $4P_н$.

Можна показати, що в процесі модуляції лампою (транзистором) буде генеруватися деяка середня потужність $P_{сер}$ *за період низькочастотного модулюючого коливання****

*** *у загальному випадку за час T , достатній для виявлення статичних властивостей модулюючого сигналу.*

$$P_{сер} = P_н\left(1+\frac{m_{макс}^2}{П^2}\right) = P_н + P_{бок}. \qquad (2.10)$$

Перший доданок у (2.10) характеризує потужність несучого коливання, потужність в режимі мовчання. Цей доданок не залежить від моделюючої функції і, отже, не несе інформації про передане повідомлення. Інформація про передане повідомлення міститься в другому доданку.

Корисний ефект у приймачі кореспондента створюється коливаннями бічних частот, сумарна потужність яких згідно (2.10) дорівнює:

$$P_{бок} = P_н\frac{m_{макс}^2}{П^2}. \qquad (2.11)$$

Отже, ефективність використання *повної* потужності підсилювального приладу (лампи) $P_{макс}$ *для передачі інформації* складає згідно (2.11) і (2.8):

$$\frac{P_{бок}}{P_{макс}} = \frac{m^2_{макс}}{П^2(1+m_{макс})^2}.$$

При модуляції випадковим сигналом з $П \approx 3.3$ і $m_{макс} = 1$ згідно (2.11):

$$\frac{P_{бок}}{P_{сер}} = \frac{P_н \frac{m^2_{макс}}{П^2}}{P_н(1+\frac{m^2_{макс}}{П^2})} = \frac{1}{1+\frac{П^2}{m^2_{макс}}} \approx 0,09.$$

Іншими словами, на передачу корисної інформації витрачається всього 9% від тієї потужності, що *реально віддає лампа* (транзистор).

У зв'язку з низькими енергетичними показниками систем радіозв'язку з амплітудною модуляцією в наш час у професійному зв'язку сигнали амплітудної модуляції знаходять дуже обмежене застосування і все більше витісняються іншими видами модуляції.

Таким чином, найбільш істотним недоліком амплітудно-модульованих сигналів є низька ефективність використання потужності встановлених у передавачі електронних приладів, а також широка смуга частот, яка вдвічі перевищує ширину спектра модулюючого сигналу.

Оскільки обидві бічні смуги несуть однакову інформацію про передане повідомлення, то достатньо обмежитися передачею тільки однієї, байдуже якої (НБ або ВБ), бічної смуги. Так виникла ідея передачі інформації за допомогою односмугових сигналів. Вперше ця ідея була розвинена ще в 1928-1930 р. професором П.В. Шмаковим, який поклав початок систематичним дослідженням в цій області.

2.2.3. Формування односмугових сигналів

Односмуговим сигналам з повністю подавленою несучою (відповідно до рекомендацій МККР) привласнено клас А3I.

При односмуговій передачі вся випромінена передавальною антеною потужність витрачається на передачу інформації в мінімально можливій смузі, близькій по величині до смуги частот первинного електричного сигналу $F_{макс}...F_{мін}$. Таким чином, при односмуговій передачі раціонально витрачається і потужність передавача і частотний спектр.

Із цього випливає найважливіша вимога до схем формування односмугових сигналів – високий ступінь придушення невикористовуваної бічної смуги і несучого коливання.

Якщо односмуговий передавач є одноканальним, тобто призначений для передачі тільки однієї бічної смуги, то (як установлено згідно ГОСТ) використовується *тільки верхня* (ВБ).

В одноканальних односмугових передавачах придушення нижньої бічної смуги повинне бути не гірше 40 дБ, а для двох- і багатоканальних

односмугових передавачів з передачею різної інформації по всіх каналах – не гірше 60 дБ.

З викладеного вище зрозуміло, що спектри що модулюючого та односмугового сигналів відрізняються лише розміщенням на частотній осі. Розподіл енергії всередині частотних смуг обох спектрів однаковий. Таким чином, при односмуговій передачі спектр модулюючого сигналу переноситься в область високих частот без зміни його абсолютної ширини і при повному збереженні закону розподілу енергії між окремими складовими коливання. Завдяки цьому передача лише однієї бічної смуги, що містить всю необхідну передаваєму інформацію дає істотний енергетичний виграш у порівнянні з роботою передавача сигналами амплітудної модуляції.

Оцінимо енергетичний виграш системи з односмуговою передачею.

Якщо припустима амплітуда коливань $U_{макс}$ задана, то за рахунок придушення несучого коливання обидва бічні коливання можуть бути збільшені в два рази. Це еквівалентно збільшенню потужності передавача в 4 рази за рахунок більш раціонального використання генерованої потужності лампи (транзистора) вихідного каскаду. При переході до односмугової передачі цей виграш збережеться: розходження полягає лише в концентрації всієї генерованої потужності не в двох бічних смугах, а в одній.

Скорочення смуги частот випромінюваних коливань в два рази дозволяє звузити смугу пропущення приймача, що забезпечує додатковий виграш у співвідношенні сигнал/перешкода (*чим ширша смуга пропущення приймача, тим більше позначаються перешкоди прийому, що приводить до зниження якості відтвореного сигналу, тобто до погіршення його завадостійкості*). Це еквівалентно збільшенню потужності передавача ще в два рази. Крім того, звуження вдвічі смуги спектру односмугового сигналу знижує ймовірність його схильності до селективних завмирань, що теоретично еквівалентно енергетичному виграшу ще в два рази.

Сумарний ефект заміни звичайної амплітудної модуляція на односмугову еквівалентний енергетичному виграшу в 16 разів (12 дБ). Реальний виграш трохи нижчий – 9...12 разів.

Ще однією перевагою односмугової роботи є більш високий промисловий ККД односмугового передавача, оскільки в паузах передачі інформації потужність несучої не генерується і, отже, знижується споживання енергії від джерел живлення. Чим більш потужніший передавач, тим більший виграш у споживанні енергії. Так, витрата електроенергії при амплітудній модуляції становить 3,5...4.5 кВт на 1 кВт корисної потужності, а при односмуговій передачі – всього від 1,1 до 2 кВт.

Поряд з виявленими перевагами односмугової передачі слід зазначити й ряд додаткових труднощів, які супроводжують реалізацію систем з односмуговою передачею.

Основна складність полягає в тому, що ускладнюється відтворення інформації з однієї бічної смуги на прийомній стороні. Можна показати, що односмуговий сигнал містить інформацію про передане повідомлення як у зміні огинаючої, так і в зміні миттєвої частоти. Якщо це коливання надходить у приймач кореспондента на звичайний амплітудний детектор (як у випадку прийому сигналів амплітудної модуляції), то можна виділити огинаючу односмугового сигналу. Однак ця огинаюча не буде передавати закон переданого повідомлення в зв'язку з тим, що інформація про частоту модулюючого сигналу буде втрачена. Для отримання інформації про частоту й амплітуду переданого повідомлення на амплітудний детектор у приймачі кореспондента потрібно подати коливання несучої частоти. Джерелом цього коливання відновленої несучої є спеціальний гетеродин приймача, причому частота цієї несучої повинна бути відновлена з високим ступенем точності й сталості (стабільності).

Такі тверді вимоги до стабільності частоти були протягом тривалого часу обмежуючим фактором для впровадження односмугового радіозв'язку в практику. Реальна можливість використання переваг односмугового радіозв'язку виникла лише після появи високостабільних збудників передавачів і гетеродинів приймачів.

Приймач, призначений для прийому односмугових сигналів, істотно складніший, головним чином через систему діапазонно-кварцової стабілізації частоти гетеродинів. Саме цей факт виступає в якості обмежуючого при використанні односмугової модуляції для радіомовлення.

У системах професійного зв'язку односмугова передача практично витиснула амплітудну модуляцію.

Додаткові труднощі впровадження односмугових сигналів у практику пов'язані з технічною реалізацією пристроїв формування односмугових сигналів у тракті передача. Шляхи їх подолання розглядаються нижче.

Одним з можливих способів отримання односмугових сигналів є застосування балансового модулятора й фільтра зі смугою пропущення, що збігається зі спектром використовуваної бічної смуги частот. Коливання несучої частоти звичайно придушується схемою модулятора, в якості якого виступають балансові або кільцеві змішувачі. Головною вимогою до цього фільтра буде виступати заданий ступінь придушення невикористовуваної бічної смуги частот. Задоволення цієї вимоги тим складніше, чим вища частота несучого коливання. Проілюструємо сказане розрахунками.

Нехай спектр сигналу $U_{\Omega}(t)$ є стандартним: $F_{макс}...F_{мін} = 0.3...3.4$ кГц, робоча частота $f_н = 10$ МГц, а необхідне придушення невикористовуваної бічної повинне бути не гірше $B = 60$ дБ. Згідно рис. 2.12 (виділяється ВБ і придушується НБ) необхідна відносна смуга розфільтрування складе

$$\frac{\Delta f_{розф}}{f_н} = \frac{2F_{мін}}{f_н} = \frac{2 \cdot 300}{10 \cdot 10^6} = 0.006\%.$$

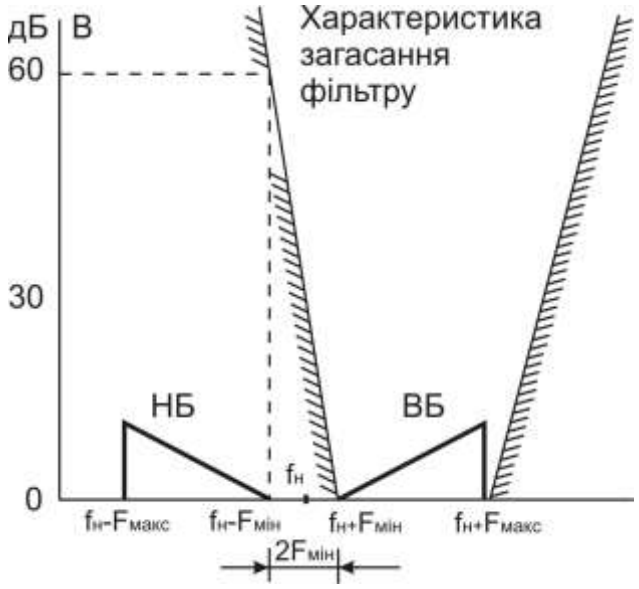

Рис. 2.12. Харакеристика загасання фільтру при односмуговій модуляції

При цьому крутизна характеристики загасання фільтра повинна бути не менше

$$S_ф = \frac{B}{\frac{\Delta f_{розф}}{f_н}} = 10^4 \frac{дБ}{\%}.$$

Кварцові фільтри мають $S \le 10^3 \frac{дБ}{\%}$, а *LC*-фільтри ще менші характеристики. Це означає, що необхідне придушення $B = 60$ дБ невикористовуваної бічної на частоті $f_н = 10$ МГц забезпечити не вдасться.

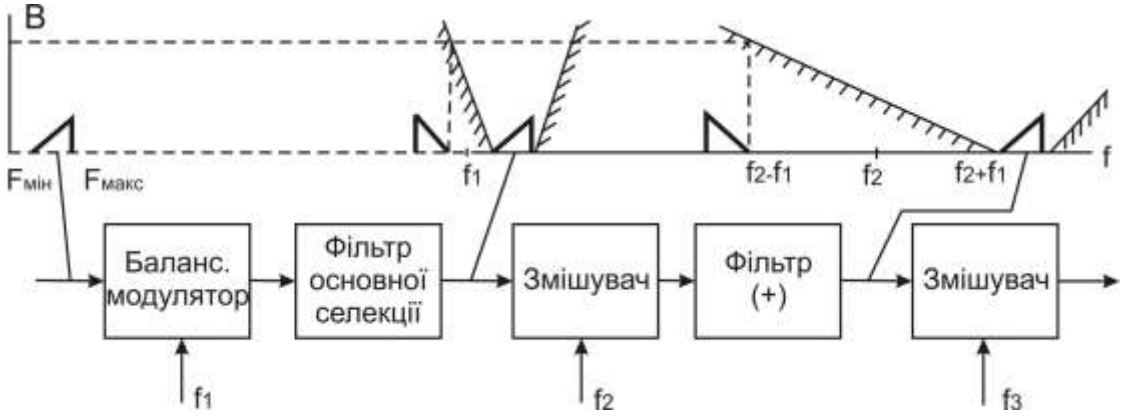

Рис. 2.13. Формування односмугового сигналу на низьких частотах з перенесенням сформованого сигналу

Вихід з положення, що склалося, може бути знайдений при формуванні односмугового сигналу спочатку на більш низьких частотах з наступним перенесенням сформованого односмугового сигналу по частотній осі в область інтервалу робочих частот. У цьому випадку схема буде мати вигляд поданий на рис.2.13.

Якщо частота f_1 обрана досить низькою, наприклад, рівна $f_1 = 100$ кГц, то необхідне розфільтрування бічних смуг легко може бути досягнуте, оскільки відносна смуга розфільтрування складе

$$\frac{\Delta f_{розф}}{f_1} = \frac{2F_{мін}}{f_1} = \frac{2 \cdot 300}{100 \cdot 10^3} = 0,6\%,$$

а необхідна крутизна характеристики загасання фільтра в смузі розфільтрування виявляється прийнятною

$$S_ф = \frac{B}{\frac{\Delta f_{расф}}{f_1}} = \frac{60}{0,6} = 10^2 \frac{дБ}{\%}.$$

При наступному перетворенні бічні смуги виявляються одна від одної вже на набагато більшій відстані $\Delta f_{розф} = 2(f_1 + F_{мин}) \approx 2 f_1$. Завдяки цьому вимоги до крутості характеристики загасання фільтра (після змішувача, рис.2.13) виявляються не жорсткими. Проілюструємо це.

Нехай $f_2 = 1$ МГц. Тоді смуга розфільтрування складе приблизно величину

$$\frac{\Delta f_{розф}}{f_1 + f_2} \approx \frac{2 f_1}{f_1 + f_2} \approx 0,2\%.$$

Це означає, що фільтри після змішувачів у тракті транспонування односмугового сигналу можуть бути реалізовані за допомогою простих і дешевих коливальних систем на *LC*-елементах, якщо раціонально обране відношення частот $\frac{f_2}{f_1}$, $\frac{f_3}{f_2}$ тощо.

Таким чином, при фільтровому способі формування односмугового сигналу спектр первинного електричного сигналу $F_{мін} ... F_{макс}$ багаторазово переміщується в бік високих частот доти, поки спектр не потрапить у діапазон вихідних коливань збудника. Тому даний спосіб іноді називають способом послідовних перетворень із фільтрацією або способом багаторазового балансового перетворення.

Фільтровий спосіб формування односмугового сигналу, незважаючи на відносну складність і труднощі боротьби з побічними продуктами при великій кількості змішувачів, у наш час є основним і перспективним.

Підставою його перспективності виступають, зокрема, більш широкі можливості п'єзоелектричних фільтрів.

В двоканальних односмугових передавачах формування первинних односмугових сигналів фільтровим способом здійснюється для кожного каналу окремо, як це показано на рис. 2.14 за допомогою фільтрів. Потім сигнали обох каналів (НБ і ВБ) надходять у загальний тракт через груповий підсилювач.

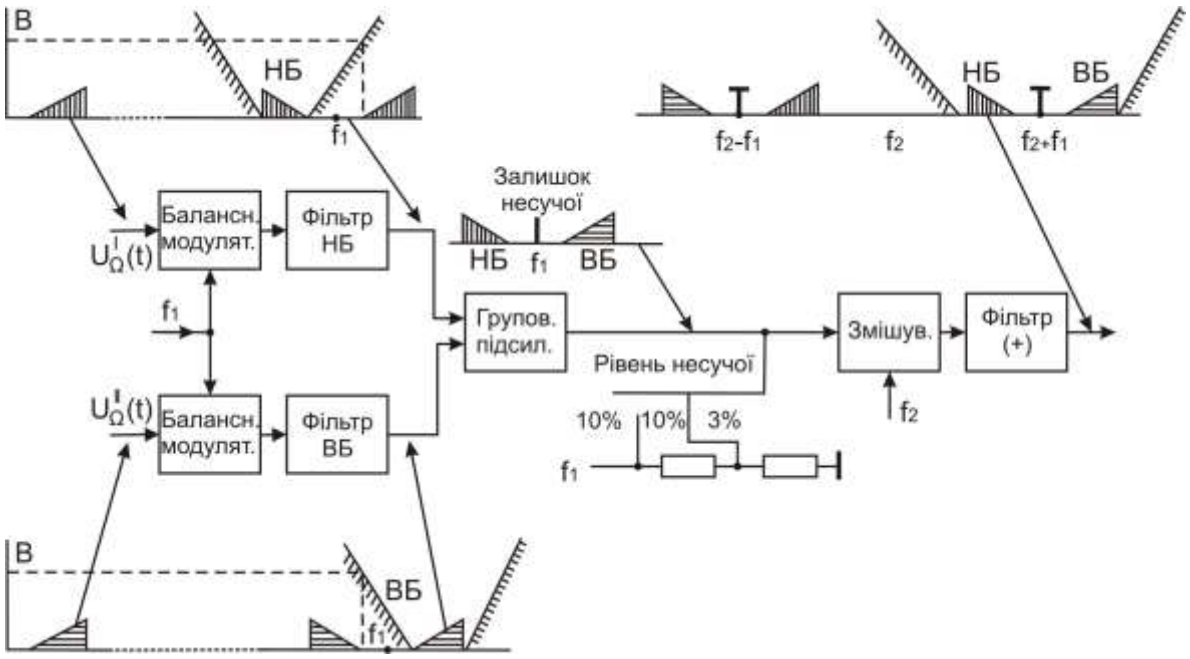

Рис. 2.14. Формування первинних односмугових сигналів фільтровим способом в двоканальних односмугових передавачах

Як було викладено вище, вимоги по придушенню невикористовуваної бічної смуги в цій схемі більш жорсткі в порівнянні з одноканальними передавачами. Це обумовлено необхідністю боротьби з так званими «виразними переходами» з каналу в канал у багатоканальних односмугових передавачах.

В ряді випадків, наприклад, для забезпечення радіозв'язку з радіостанціями попереднього покоління, які не мають односмугових видів роботи, до сформованого односмугового сигналу додається коливання несучої частоти. У цьому випадку формується одноканальний односмуговий сигнал класу А3Н (з непригніченої несучою, що має рівень до 80% від максимального значення амплітуди односмугового сигналу). Цей вид сигналів може прийматися приймачами, призначеними для прийому сигналів класу А3.

Тому в схемі звичайно передбачається додатковий перемикач, за допомогою якого вводиться в односмуговий сигнал несуче коливання різного рівня.

На рис. 2.15 приведено схему формування односмугових сигналів в чотириканальному односмуговому передавачі для міжнародних зв'язків. У

цій схемі для позначення смуг прийнято позначення B_1, B_2, A_1 та A_2. Тому у двоканальних односмугових передавачах нижньої (НБ) і верхньої (ВБ) смугам частот привласнена символіка відповідно B_1 й A_1.

Рис. 2.16 та 2.17 ілюструють принцип формування й «переносу» односмугового сигналу в діапазон робочих частот для радіостанцій Р-130 і Р-143 відповідно [1].

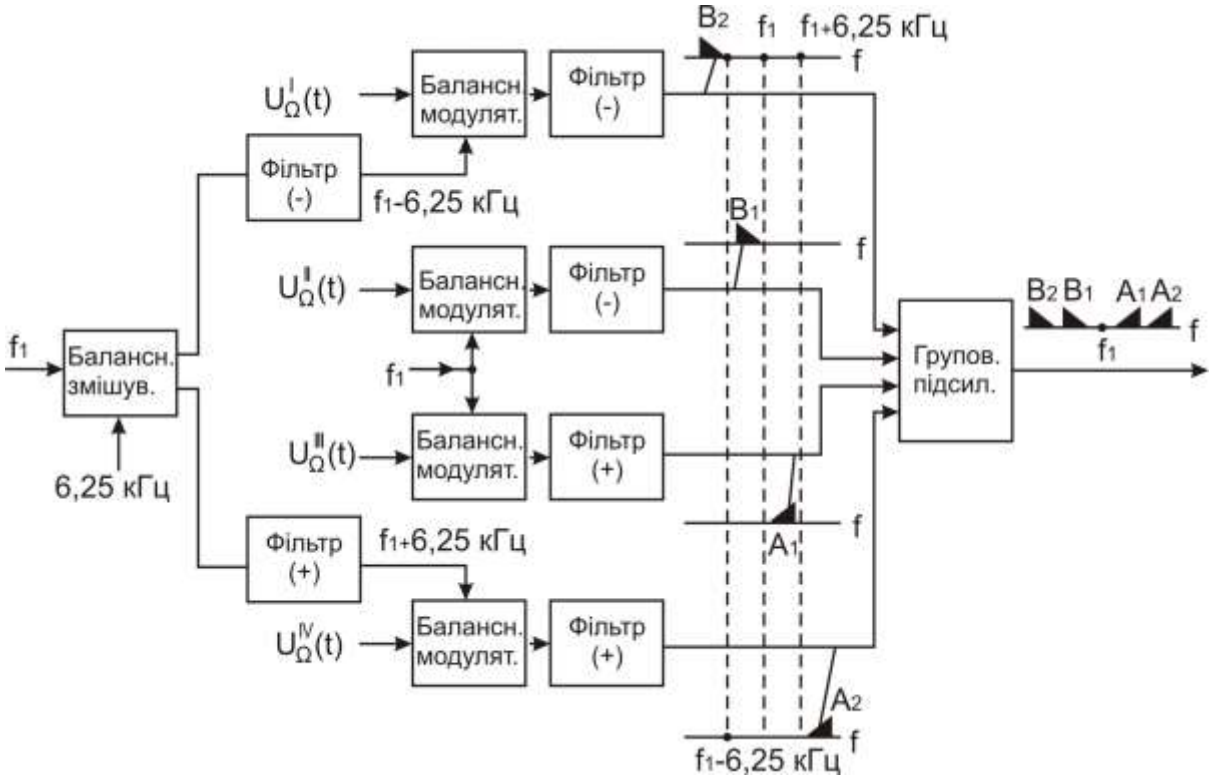

Рис. 2.15. Схема формування односмугових сигналів в чотириканальному односмуговому передавачі для міжнародних зв'язків

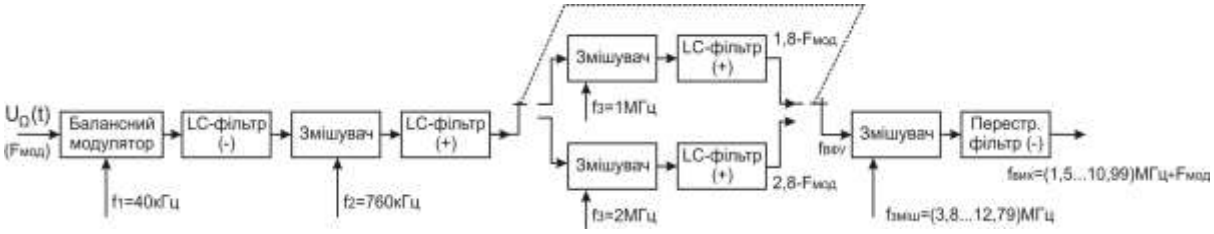

Рис. 2.16. Принцип формування та перенесення односмугового сигналу в діапазон робочих частот для радіостанції Р-130

Рис. 2.17. Принцип формування та перенесення односмугового сигналу в діапазон робочих частот для радіостанції Р-143

2.2.4. Кутова модуляція

2.2.4.1. Загальні відомості про кутову модуляцію

Повідомлення може бути передане по радіоканалу за допомогою зміни кожного з параметрів несучого коливання. Нехай як несуче коливання виступає гармонійне (2.1):

$$U(t) = U_н \cos\varphi(t), \tag{2.12}$$

де $U_н$ – амплітуда несучого коливання; $\varphi(t)$ – миттєвий фазовий кут (поточна фаза коливання).

За визначенням частота є швидкістю зміни фази

$$\omega(t) = \frac{\partial\varphi(t)}{\partial t}. \tag{2.13}$$

Тоді

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t)dt \tag{2.14}$$

(постійна інтегрування $\varphi(t_0)$ прийнята рівною нулю).

При кутовій модуляції можливі два різновиди зміни фазового кута $\varphi(t$) відповідно зі зміною модулюючого сигналу.

При частотній модуляції (ЧМ) за законом модулюючого сигналу $U_\Omega(t)$ змінюється миттєва частота

$$\omega_{чи}(t) = \omega_н + \Delta\omega(t) = \omega_н + K_{чм}U_\Omega(t), \tag{2.15}$$

де $K_{чм}$ – коефіцієнт пропорційності між змінами миттєвої частоти $\Delta\omega(t)$ й модулюючим сигналом $U_\Omega(t)$.

На рис. 2.18 показано графіки, які ілюструють процес частотної модуляції.

При відсутності модулюючого сигналу частота несучого коливання залишається постійною і рівною $\omega_н$, а фаза змінюється з часом лінійно:

$$\varphi(t) = \omega_н t.$$

При фазовій модуляції (ФМ) за законом модулюючого сигналу $U_\Omega(t)$ змінюється (відносно значення $\omega_н(t)$) миттєва фаза

$$\varphi_{фм} = \omega_н t + \Delta\varphi(t) = \omega_н t + K_{фм} U_\Omega(t), \qquad (2.16)$$

де $K_{фм}$ – коефіцієнт пропорційності між зміною фази $\Delta\varphi(t)$ й модулюючим сигналом $U_\Omega(t)$.

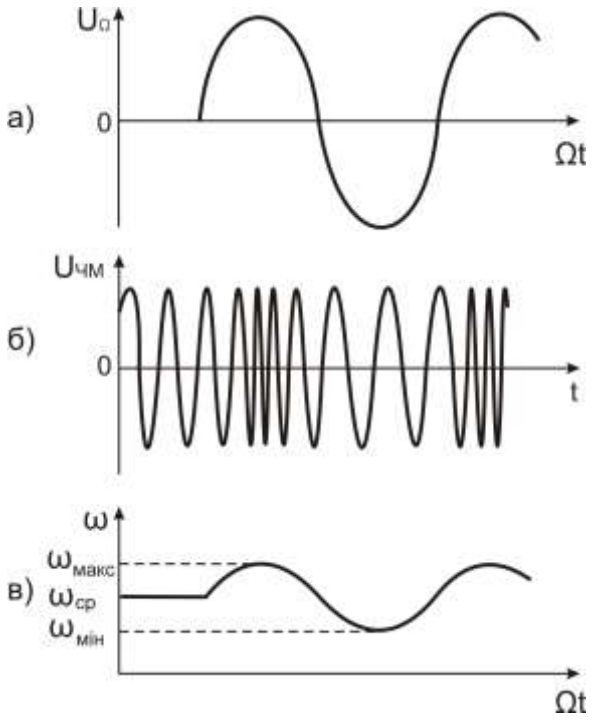

Рис. 2.18. Графіки, які пояснюють процес частотного модулювання: форма модулюючого сигналу (а), форма ЧМ коливань (б), характер зміни частоти (в)

Підстановкою (2.15) в (2.14) і далі в (2.12) одержимо вираз для частотно-модульованого коливання

$$U_{чм} = U_н \cos\left[\omega_н t + K_{чм} \int_0^t U_\Omega(t)\right]. \qquad (2.17)$$

Після підстановки (2.16) в (2.12) вираз для фазо-модульованого сигналу приймає вид

$$U_{фм}(t) = U_н \cos\left[\omega_н t + K_{фм} U_\Omega(t)\right]. \qquad (2.18)$$

Із порівняння (2.17) і (2.18) видно, що при фазовій модуляції фаза модульованого коливання змінюється лінійно з модулюючою функцією, а при частотній – лінійно з інтегралом модулюючої функції. Це означає, що якщо проінтегрувати модулюючу функцію $U_\Omega(t)$, і отриманим коливанням промодулювати несуче коливання по фазі, то отримаємо частотно-модульований сигнал.

Аналогічно, якщо продиференціювати модулюючу функцію, і отриманим коливанням здійснити частотну модуляцію, то вийде фазо-модульований сигнал.

Таким чином *для одержання сигналів з кутовою модуляцією можна використовувати один і той самий пристрій: або частотний або фазовий модулятор.*

При випробуваннях і регулюванні апаратури найбільш часто використовується гармонійний модулюючий сигнал

$$U_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t. \tag{2.19}$$

Після підстановки (2.19) в (2.15), отримаємо

$$\omega_{чм}(t) = \omega_{н} + K_{чм} U_{\Omega} \cos \Omega t = \omega_{н} + \Delta\omega_{дев} \cos \Omega t, \tag{2.20}$$

де $\Delta\omega_{дев} = K_{чм} U_{\Omega}$ *називається девіацією частоти*.

Згідно (2.17)

$$\begin{aligned} U_{чм}(t) &= U_{н} \cos\left[\omega_{н} t + \frac{K_{чм} U_{\Omega}}{\Omega} \sin \Omega t \right] = \\ &= U_{н} \cos\left[\omega_{н} t + \frac{\Delta\omega_{дев}}{\Omega} \sin \Omega t \right] = U_{н} \cos\left[\omega_{н} t + \Delta\varphi_{дев}^{чм} \sin \Omega t \right], \end{aligned} \tag{2.21}$$

де $\Delta\varphi_{дев}^{чм} = \dfrac{\Delta\omega_{дев}}{\Omega}$ називається девіацією фази при ЧМ. Підстановка (2.19) в (2.18) дає

$$U_{фм}(t) = U_{н} \cos\left[\omega_{н} t + K_{фм} U_{\Omega} \cos \Omega t \right] = U_{н} \cos\left[\omega_{н} t + \Delta\varphi_{дев}^{фм} \cos \Omega t \right], \tag{2.22}$$

де $\Delta\varphi_{дев}^{фм} = K_{фм} u_{\Omega}$ називається девіацією фази при ФМ.

З (2.12) і (2.22) видно, що девіація фази є найбільша зміна фази коливання, викликана модулюючим сигналом. Величина *девіації фази визначає завадостійкість модему.* Цю величину прийнято називати *індексом кутової модуляції.*

Таким чином, для ЧМ $\Delta\varphi_{дев} = \dfrac{\Delta\omega_{дев}}{\Omega} = \dfrac{K_{чм} U_{\Omega}}{\Omega}$, а для ФМ $\Delta\varphi_{дев} = K_{ФМ} U_{\Omega}$.

Наведені залежності підказують способи одержання ЧМ сигналу за допомогою фазового модулятора й одержання ФМ сигналу за допомогою частотного модулятора. Так, для одержання ЧМ сигналу за допомогою фазового модулятора останній необхідно модулювати коливаннями, амплітуда яких зменшується з ростом Ω (що досягається, наприклад, постановкою перед фазовим модулятором інтегруючого чотириполюсника, який є амплітудно-частотним коректором).

Для одержання ФМ сигналу за допомогою частотного модулятора останній необхідно модулювати коливаннями, амплітуда яких лінійно росте з ростом Ω (що досягається, наприклад, постановкою перед частотним модулятором ланцюга, що диференціює).

Амплітуда ЧМ і ФМ коливань повинна бути постійною.

Згідно (2.14) при множенні частоти в *S* раз відбувається множення в S раз і миттєвої фази. Тому *при пропусканні сформованого ЧМ або ФМ коливання через множник частоти індекс кутової модуляції зростає пропорційно коефіцієнту множення.*

Структура спектрів сигналів ЧМ і ФМ істотно відрізняється від структури спектрів сигналів амплітудної модуляції.

Для визначення спектрального складу ЧМ і ФМ коливань необхідно розкласти функції (2.21) і (2.22) у ряд Фур'є. В обох випадках розкладання буде аналогічним в силу аналогічності співвідношень (2.21) і (2.22). Так, при розкладанні (2.21) у ряд одержимо

$$U_{чм}(t) = U_н \sum_{n=-\infty}^{+\infty} I_n(m_{чм}) \cos\left[(\omega_н + n\Omega)t\right]. \qquad (2.23)$$

В отриманому виразі враховано відоме співвідношення між функціями Бесселя першого роду:

$$I_{-n} = -I_n \text{ при } n - \text{непарне}$$
$$I_{-n} = I_n \text{ при } n - \text{парне}$$

Функції Бесселя для $n = 0...6$ представлені на рис. 2.19.

Отже, спектр ЧМ і ФМ коливань складається з несучої з амплітудою $U_н I_0$ й нескінченного числа пар бічних частот, що розміщених від несучої на відстані $F, 2F, 3F...$, де $F = \dfrac{\Omega}{2\pi}$ – частота модулюючого гармонійного коливання.

Амплітуди несучої й бічних частот визначаються значеннями функції Бесселя при заданому $m_{чм}(\Delta\varphi_{дев})$.

Оскільки амплітуда огинаючої ЧМ (і ФМ*)* коливання в процесі модуляції залишається незмінною, то загальна потужність несучого й всіх бічних частотних компонентів залишається рівною потужності немодульованих коливань. Із графіків рис. 2.19 видно, що в процесі модуляції, тобто при зміні $m_{чм}$, амплітуда кожної зі складових спектра, у тому числі й амплітуда несучої $U_н I_0$ змінюється. Це означає, що *в зміні кожної складової спектра ЧМ (ФМ) сигналу міститься інформація про передане повідомлення.* У процесі модуляції відбувається перерозподіл загальної потужності між кожною зі складових спектра.

При $m_{чм} << 1$ бічні складові малі в порівнянні з амплітудою несучої, а несуча змінюється при зміні $m_{чм}$ дуже слабко. Тому завадостійкість вузькосмугового ЧМ (ФМ) модему буде малою. Навіть при слабких перешкодах вірогідність передачі повідомлення буде низькою. Із цієї причини прагнуть будувати ЧМ-модеми з $m_{чм} > 1$.

З ростом $m_{чм}$, варто враховувати в спектрі ЧМ коливання більшу кількість складових (див. рис. 2.19); необхідна смуга для ЧМ сигналу розширюється. Це є плата за збільшення завадостійкості. Однак амплітуди бічних складових спектра ЧМ коливання зменшуються зі збільшенням номера *n* і при $n \geq \Delta\varphi_{дев} = m_{чм}$ стають менше 15% амплітуди немодульованої несучої $U_н$, а енергія, яка переноситься ними, становить менше 3%. Настільки малими складовими практично можна зневажити.

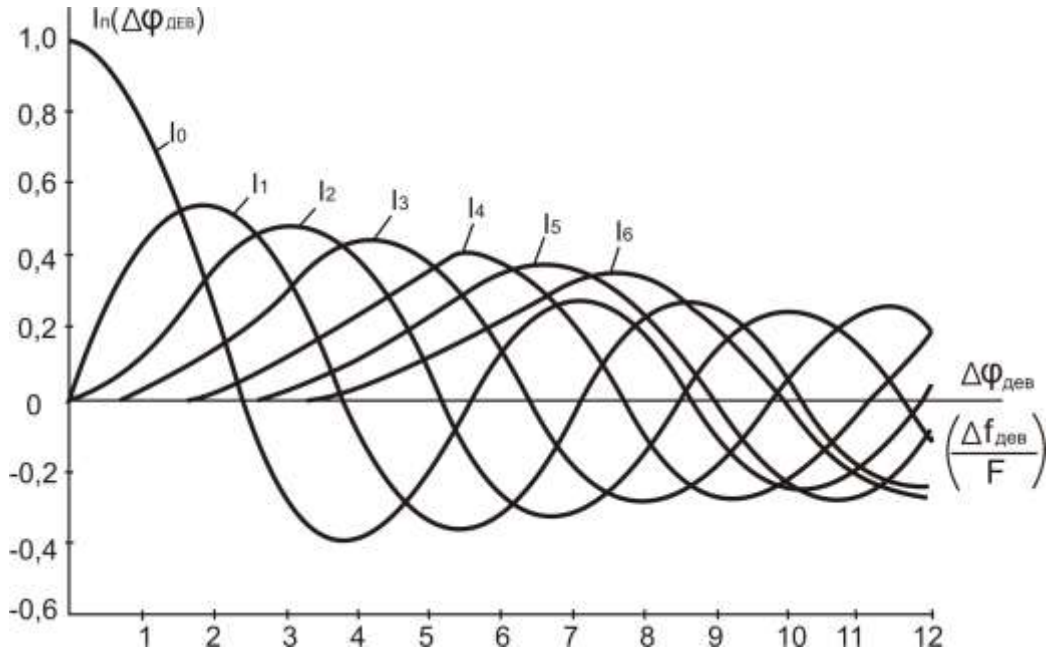

Рис. 2.19. Складові ЧМ (ФМ) коливань [1]

Якщо враховувати коливання бічних складових спектра ЧМ (ФМ) сигналу, амплітуди яких перевищують 1% від амплітуди немодульованої несучої $U_н$, то порядок найвищої складової $n_{макс}$ може бути визначений по наближеній емпіричній формулі Е. І. Панаєва

$$n_{макс} \approx 1 + m_{чм} + \sqrt{m_{чм}}.$$

При цьому ширина спектра складе

$$2n_{макс} \cdot F = 2F(1 + m_{чм} + \sqrt{m_{чм}}). \qquad (2.24)$$

У цьому випадку смуга ЧМ сигналу виявляється не нескінченної, а штучно обмеженою й цілком визначеною кількісно. Подібне обмеження

приводить до спотворень переданої інформації. Якщо вимоги по спотвореннях не дуже строгі, то смугу ЧМ сигналу можна ще більше звузити за рахунок обліку складових з рівнем перевищуючим не 1%, а, наприклад, 5...10% від $U_н$. В останньому випадку ширина спектру може бути отримана з наближеного співвідношення

$$2n_{макс} \cdot F \approx 2F(1+m_{чм}).$$

Якщо $m_{чм} >> 1$, то ширина смуги спектра складе

$$2n_{макс}F \approx 2m_{чм} \cdot F = 2\frac{\Delta f_{дев}}{F}F = 2\Delta f_{дев},$$

тобто дві девіації частоти.

Скориставшись залежностями $\Delta\varphi_{дев}$ від U_Ω і Ω та графіками рис. 2.19, можна оцінити залежність ширини спектру ЧМ (або ФМ) сигналів при зміні амплітуди й частоти модулюючого коливання.

Звичайно, смуга, яка займається спектром сигналу з кутовою модуляцією, повинна бути погоджена зі смугою пропускання приймача кореспондента.

У радіозв'язку МНС використається ЧМ із $m_{чм} > 1$. Найчастіше $\Delta f_{дев} = 4...7$ кГц. Для верхньої частоти модулюючого сигналу $F_{макс} = 3,4$ кГц індекс модуляції складає $m_{чм} = 1,4...2$. Тому ширина спектра виявляється більшою, ніж при амплітудній модуляції, тим більше, при односмуговій передачі. Це може привести до більшої уразливості ЧМ коливань з боку селективних завмирань при зв'язку іоносферною хвилею, ніж при АМ. Крім того, більш широкий спектр ЧМ коливань скорочує число одночасно працюючих радіостанцій у відведеному інтервалі робочих частот $f_{мін}...f_{макс}$.

В зв'язку із цим застосування ЧМ для радіотелефонного зв'язку виявляється доцільним лише на частотах вище 20 МГц.

Найбільше поширення одержав *прямий спосіб* формування *ЧМ сигналів*, коли під впливом модулюючого коливання змінюється частота коливань автогенератора.

Всі інші способи формування ЧМ сигналів називаються непрямими.

При прямому способі змінюється або індуктивність L_K контуру автогенератора (наприклад, за допомогою реактивної лампи, фероваріометру), або ємність C_K (за допомогою реактивної лампи, варикапу тощо).

Еквівалентна ємність $\Delta C_{дев}$ або $\Delta L_{дев}$, вносимі частотним модулятором в контур, у більшості випадків набагато менші величин L_K і C_K. Тому для розрахунку зміни власної частоти автогенератора при модуляції можна скористатися відомою формулою [1], справедливо для малих змін параметрів контуру:

$$\frac{\Delta f_{дев}}{f} = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta C_{дев}}{C_к} + \frac{\Delta L_{дев}}{L_к} \right). \qquad (2.25)$$

Залежно від призначення й типу пристрою, де використовується ЧМ, до схем формування ЧМ сигналів пред'являються різні вимоги.

2.2.4.2. Основні вимоги до частотних модуляторів

Частотним модулятором називається пристрій, за допомогою якого здійснюється зміна частоти генерованих коливань за законом модулюючого сигналу.

До частотних модуляторів висуваються наступні найбільш важливі вимоги.

1. Висока стабільність середньої (несучої) частоти модулюємого генератора.
2. Сталість девіації частоти $\Delta f_{дев}$ в будь-якій точці інтервалу робочих частот передавача $f_{мін} \dots f_{макс}$ (рис. 2.20). Дана характеристика знімається при постійній частоті F і амплітуді U_Ω модулюючого сигналу.

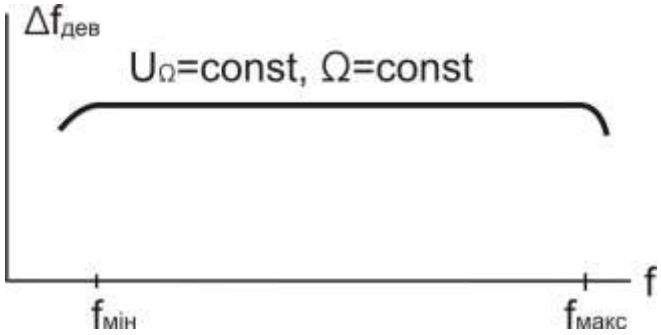

Рис. 2.20. Характеристика сталості девіації частоти $\Delta f_{дев}$ в будь-якій точці інтервалу робочих частот передавача $f_{мін} \dots f_{макс}$

3. Збереження пропорційності між відхиленням частоти й модулюючої функції тобто *лінійність модуляційної характеристики* у всьому інтервалі можливих значень модулюючої функції від нуля до максимального значення (рис.2.21). Характеристики знімаються при постійній модулюючій частоті F на будь-якій робочій частоті f. З виразу (2.25) видно, що для зміни частоти по лінійному закону $\Delta f_{дев} = kU_\Omega$ достатньо змінювати по цьому ж закону величину $\Delta C_{дев}$ та (або) $\Delta L_{дев}$.
4. Незмінність амплітуди високочастотних коливань є перевагою ЧМ сигналів, що дозволяє ефективно використовувати тракт посилення передавача й застосовувати обмеження (як захід підвищення

перешкодозахищеності) у приймачі кореспондента. Наявність паразитної амплітудної модуляції в ЧМ сигналі неминуче приводить до втрати тим чи іншим чином цих переваг, а також до появи відмітних ознак передавача. Тому рівень паразитної модуляції, який неминуче супроводжує формування ЧМ сигналів по будь-якому способу, *нормується*.

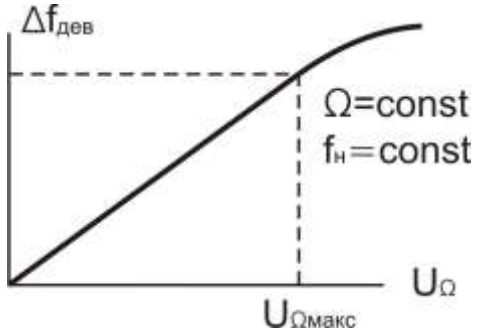

Рис. 2.21. Характеристика лінійності модуляційної характеристики у всьому інтервалі можливих значень модулюючої функції

5. На перший погляд здавалася б природною ще одна вимога до частотних модуляторів – незалежність девіації частоти $\Delta f_{дев}$ від частоти модулюючих коливань F (рис. 2.22, суцільна лінія).

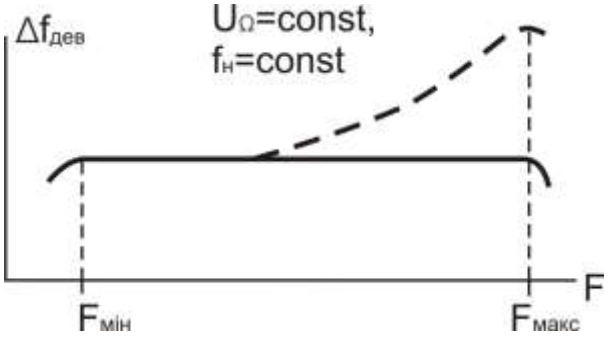

Рис. 2.22. Частотні характеристики частотного модулятора

Проте це не так. При $\Delta f_{дев} = const$ величина $m_{чм}$ змінюється зворотньо пропорційно частоті модулюючого коливання

$$m_{чм} = \frac{K_{чм} u_{\Omega}}{2\pi F}. \qquad (2.26)$$

При зміні F від 0,3 до 3,4 кГц індекс модуляції змінюється більше ніж в 11 разів:

$$\frac{m_{чм}\left(F_{макс}\right)}{m_{чм}\left(F_{мін}\right)} = \frac{F_{макс}}{F_{мін}} = \frac{3,4}{0,3} > 11.$$

Оскільки завадостійкість ЧМ-модему визначається не величиною $\Delta f_{дев}$, а величиною індексу модуляції $m_{чм}$, то чим більший $m_{чм}$, тим краща перешкодозахищеність. Відповідно до співвідношення (2.26) перешкодозахищеність верхніх модулюючих частот F гірша, ніж нижніх. Це пояснюється, з одного боку, тим, що для української мови верхні частоти мають меншу інтенсивність (див. рис. 2.1). З іншого боку, як уже згадувалося, до складу демодулятора входить обмежувач, у якому потужні сигнали нижніх модулюючих частот придушують більш слабкі сигнали верхніх частот. Тому на передавальному кінці з метою усунення цієї диспропорції штучно збільшують $m_{чм}$ для верхніх частот.

Це здійснюється постановкою перед частотним модулятором коригувальних ланцюгів, завдяки чому результуюча частотна характеристика частотного модулятора має підйом величиною 6 дБ на октаву (рис. 2.22, пунктир).

У цьому випадку величина $m_{чм} = \frac{\Delta f_{дев}}{F}$ виявляється приблизно постійною для всіх модулюючих частот F: на виході частотно-модульованого генератора отримуються фазомодульовані коливання.

Технічна реалізація ЧМ за допомогою лампових схем у радіостанціях МНС у наш час застосування не знаходить. Тому нижче, для прикладу, розглядаються прямі способи формування ЧМ сигналів за допомогою варикапів.

2.2.4.3. Формування частотно-модульованих сигналів за допомогою варикапів

Принцип дії частотних модуляторів з використанням замкненого діода заснований на відомій властивості *p-n* переходу змінювати величину ємності під дією прикладеної напруги. Характер залежності ємності варикапу від величини зворотної напруги показаний на рис.2.23,б.

Одна зі схем частотного модулятора з використанням варикапа представлена на рис.2.23,а.

У цій схемі на варикапі діє три напруги: високочастотна U_{ω} (створюється автогенератором), модулююча U_{Ω} та постійна $E_{зм}$ (визначає робочу точку на характеристиці варикапу). Варикап включений *паралельно* до контуру автогенератора через ємність зв'язку $C_{зв}$. Перевагою частотних модуляторів на варикапах є малі маса й габарити, а також знижене, в порівнянні з ламповими модуляторами, споживання енергії.

Недоліком варикапів є явно виражена нелінійність вольтфарадної характеристики та, отже, більша нелінійність модуляційної характеристики модулятора на варикапі. Однак на вольтфарадній характеристиці можна вибрати таку ділянку зміни напруг, де ємність змінюється за законом, близьким до лінійного.

Обраній ділянці відповідає цілком визначена зміна ємності $\Delta C_{дев}$, яка визначає згідно (2.25) необхідну величину девіації $\Delta f_{дев}$. Якщо величина $\Delta f_{дев}$ буде потрібна більшою, будуть потрібні більші величини $\Delta C_{дев}$, що можливо здійснити або вибором іншої ділянки на вольтфарадній характеристиці з більшою крутизною $\frac{\Delta C}{\Delta E}$, або розширенням раніше обраної ділянки. І те й інше супроводжується зростанням нелінійності модуляційної характеристики. Таким чином, важливою вимогою до модулятора на варикапі є припустимий рівень нелінійних спотворень, оцінюваний відносною величиною другої K_2 і третьої K_3 гармонік модулюючого коливання, виникаючих на нелінійному реактивному елементі. Звичайно обмежуються нормуванням величини K_2, яка не повинна перевищувати значення 5...10%.

Розглянемо один з варіантів схеми модулятора, представлений на рис. 2.23.

Величина девіації частоти може бути визначена зі співвідношення

$$\frac{\Delta f_{дев}}{f} = \frac{\Delta \omega_{дев}}{\omega} = \frac{p^2}{2} \cdot \frac{\Delta C_{дев}}{C_к},$$

де: $p = \frac{U_\omega}{U_к}$ – коефіцієнт включення варикапу в контур автогенератора; $\Delta C_{дев}$ – змінювана частина ємності варикапу; $C_К$ – ємність контуру автогенератора, у яку входить перерахована постійна складова ємності варикапу. Або інакше:

$$\Delta \omega_{дев} = \frac{p^2}{2} \cdot \frac{\Delta C_{дев}}{C_к} \omega. \qquad (2.27)$$

Якщо контур автогенератора перестроюється індуктивністю ($C_к = const$), то отримана формула відбиває зміну девіації частоти в інтервалі робочих частот частотно-модулюючого генератора (ЧМГ).

Якщо контур автогенератора перестроюється ємністю ($L_k = const$), то величина останньої буде залежати від робочої частоти

$$C_k = \frac{1}{\omega^2 L_k}.$$

Після підстановки цього значення C_k в (2.27) одержимо

$$\Delta \omega_{дев} = \frac{p^2}{2} \Delta C_{дев} L_к \omega^3. \qquad (2.28)$$

Таким чином девіація частоти росте з ростом робочої частоти автогенератора. Виникає необхідність вирішення завдання по забезпеченню сталості девіації частоти в інтервалі робочих частот ЧМГ. Варіант перестроювання автогенератора індуктивністю є більш кращим, оскільки згідно (2.27) девіація частоти росте зі зростанням лише лінійно, тоді як при перебудові ємністю – за кубічним законом (2.28).

Один з варіантів частотного модулятора з послідовним включенням варикапу в контур представлений на рис.2.24.

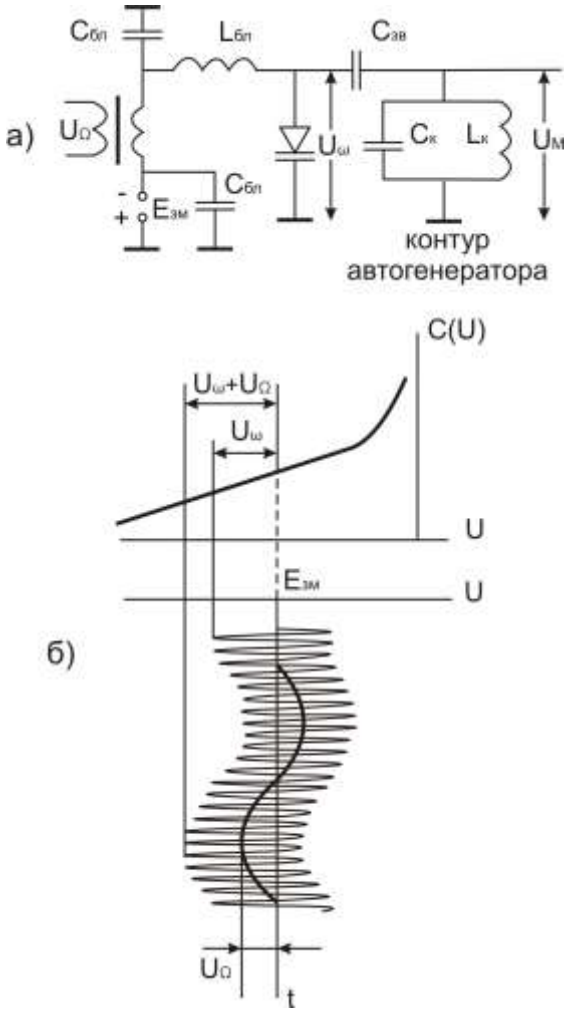

Рис. 2.23. Схема частотного модулятора з використанням варикапа (а) та характер залежності ємності варикапу від величини зворотної напруги (б)

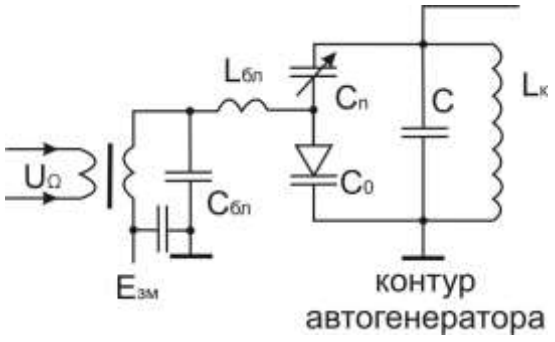

Рис. 2.24. Схема частотного модулятора з послідовним включенням варикапу в контур

У цій схемі контур автогенератора містить постійну ємність C і перестроюється за допомогою конденсатора C_n. Послідовно зі C_n включено варикап частотного модулятора. Можна показати, що в цій схемі з ростом частоти f величина $\Delta f_{дев}$ зменшується.

При змішаному включенні двох (або декількох) варикапів у контур ЧМГ один варикап включається в контур автогенератора паралельно, а інший – послідовно. Завдяки цьому межі зміни величини діапазону частот стають меншими (рис.2.25,б).

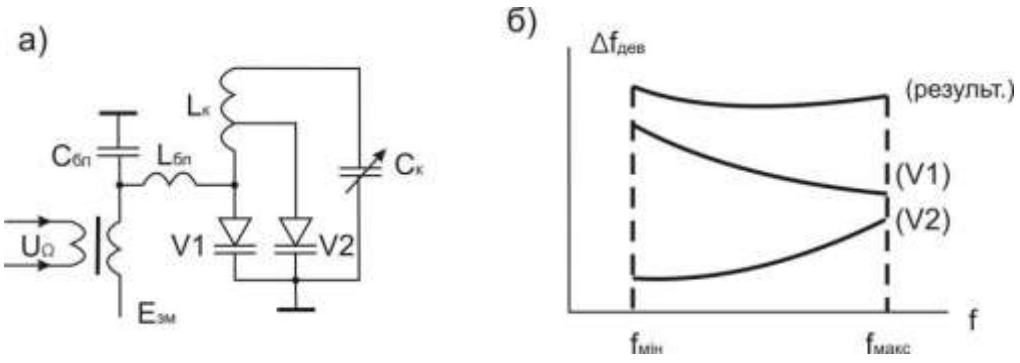

Рис. 2.25. Схема частотного модулятора зі змішаним включенням варикапів (а) та зміни величини діапазону частот при змішаному включенні двох варикапів у контур ЧМГ (б)

Один з варіантів частотного модулятора зі змішаним включенням варикапів, реалізованих у малопотужних радіостанціях метрового діапазону, представлений на рис.2.25,а. Особливістю цієї схеми є послідовне включення варикапа не в ємнісну, а в індуктивну гілку контуру автогенератора.

Отже, всім розглянутим схемам властивий загальний недолік – мінливість девіації частоти частотно-модульованого діапазонного автогенератора. Причина цього явища криється згідно (2.27) у необхідності перестроювання автогенератора. З (2.27) видно, що найкращим способом забезпечення сталості девіації частоти $\Delta f_{дев}$ є застосування непестроюваного ($f = const$) модулюємого по частоті автогенератора. Отримання інтервалу робочих частот $f_{макс} \ldots f_{мін}$ можна здійснити за допомогою інтерполяційної схеми, представленої на рис. 2.26.

Саме так здійснюється формування сигналів ЧМ в діапазоні частот у збудниках ВО-64 (ВО-71) і «Лазурь».

Вище було показано, що при прямих способах ЧМ одержання модульованих коливань здійснюється включенням у коливальну систему автогенератора керованого реактивного елемента, на який подається модулюючий сигнал. Було показано, що включення варикапів у контур у значному ступені знижує стабільність частоти генерованих коливань. Якщо в контур ЧМГ додатково будуть включені варикапи для

електронного перестроювання генератора, то стабільність частоти понизиться ще більше.

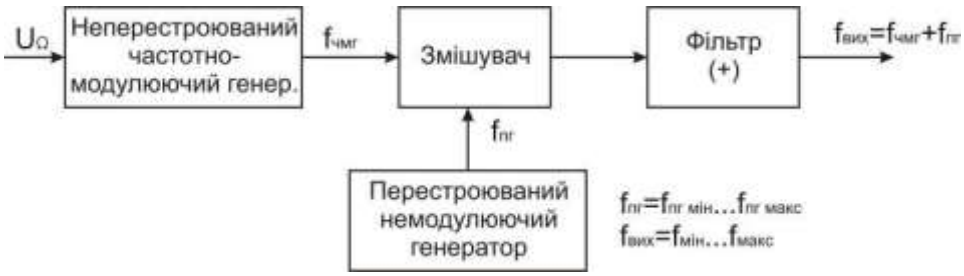

Рис. 2.26. Отримання інтервалу робочих частот $f_{макс}...f_{мін}$ за допомогою інтерполяційної схеми

Тому в ЧМГ повинні бути вжиті заходи для стабілізації параметрів як самого автогенератора, так і частотного модулятора. До них відносяться наступні:

1. Всі заходи параметричної стабілізації (особливо стабілізація напруги джерела зсуву для варикапів).
2. У деяких схемах з метою підвищення стабільності частоти передбачається кільце автоматичного підстроювання частоти модулюємого генератора по частоті більш високостабільного генератора (рис. 2.27).

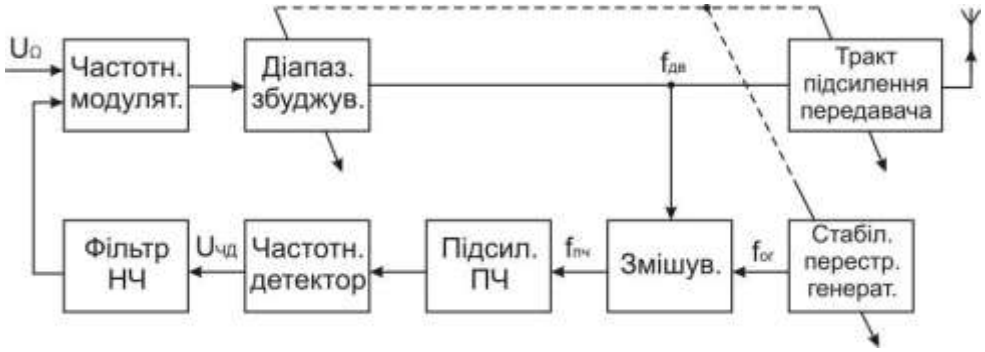

Рис. 2.27. Схема з кільцем автоматичного підстроювання частоти модулюємого генератора по частоті більш високостабільного генератора

У цій схемі заслуговують бути відзначеними вимоги до смуги фільтра НЧ. Смуга пропускання цього фільтра повинна бути в інтервалі від нуля до частоти зрізу $F_{ср}$ меншої найнижчої моделюючої частоти $F_{мін} : F_{ср} < F_{мін}$. В іншому випадку разом зі зменшенням нестабільності частоти $f_{ДВ}$ система ЧАПЧ буде зменшувати девіацію частоти. Таким чином, система АПЧ повинна реагувати лише на повільні зміни частоти.

3. Вплив дестабілізуючих факторів на частоту ЧМГ може бути в значному ступені ослаблений, якщо як коливальна система модулюючого генератора застосувати кварцовий резонатор. Одна зі

схем ЧМГ малопотужної радіостанції Р-148 представлена на рис. 2.28.

Зміна частоти коливань здійснюється за допомогою двох варикапів, включених послідовно. Недолік кварцових ЧМГ полягає в тому, що в них керування частотою кварцового автогенератора забезпечується в дуже вузьких межах, звичайно $\frac{\Delta f}{f} < 10^{-3}$.

Для одержання необхідної девіації частоти кварцовий автогенератор доводиться проектувати на робочу частоту

$$f > \frac{\Delta f_{дев}}{10^{-3}}$$

При $\Delta f_{дев} \approx (4...7)$ кварцовий ЧМГ повинен працювати на частотах порядку (10...15) МГц.

У схемі звичайно передбачається індуктивність ($L14$) для розширення інтервалу зміни частоти генератора й коректування номінальної частоти резонатора. Для одержання $\Delta f_{дев}$ в деякому діапазоні частот $f_{мін} \dots f_{макс}$ використовується схема рис 2.26. На рис. 2.29 представлено схему кварцового ЧМГ радіостанції Р-159.

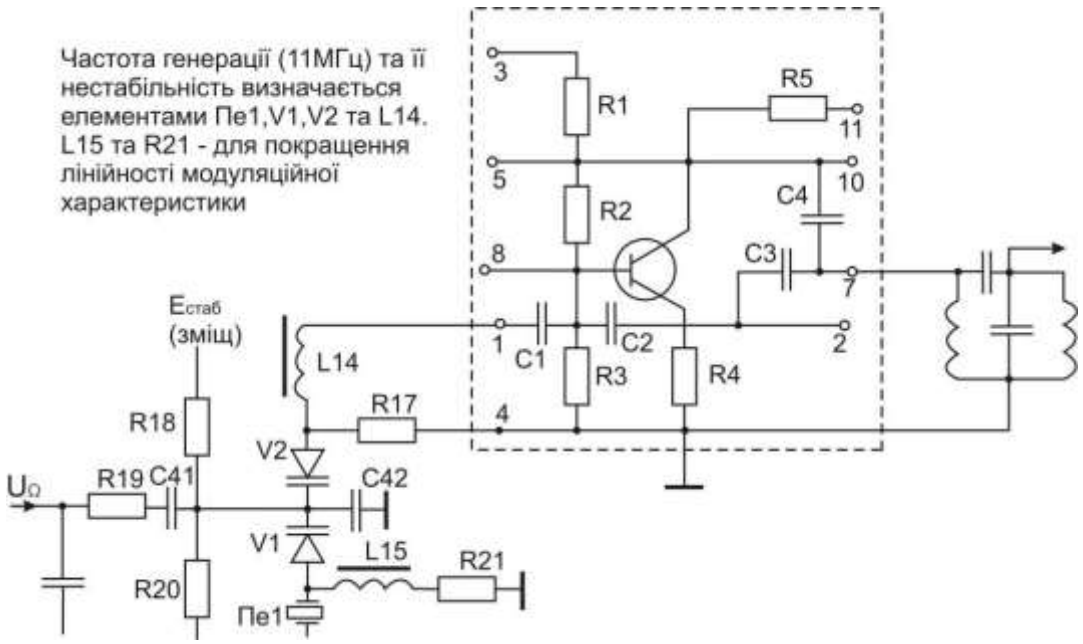

Рис. 2.28. Схема ЧМГ малопотужної радіостанції Р-148

Найкращу стабільність середньої (несучої) частоти частотно-модульованого коливання забезпечують схеми, у яких реалізуються непрямі способи формування ЧМ коливань.

При непрямих способах формування ЧМ сигналів використовується принципова можливість одержання сигналів ЧМ за допомогою фазових модуляторів. Керування фазою коливань здійснюється в каскадах, що

йдуть за автогенератором. Тому фазовий модулятор на відміну від частотного не погіршує стабільність середньої частоти ФМ (ЧМ) коливання.

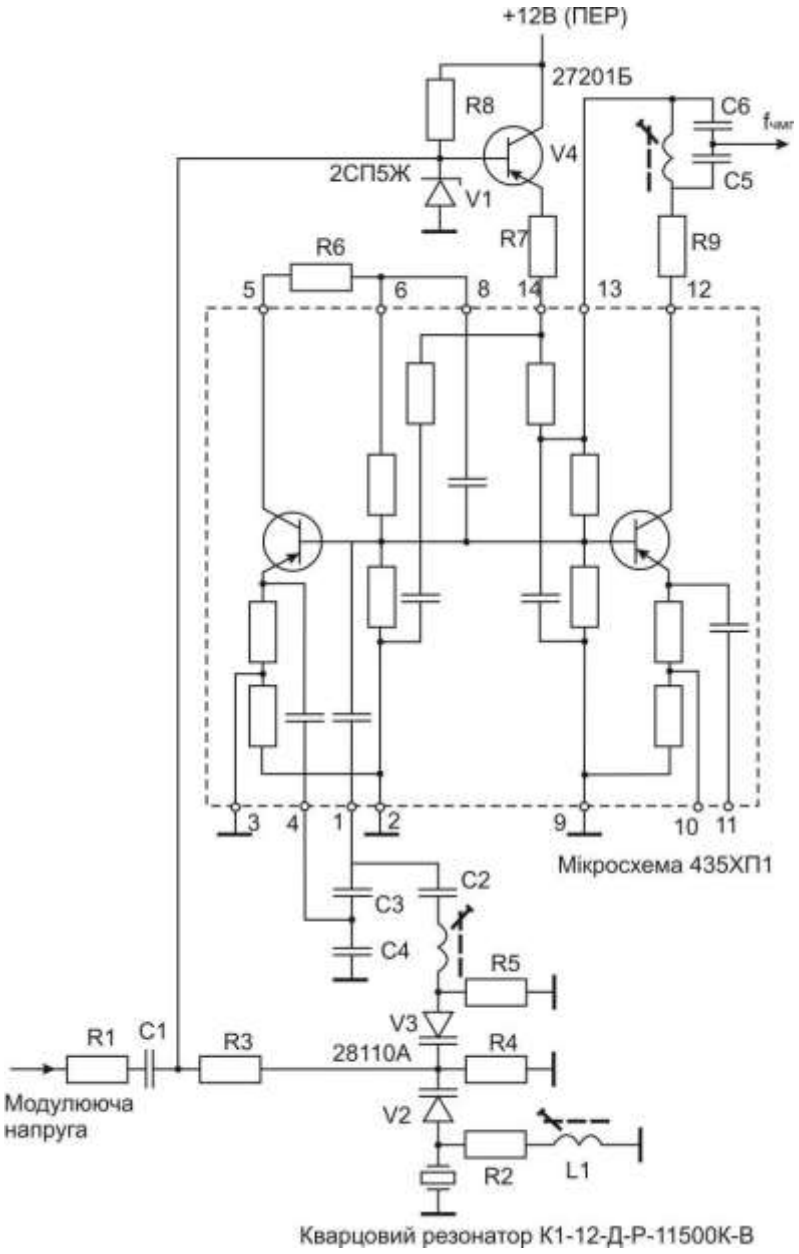

Рис. 2.29. Схема кварцового ЧМГ радіостанції Р-159

Частина 2. Радіоприймальні пристрої радіостанцій оперативно-рятувальної служби

2.3. Призначення, класифікація та основні характеристики радіоприймальних пристроїв

Радіоприймальним пристроєм (РПрП) називається пристрій, призначений для вловлювання, перетворення й використання електромагнітної енергії радіосигналів, що приходять у пункт прийому.

Структурна схема радіоприймального пристрою показана на рис.2.30.

Рис. 2.30. Структурна схема радіоприймального пристрою

Антенно-фідерний пристрій (АФП) забезпечує вловлювання енергії електромагнітного поля й перетворення її в електричні сигнали.

Радіоприймач перетворює електричні сигнали у форму, необхідну для приведення в дію кінцевого пристрою.

Кінцевий пристрій (КП) забезпечує використання електромагнітної енергії прийнятих радіосигналів, тобто відтворення з них інформації.

РПрП, які використовуються підрозділами МНС України за принципами будови, схемними і конструктивними рішеннями істотно відрізняються від радіомовних. Для них не відіграє головної ролі якість звучання, декоративне оформлення, але принципово важливі такі оперативно-технічні показники, як:

– діапазон робочих частот, що повинен відповідати призначенню радіоприймача, виходячи з вимог по забезпеченню радіозв'язку управління підрозділами ОРС ЦЗ;

– висока частотна точність, що забезпечує безпошукове встановлення зв'язку і його ведення без підстроювання протягом тривалого часу;

– висока завадостійкість прийому, тобто здатність забезпечувати прийом радіосигналів з необхідною якістю при впливі різних перешкод;

– висока експлуатаційна надійність.

Характерною рисою РПрП, які використовуються підрозділами МНС України є їхня конструктивна будова на основі уніфікованих приладів, блоків і функціональних вузлів. Це дозволяє компонувати радіоприймачі з різними характеристиками відповідно до конкретного призначення. Радіоприймальні пристрої класифікуються по призначенню, діапазону частот, класу прийнятих сигналів, способу обробки сигналів, типу використовуваних електронних приладів, конструктивному виконанню. Можна виділити також ряд інших ознак класифікації.

Радіоприймальні пристрої можуть використатися або автономно як самостійні елементи в складі прийомних радіоцентрів, або в складі радіостанцій середньої й великої потужності. У малопотужних радіостанціях РПрП як правило, є конструктивно нероздільною частиною з передавачами.

Залежно від призначення радіоприймальних пристроїв АФП й КП можуть підключатися безпосередньо до радіоприймачів, або виноситися за їхні межі. Наприклад, у малопотужних портативних радіостанціях як антена, так і мікротелефонна гарнітура підключаються безпосередньо до відповідних виходів (входів) на корпусі прийомопередавача. Для бортових радіостанцій характерне дистанційне підключення прийомних антенних пристроїв за допомогою спеціальних фідерів. Кінцеві пристрої підключаються до виходів радіоприймачів дистанційно за допомогою спеціальних кабельних ліній дистанційного управління (ДУ).

Залежно від класифікації РПрП розрізняються по технічним характеристикам. Технічні характеристики поділяються на дві групи: електричні та конструктивно-експлуатаційні. До конструктивно-експлуатаційних характеристик відносяться стійкість і надійність роботи, зручність керування, масо-габаритні показники, вартість апаратури. Дана група характеристик перебуває в прямій залежності, а часом і в суперечності з електричними характеристиками.

Електричні характеристики є основними технічними характеристиками, оскільки визначають якість роботи РПрП.

2.3.1. Основні технічні характеристики радіоприймальних пристроїв

Першою функцією РПрП є виділення корисного сигналу з ЕРС, що наводиться в антені сигналом і перешкодами. Здатність РПрП виділяти корисний сигнал називається вибірковістю.

Частотна вибірковість здійснюється шляхом настроювання вибіркових систем на частоту прийнятого радіосигналу.

Часова вибірковість, як правило, застосовується при прийманні імпульсних сигналів. Сенс часової вибірковості полягає в запиранні одного з каскадів радіоприймача на час пауз між імпульсами сигналу. Реалізація частотної та часової вибірковості здійснюється основним елементом РПрП – радіоприймачем.

Просторова вибірковість здійснюється за допомогою АФУ за рахунок застосування декількох прийомних антен, рознесених у просторі відносно радіоприймача. Це забезпечує виділення більшої ЕРС корисного сигналу в одній з антен при багатопроменевому поширенні радіохвиль.

Друга функція РПрП полягає в детектуванні радіосигналу. Процес детектування полягає у перетворенні модульованого радіосигналу в низькочастотний звуковий або відеосигнал, який змінюється за законом модуляції.

Третя функція РПрП полягає в посиленні сигналу до рівня, що забезпечує нормальну роботу КП.

Властивість радіоприймача підсилювати сигнал пов'язана з поняттям його чутливості, тобто здатності забезпечувати нормальний прийом слабких сигналів. Зі збільшенням посилення корисного сигналу, як правило, зростає чутливість радіоприймача.

Розглянемо основні технічні характеристики радіоприймача, які забезпечують виконання його функцій.

Чутливість радіоприймача

Існують різні види чутливості радіоприймача.

Найбільше широко використають поняття чутливості, обмеженої шумами або реальної чутливості.

Реальна чутливість визначається мінімальним рівнем радіосигналу на вході радіоприймача при заданому відношенні рівня корисного сигналу й перешкоди (шуму) і заданому рівні сигналу на виході.

Реальна чутливість кількісно оцінюється мінімальним значенням ЕРС E_{ao} або потужності P_{ao} в антені, при яких забезпечується необхідне перевищення сигналу над перешкодою й необхідний рівень вихідного сигналу, що відповідає нормальній роботі КП. Таким чином, реальна чутливість повинна враховувати власний шум радіоприймача, а також перевищення сигналу над перешкодою на його виході

$$P_{ao} = kT_o N \Delta F_{np} n, \qquad (2.29)$$

де k – постійного Больцмана; T_o – абсолютна температура (K); N – коефіцієнт шуму радіоприймача; ΔF_{np} – смуга пропускання радіоприймача; n – відношення потужностей сигналу й перешкоди на виході радіоприймача.

Чим менше значення n при необхідному значенні P_c, тим вища чутливість радіоприймача. Рівність рівнів сигналу й перешкоди $(n-1)$ визначає граничну чутливість радіоприймача. При відсутності зовнішніх перешкод сигнал повинен дорівнювати або перевищувати рівень власних шумів радіоприймача $(P_c \geq P_{шс})$.

Коефіцієнтом шуму радіоприймача N є відношення потужності шуму на виході лінійного тракту при $T - 293K$ до потужності шуму джерела сигналу

$$N = \frac{P_{швих}}{P_{швх}} \ . \qquad (2.30)$$

Коефіцієнт шуму кількісно показує відносне зменшення значення n у процесі проходження радіосигналу в тракті прийому:

$$N = \frac{\left(\frac{P_c}{P_ш}\right)_{вх}}{\left(\frac{P_c}{P_ш}\right)_{вих}}. \qquad (2.31)$$

Вибірковість радіоприймача

При розгляді вибіркових властивостей РПрП основну увагу будемо звертати на *частотну вибірковість.*

Частотна вибірковість визначається здатністю радіоприймача виділяти корисний радіосигнал із сукупності прийнятих радіосигналів (перешкод), що надходять на його вхід з різними частотами несучих коливань.

Таким чином, частотна вибірковість заснована на розходженні частот сигналу й перешкод.

Існують різні характеристики вибірковості.

Односигнальна вибірковість (ОСВ) визначає вибіркові властивості радіоприймача при впливі на його вхід коливання однієї частоти. Односигнальна вибірковість оцінюється залежністю ЕРС в антені, необхідної для створення на виході приймача сигналу, що забезпечує нормальну роботу КП, від величини розстроювання Δf_p між частотою радіосигналу f_c й частотою настроювання радіоприймача $f_0\left(\Delta f_p = f_c - f_0\right)$. Для зручності оцінки вибірковості, замість величини ЕРС часто використовують величину ослаблення сигналу D, обумовлену як відношення ЕРС в антені E_a при розстроюванні до чутливості приймача E_{a0} (рис. 2.31).

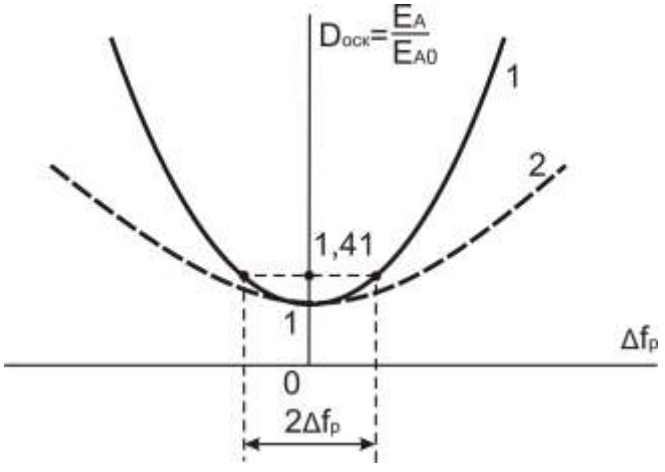

Рис. 2.31. Характеристика односигнальної вибірковості радіоприймача [1]

Ця залежність називається характеристикою вибірковості радіоприймача. Характеристика вибірковості показує, у скільки разів необхідно збільшити напругу сигналу на вході радіоприймача при його розстроюванні, щоб сигнал на виході залишався постійним.

Для найпростішого вибіркового ланцюга ослаблення радіосигналу оцінюється величиною

$$D = \sqrt{1+\sigma^2},$$

де: $\sigma = \frac{1}{d_э}\left(\frac{f_0 \pm f_p}{f_0} - \frac{f_0}{f_0 \pm f}\right)$ – узагальнене розстроювання вибіркового ланцюга; f_0, $d_э$ – відповідно, резонансна частота й еквівалентне загасання вибіркового ланцюга.

Оскільки характеристика вибірковості визначає ослаблення радіосигналів, несучі частоти яких відмінні від частоти настроювання радіоприймача, але відносно близькі (сусідні) до неї, то прийнято говорити, що вона визначає вибірковість по сусідньому каналі.

Оскільки реальний радіосигнал займає певну смугу частот, то основна його частина повинна проходити через приймач без істотних спотворень. Звідси надмірне звуження резонансної характеристики вибіркового ланцюга неприпустиме через небезпеку частотних спотворень радіосигналу.

Мінімальна ширина характеристики вибірковості, що обмежена ослабленням на рівні $D = 1,41$ разів по напрузі, називається *смугою пропускання радіоприймача*. Поліпшення вибірковості радіоприймача при заданій смузі пропускання $\Delta F_{пр} = 2\Delta f_{f1,41}$ можливе шляхом наближення характеристики вибірковості до прямокутної форми. Звідси часто вибіркові властивості характеризуються коефіцієнтом прямокутності:

$$K_n = \frac{2\Delta f_{p100}}{2\Delta f_{p1,41}} = \frac{\Delta F_з}{\Delta F_n}, \qquad (2.32)$$

де $\Delta F_з$ – смуга завад (ширина характеристики вибірковості на рівні $D = 100$); ΔF_n – смуга пропускання радіоприймача.

У загальному випадку форма резонансної характеристики з погляду вибірковості тим краща, чим ближча K_n до одиниці.

Багатосигнальна вибірковість (БСВ) визначає вибіркові властивості радіоприймача при впливі на його вхід декількох коливань із різними частотами.

Під БСВ розуміється здатність радіоприймача приймати корисний сигнал заданого рівня, що збігається по частоті із частотою настроювання приймача при впливі перешкоди, що перебуває поза смугою пропускання ΔF, і рівнем, достатнім для переведення радіоприймача в нелінійний режим роботи.

Багатосигнальна вибірковість оцінюється шириною смуги частот, за межами якої відношення рівнів $\frac{E_{an}}{E_{a0}}$ буде забезпечувати припустимі

спотворення сигналу. Наприклад, на рис. 2.32 представлені криві БСВ при впливі перешкод, що призводять до блокування радіоприймача.

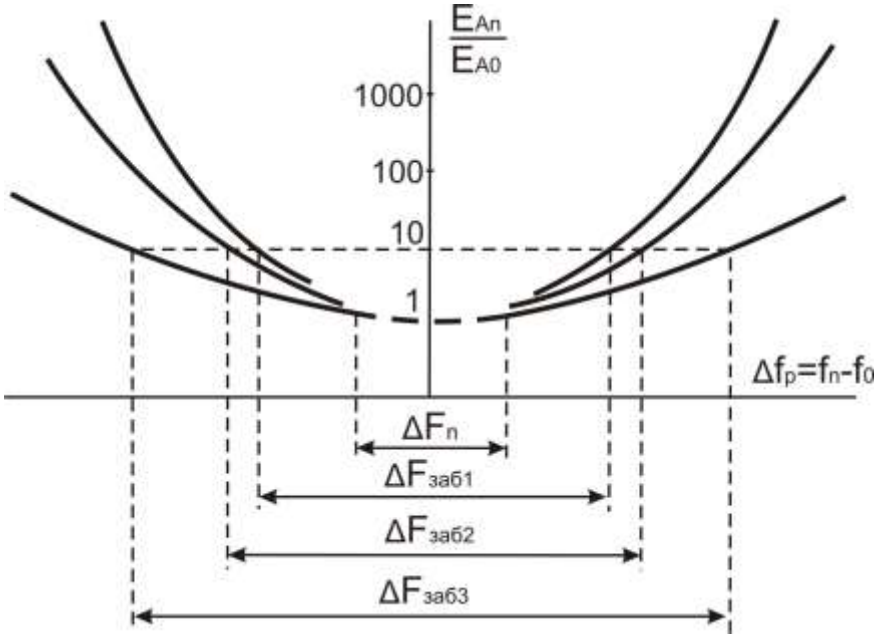

Рис. 2.32. Криві БСВ під впливом перешкод, що призводять до блокування радіоприймача

Діапазон робочих частот

Діапазоном робочих частот радіоприймача називається ділянка радіочастотного спектру $f_{мін}...f_{макс}$ в межах якого при перебудові зберігаються основні якісні показники радіоприймача.

Кількісно діапазон робочих частот оцінюється *коефіцієнтом перекриття по діапазону*

$$K_f = \frac{f_{макс}}{f_{мин}}. \qquad (2.33)$$

Сучасні радіоприймачі будуються як зі змінним настроюванням у широкому діапазоні частот (зв'язні, навігаційні, радіомовні), так і постійним, фіксованим настроюванням (радіолокаційні, радіотелеметричні).

Використовуваний діапазон частот сучасних зв'язних радіоприймачів лежить у межах від десятків кілогерців до сотень мегагерц.

Динамічний діапазон

Динамічний діапазон радіоприймача представляє інтервал рівнів сигналу на вході радіоприймача, у межах якого забезпечується обробка сигналу із припустимими спотвореннями.

Кількісно динамічний діапазон визначається як відношення максимального рівня вхідного сигналу в полосі пропускання до граничної чутливості радіоприймача

$$D_д = 20l\,\mathrm{g}\frac{E_{амакс}}{E_{a0}}. \qquad (2.34)$$

Частотна точність

Частотна точність радіоприймача визначається відносною $\frac{\Delta f}{f}$ або абсолютною Δf погрішністю між значеннями частоти радіосигналу й частотою настроювання радіоприймача $\Delta f = f_c - f_0$.

Дана характеристика обумовлює виконання однієї з основних вимог, пропонованих до сучасних радіозасобів – забезпечення зв'язку без пошуку й підстроювання. Частотна точність залежить від:

- точності шкальних пристроїв;
- стабільності гетеродинів;
- точності настроювання резонансних систем;
- старіння елементів, що визначають частоту настроювання вибіркових ланцюгів.

Якість відтворення

Якість відтворення радіоприймача визначається ступенем спотворення прийнятих сигналів. Розрізняють нелінійні, амплітудно-частотні й фазо-частотні спотворення сигналів.

Нелінійні спотворення викликаються нелінійністю амплітудних характеристик елементів радіоприймача. Їх дія полягає у появі вищих гармонік модулюючого сигналу на виході радіоприймача.

Кількісно нелінійні спотворення оцінюються коефіцієнтом гармонік

$$K_г = \frac{\sqrt{U_{m2\Omega}^2 + U_{m3\Omega}^2 ... U_{mn\Omega}^2}}{U_{m\Omega}}, \qquad (2.35)$$

де $U_{m\Omega}, U_{m2\Omega}, U_{m3\Omega}$ – амплітуди гармонік модулюючої напруги у вихідному сигналі радіоприймача.

Амплітудно-частотні спотворення визначаються зміною коефіцієнта підсилення радіоприймача для різних модулюючих частот.

Кількісно амплітудно-частотні спотворення оцінюються коефіцієнтом $M_н$ для нижчої моделюючої частоти $M_в$ і для вищої моделюючої частоти:

$$M_н = \frac{K_{макс}}{K_{FH}}; M_в = \frac{K_{макс}}{K_{FB}}, \qquad (2.36)$$

де $K_{макс}$ – найбільший коефіцієнт підсилення радіоприймача на одній із частот модуляції прийнятого сигналу; K_{FH}, K_{FB} – коефіцієнти підсилення відповідно на нижчій і вищій частотах модуляції.

Для радіозв'язку досить використовувати діапазон частот модуляції від 300 до 3000 Гц при нерівномірності посилення (6...10) дБ. У системі

міжнародного й внутрішнього зв'язку ширина модулюючих частот одного каналу становить 0,3...3,4 кГц.

У системах імпульсного радіозв'язку в радіотелеметрії діапазон модулюючих частот виміряється тривалістю випромінюваних імпульсів і лежить у межах від сотих часток до одиниць мегагерц.

Фазо-частотні спотворення є результатом нелінійності фазової характеристики радіоприймача.

Під фазовою характеристикою радіоприймача (лінійного тракту) розуміється залежність кута зсуву по фазі вихідної напруги від частоти гармоніки змінної вхідної напруги. Особливо небезпечні фазові спотворення при прийманні телеграфних радіосигналів, тому що вони сильно спотворюють форму огинаючої. При телефонному радіозв'язку вони несуттєві, тому що вухо людини не реагує на зміни фази прийнятих сигналів.

2.4. Структурні схеми радіоприймальних пристроїв

2.4.1. Радіоприймач прямого посилення

Структурна схема найпростішого радіоприймача, що реалізує функції вибірковості, посилення й детектування радіосигналів, показана на рис.2.33.

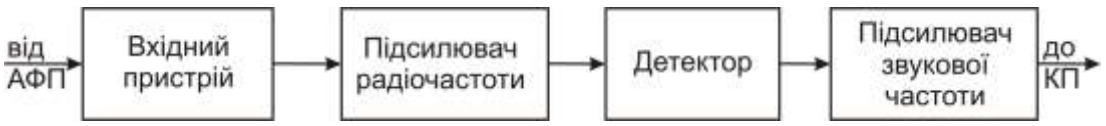

Рис. 2.33. Структурна схема найпростішого радіоприймача

Вхідний пристрій (ВП) слугує для попередньої частотної вибірковості радіосигналу. Вхідний пристрій може складатися з одного або декількох зв'язаних контурів. Перебудова ВП зв'язкових радіоприймачів здійснюється, як правило, за допомогою конденсаторів змінної ємності.

Підсилювач радіочастоти (ПРЧ) призначений для вибірковості й посилення радіосигналу до рівня при якому можливо якісне детектування. Перестроювання підсилювача радіочастоти здійснюється подібно перестроювання ВП і, як правило, об’єднана з нею.

Детектор (Д) забезпечує перетворення модульованого радіосигналу в низькочастотний сигнал, що змінюється за законом модулюючого сигналу.

Підсилювач звукової частоти (ПЗЧ) призначений для посилення низькочастотного (звукового) сигналу до величини, що забезпечує нормальну роботу КП. Підсилювачі звукової частоти радіоприймачів можуть виконувати також функції низькочастотної вибірковості. Особливістю радіоприймачів прямого посилення є виконання функції вибірковості посилення й детектування безпосередньо на частоті радіосигналу, без попереднього перетворення останнього. Одним з

варіантів приймача прямого посилення є детекторний радіоприймач (перший у світі детекторний приймач був побудований А.С.Поповим в 1895 р.). У детекторному приймачі відсутні елементи ПРЧ і ПВЧ .

Перевагою радіоприймача прямого посилення є простота будови й висока частотна точність. До основних недоліків радіоприймача відносяться низька чутливість і вибірковість. Реалізація високої чутливості шляхом багаторазового посилення радіосигналу неможлива внаслідок небезпеки порушення ПРЧ. Погані вибіркові властивості радіоприймача викликані складністю одержання необхідних коефіцієнтів прямокутності вибіркових ланцюгів ВП й ПРЧ. Високі значення $\frac{P_c}{P_n}$ на виході радіоприймача не забезпечуються. Це визначає низьку вибірковість по сусідньому каналу, а також низьку реальну чутливість радіоприймача.

Істотним недоліком радіоприймача прямого посилення є також значні зміни чутливості й вибірковості при перестроюванні в широкому діапазоні частот (нерівномірність посилення й вибірковості).

2.4.2. Радіоприймач супергетеродинного типу

При розгляді радіоприймача прямого посилення було показано, що основною причиною, що обмежує одержання високих технічних характеристик, зокрема чутливості й вибірковості, була обробка сигналу на частоті радіосигналу.

У процесі вдосконалення радіоприймача прямого посилення була запропонована (американським інженером Армстронгом в 1919 році) структурна схема, що забезпечує основну обробку радіосигналу на зниженій частоті. Структурна схема такого радіоприймача відрізняється від радіоприймача прямого посилень наявністю додаткових елементів – перетворювача частоти й підсилювача проміжної частоти (рис. 2.34).

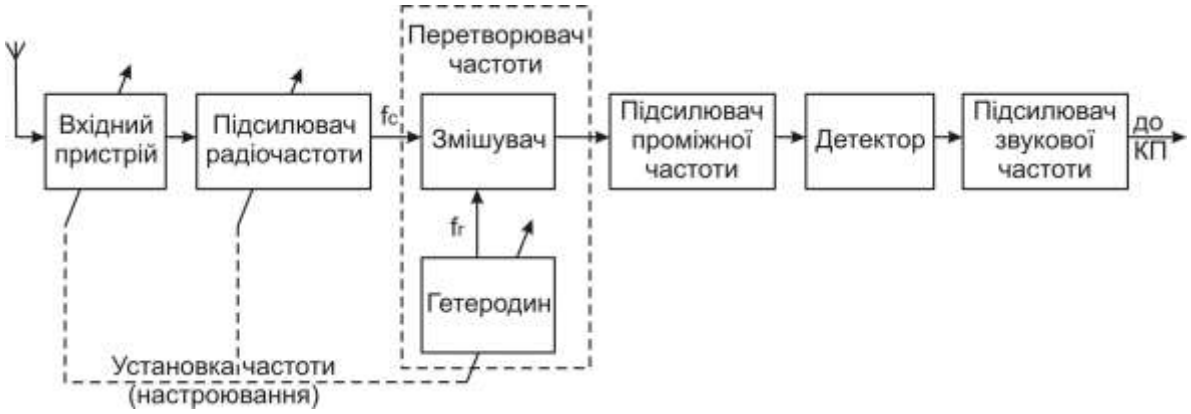

Рис 2.34. Структурна схема радіоприймача супергетеродинного типу

Перетворювач частоти (ПЧ) слугує для перетворення частоти радіосигналу f_c в іншу, як правило, більш низьку проміжну частоту $f_{пч}$.

Підсилювач проміжної частоти (ППЧ) слугує для посилення сигналу проміжної частоти до величини, що забезпечує нормальну роботу детектора.

Перетворювач частоти радіоприймача включає два принципово нових елементи – гетеродин і змішувач.

Гетеродин є генератором, що виробляє гармонійні коливання радіочастоти $f_г$, які відрізняються від частоти сигналу $f_с$ на величину проміжної частоти $f_{пч}$. При цьому частота коливань гетеродина може бути або вищою, або нижчою частоти сигналу. Проміжна частота при цьому формується відповідно за правилом:

$$а);\ f_{пч} = f_г - f_с \quad б)\ f_{пч} = f_с - f_г . \qquad (2.37)$$

Умови (2.37а,б) відповідно визначають або верхнє або нижнє настроювання радіоприймача. Змішувач (Зм) є нелінійним елементом. При впливі на його вхід коливань із радіочастотами $f_с$ та $f_г$ в активному елементі проходить складний струм, що має у своєму складі відповідні частоти гетеродина, сигналу, сумарних і різницевих частот сигналу й гетеродина, а також їхніх гармонік

$$nf_с \pm mf_г , \qquad (2.38)$$

де c, m – цілі числа, включаючи нуль.

Виділення сигналу різницевої проміжної частоти $f_{пч}$ здійснюється фільтром, який розміщено на виході змішувача.

У тракті посилення проміжної частоти здійснюється основна обробка сигналу, тобто забезпечується основне посилення й основна вибірковість. Попередня ж обробка радіосигналу здійснюється на частоті радіосигналу в елементах ВП та ПРЧ.

Сполучене перестроювання елементів радіоприймача ВП, ПРЧ і гетеродина дозволяє забезпечити сталість значень $f_{пч}$. При виконанні цієї умови значення проміжної частоти $f_{пч}$ не залежить від частоти настроювання радіоприймача. Завдяки цьому як навантаження ПЧ і ППЧ можуть використовуватися складні вибіркові ланцюги, які не перестроюються, з коефіцієнтом прямокутності ($K_П$) що наближається до одиниці.

Цим забезпечується висока вибірковість по сусідньому каналу, і більші значення відношення $\frac{P_с}{P_п}$ на виході радіоприймача. Підвищення стійкості підсилення на проміжній частоті $f_{пч}$ дозволяє застосовувати багатокаскадні схеми ППЧ і, таким чином, забезпечувати високу реальну чутливість радіоприймача. Сталість значення $f_{пч}$ забезпечує одержання

високих показників по рівномірності посилення й вибірковості радіоприймача в широкому діапазоні частот.

2.4.3. Функціональна схема радіоприймача супергетеродинного типу. Побічні канали прийому

Функціональна схема радіоприймача супергетеродинного типу представлена на рис. 2.35.

Рис. 2. 35. Функціональна схема радіоприймача супергетеродинного типу

Сучасні радіоприймачі супергетеродинного типу забезпечують виконання трьох основних функцій обробки радіосигналів – вибірковість, посилення та детектування.

На відміну від радіоприймачів прямого посилення функції вибірковості й посилення виконуються у два етапи. На першому етапі реалізується попереднє посилення й вибірковість. Ця функція виконується елементами ВП, ПРЧ1, ПРЧ2. Для забезпечення високої стійкості посилення радіоприймачі містять, як правило, не більше двох каскадів підсилювачів радіочастоти.

Елементи радіоприймача ВП, ПРЧ1, ПРЧ2, що здійснюють попередню обробку сигналу радіочастоти, складають тракт радіочастоти – ТРЧ (раніше він називався преселектором).

Другий етап вибірковості й посилення здійснюється в тракті проміжної частоти (ТПЧ) за допомогою багатокаскадних підсилювачів проміжної частоти ППЧ. Функція перетворення частоти, виконується за допомогою змішувача й гетеродина, є допоміжною, і забезпечує досягнення основних технічних характеристик. Для поліпшення характеристик чутливості й вибірковості до складу радіоприймачів можуть входити кілька трактів перетворення частоти. У цьому випадку проміжні частоти розрізняються порядковим номером $f_{пч1}$, $f_{пч2}$ тощо.

Сукупність тракту радіочастоти й трактів проміжних частот часто називають загальним трактом прийому (ЗТП). Назва ЗТП визначається тим, що в ньому обробляються всі види сигналів, на прийом яких розрахований даний радіоприймач. Основною функцією ЗТП є частотний перенос прийнятого сигналу без порушення його структури з області радіочастот в область частот основного підсилювача й основної вибірковості, у якій його обробка (перетворення в первинний електричний сигнал) виявляється найбільш ефективною.

Тракт звукової частоти (ТЗЧ) включає детектор і підсилювач звукової частоти (ПЗЧ). Залежно від властивості радіоприймача приймати сигнали різних класів ТЗЧ може містити кілька різних детекторів. Це обумовило використання терміна *приватні тракти прийому* видів сигналів. Тут же здійснюється й виділення сигналів по низькій частоті.

Введення функції перетворення частоти поряд з позитивними якостями спричиняє також принципові недоліки радіоприймачів супергетеродинного типу.

Головним недоліком є наявність додаткових (побічних) каналів прийому. Так, якщо на вхід перетворювача частоти проникнуть коливання перешкод із частотою $f_{пч}$, то надалі вони будуть посилені нарівні з корисним сигналом. Така перешкода називається *перешкодою по проміжній частоті* $f_П = f_{пч}$.

Іншим побічним каналом прийому є *перешкода по дзеркальному каналу* (дзеркальна перешкода). Поява дзеркальної перешкоди визначається наявністю нелінійного елемента (змішувача), на входи якого подаються коливання сигналу f_c й гетеродина $f_г$. Умова (2.38) дозволяє забезпечити вибір різницевої проміжної частоти, наприклад $f_{пч} = f_г - f_c$. Якщо на вхід перетворювача частоти проникає сигнал перешкоди із частотою $f_п = f_г + f_{пч}$, то на виході перетворювача також з'явиться й буде виділено фільтром коливання проміжної частоти:

$$f_{пч} = f_П - f_г = f_г + f_{пч} - f_г. \qquad (2.39)$$

Вираз (2.39) дозволяє визначити місце розташування такої перешкоди відносно частоти сигналу

$$f_П = f_г + f_{пч} = f_{пч} + f_c + f_{пч} = f_c + 2f_{пч}. \qquad (2.40)$$

Таким чином, частота перешкоди $f_П$ відрізняється від частоти сигналу f_c на подвоєну проміжну частоту, симетрично (дзеркально) розташовану відносно частоти гетеродина (рис.2.36). Це й визначило назву дзеркальної перешкоди

$$f_{пз} = f_c + 2f_{пч}.$$

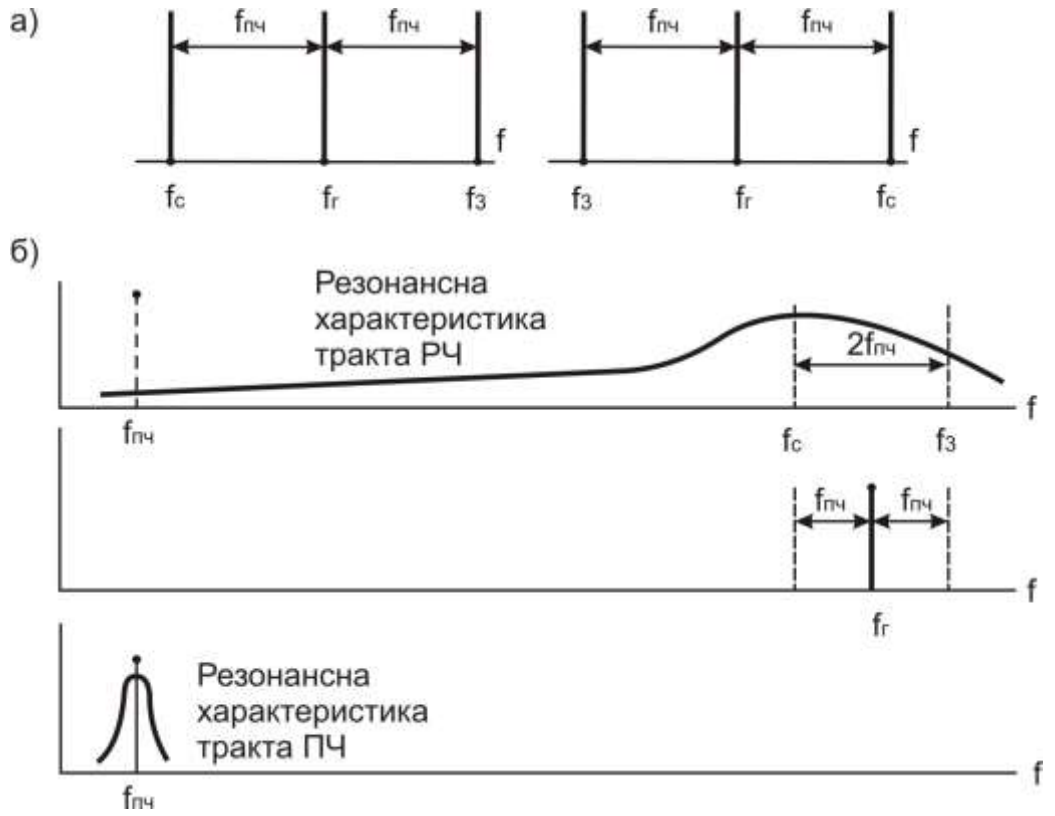

Рис. 2.36. Поява дзеркальної перешкоди в приймачі супергетеродинного типу

Іноді для істотного придушення дзеркальної перешкоди здійснюють сумарне перетворення за правилом (2.38). При цьому значення $f_{пч}$ підвищується. У цьому випадку дзеркальний канал значно віддаляється від основного каналу прийому.

Істотним недоліком радіоприймачів супергетеродинного типу є також більш низька стабільність проміжної частоти $f_{пч}$. Це визначається наявністю гетеродина. Через абсолютний відхід частоти гетеродина $\Delta f_г$ значення проміжної частоти радіоприймача може бути вище або нижче свого номінального значення

$$f_{пч} = f_г \pm \Delta f_г - f_с . \qquad (2.41)$$

Для забезпечення низького абсолютного або відносного відходу частоти гетеродина застосовуються спеціальні заходи стабілізації.

Введення додаткових функцій перетворення й посилення сигналу, застосування спеціальних заходів стабілізації частоти обумовило істотне збільшення складності побудови радіоприймачів супергетеродинного типу в порівнянні з радіоприймачами прямого посилення.

РОЗДІЛ 3. АНТЕНИ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У даному розділі коротко викладені основи теорії антен.

Антени використовуються для випромінювання та прийому електромагнітних хвиль. Відповідно до виконуваних функцій вони поділяються на передавальні та приймальні. По передавальній антені проходить змінний струм високої частоти, який підводиться фідером від радіопередавача, і в навколишньому просторі збуджуються електромагнітні хвилі. Принцип дії прийомної антени заснований на явищі електромагнітної індукції: під дією радіохвиль в антені наводиться ЕРС, внаслідок чого на вході приймача створюється змінна напруга. Властивості антен обернені, тому одна й та ж антена може бути використана й для передачі, і для прийому.

По спрямованості дії розрізняють антени ненаправленої дії й антени спрямованої дії. Перші випромінюють електромагнітну енергію в усіх напрямках однаково, друга група антен – в певному напрямку дають найбільше випромінювання. Строго кажучи, антен зовсім ненаправленої дії не існує, в тому чи іншому ступені будь-яка антена має спрямовані властивості.

3.1. Утворення електромагнітної хвилі

Відомо, що змінний струм у провіднику (струм провідності) викликає навколо себе змінне магнітне поле, що у свою чергу породжує електричний струм (так працюють всі генератори змінного струму).

Однак змінний електричний струм може протікати не тільки по провіднику, але й через діелектрик (як, наприклад, у звичайному конденсаторі між обкладинками). Такий струм називається струмом зсуву. Тобто через будь-який діелектрик (включаючи вільний простір) може протікати струм зсуву.

Дуже важливо, що в частині утворення навколо себе магнітного поля струм зсуву має ті ж властивості, що й звичайний струм провідності, що тече по провіднику [5].

Нехай у якомусь провіднику протікає змінний струм провідності. Він створює змінне магнітне поле, що у свою чергу утворить (але вже у вільному просторі, поряд із провідником) струм зсуву, який знову створює змінне магнітне поле (але вже в іншій точці простору, віддаленій від вихідного провідника). Надалі процес циклічно повторюється в областях простору, все більш віддалених від вихідного провідника. Це і є електромагнітна хвиля (ЕМХ).

Це означає, що *будь-який* провідник зі змінним електричним струмом *завжди* випромінює ЕМХ. ККД випромінювання залежить від розмірів і розташування провідника й може коливатися від незначних часток відсотка (провідник, у якого випромінювання ЕМХ є паразитним ефектом) майже до 100% (високоефективні антени).

Візьмемо плаский повітряний конденсатор із двох обкладинок і підключимо його до високочастотного генератора. Між обкладинками через діелектрик почне протікати струм зсуву. Оскільки середовище, що оточує конденсатор (теж діелектрик), має здатність проводити струм зсуву, то він буде частково відгалужуватися в навколишній простір (у вигляді ЕМХ).

Для створення практичного випромінювача ЕМХ необхідно, щоб частка пов'язаної з ним високочастотної (ВЧ) енергії (тобто енергії реактивної, що належить випромінювачу і не випромінюється в простір) була б мінімальна. Чим більше зв'язана (реактивна) енергія, тим гірше випромінювання, вищі втрати й менше смуга пропускання антени.

Розглянутий вище плаский конденсатор є дуже поганим випромінювачем ЕМХ. Пов'язана з ним реактивна енергія дуже велика – простір між обкладинками конденсатора має низький опір для струму зсуву і у навколишній простір (який має значно більший опір) майже нічого не відгалужується. Для збільшення опору току зсуву між пластинами конденсатора очевидним рішенням є значне збільшення відстані між ними. А для подальшого збільшення опору (тобто зменшення зв'язаної, реактивної енергії) струму зсуву необхідно максимально зменшити площу пластин таким чином, що залишаться лише тонкі провідники, які з'єднують залишки пластин з генератором ВЧ. Таким чином ми отримуємо антену – усім відомий диполь.

Поле навколо антени прийнято поділяти на дві зони: ***ближню*** (відстань до випромінювача менше, ніж $\lambda/2\pi$), і ***дальню,*** так звану хвильову (далі, ніж $\lambda/2\pi$). Поділ цей умовний – чіткої границі між цими зонами не існує, електромагнітне поле плавно змінює свої властивості між цими зонами.

У ближній зоні:

- Зосереджено пов'язану з випромінювачем реактивну енергію, яка не випромінюється в простір, а «плескається» навколо випромінювача.
- Напруженість електричного (E) і магнітного (H) полів (амплітуди і їхнє взаємне співвідношення) істотно залежить від конструкції антени (геометрії, розмірів, способу живлення) і незначно від параметрів навколишнього середовища.
- Напруженість E і H полів падає пропорційно квадрату відстані, тобто дуже швидко.
- Вектори H й E зсунуті один відносно одного на 90°. Це показник реактивності поля – різниця фаз в 90° означає реактивність і відсутність передачі активної потужності.

У ближній зоні, крім випромінюваної енергії, також зосереджена реактивна енергія, пов'язана з випромінювачем. Тому в ближній зоні (зоні індукції) можливі дуже високі значення напруженості поля, проте це не свідчить про ефективне випромінювання енергії. Це цілком може бути реактивна енергія випромінювача. Потрібно мати на увазі цю обставину,

особливо при аналізі вкорочених антен. Справа в тому, що з укороченням антени дуже швидко росте добротність антени (і відповідно падає смуга), а реактивна енергія ближнього поля прямо пропорційна добротності. Тому при однаковій потужності напруженість поля в ближній зоні вкороченої антени вища, ніж у повнорозмірної. Причому тим вища, чим коротша антена. На практиці підвищення реактивної енергії (тобто напруженості поля в ближній зоні) призводить, крім звуження смуги, ще й до підвищених втрат і відповідно до погіршення ефективності антени.

З відходом ЕМХ від випромінювача позаду залишається ближня зона з її реактивною енергією (яка не йде від антени й «плескається» навколо неї) і поле в дальній зоні стає звичайною ЕМХ із такими властивостями:

- Напруженість E і H полів падає прямо пропорційно відстані.
- Вектори E й H перебувають у фазі.
- Співвідношення амплітуд E і H не залежить від конструкції антени й визначається виключно властивостями середовища, у якому поширюється ЕМХ.

Між амплітудами E й H у дальній зоні існує зв'язок:

$$E = HW_C, \tag{3.1}$$

де W_C – хвильовий опір середовища, у якому поширюється хвиля (для вільного простору $W_C = 120\pi = 376$ Ом).

У ближній зоні властивості поля (амплітуди E й H, їхнє співвідношення, положення векторів E і H в просторі) в першу чергу залежать від типу антени (так, для малої магнітної рамки в ближній зоні переважає H, для короткого штиря – H). У певному сенсі, реактивна зона це невід'ємне продовження антени в простір. Це перехідна ділянка між металом антени та вільним простором.

У дальній зоні ЕМХ «відв'язується» від типу передавальної антени й стає уніфікованою. З інформації про випромінювач (крім напруженості поля) така хвиля несе лише поляризацію, тобто будь-яка антена (магнітна рамка, короткий штир, диполь тощо) у дальній зоні створює однакову ЕМХ (за виключенням напруженості й поляризації). Це дає можливість випромінювати-приймати ЕМХ будь-якими типами антен [6].

3.2. Параметри ЕМХ і середовища поширення

ЕМХ може поширюватися в будь-якому діелектрику (у тому числі і у вільному просторі). Діелектрик описується:

- Провідністю середовища σ, яке визначає активні втрати.
- Магнітною проникністю μ.
- Діелектричною проникністю ε.

Якщо параметри середовища, у якій поширюється ЕМХ, не залежать від напрямку, то таке середовище називають ізотропним (однаковим у всіх напрямках). А якщо залежать – анізотропним.

Якщо параметри середовища залежать від частоти, то таке середовище називають дисперсним (розсіюючим).

Іоносфера, яка визначає проходження радіохвиль, є анізотропним, дисперсним середовищем, параметри якого також змінюються в часі. Це забезпечує все різноманіття механізмів проходження радіохвиль (див. параграф 1.5).

У вільному просторі швидкість поширення ЕМХ v дорівнює швидкості світла c (299,793 тисяч км/с). У діелектрику v менше:

$$v = c/\sqrt{\mu\varepsilon}. \qquad (3.2)$$

Довжина хвилі λ – це мінімальна відстань між двома точками вздовж руху ЕМХ, у яких коливання мають однакову фазу.

$$\lambda = v/f. \qquad (3.3)$$

В чисельнику формули 3.3 не швидкість світла, а швидкість поширення ЕМХ v, яка змінюється в залежності від параметрів середовища. Тому довжина хвилі однієї й тієї ж частоти в різних середовищах різна.

Якщо діелектрик, у якому поширюється ЕМХ, має втрати (тобто його провідність $\sigma > 0$), то його діелектрична проникність стає комплексною:

$$\varepsilon' = \varepsilon - i60\lambda_0\sigma, \qquad (3.4)$$

де λ_0 – довжина хвилі тієї ж частоти у вакуумі.

У цьому випадку у формулу 3.2 потрібно підставляти модуль значення ε'. З цих формул відзначимо важливі для практики висновки. Вони стосуються середовищ із втратами (а реально це всі середовища, де поширюється ЕМХ).

1. Оскільки ε' залежить від λ_0, то в середовищі із втратами швидкість руху хвилі залежить від частоти. Це явище називається дисперсією й приводить до «розсипання» радіосигналів, що мають широкий спектр. Оптичний аналог – призма, що розщеплює світлову хвилю (теж ЕМХ) на кольори веселки.
2. Якщо уявна частина ε' набагато менша реальної (тобто $\varepsilon >> 60\lambda_0\sigma$), то таке середовище має властивості діелектрика. А якщо уявна частина ε' набагато більша реальної (тобто $\varepsilon << 60\lambda_0\sigma$), то таке середовище поводиться як провідник. Зверніть увагу – одне й те ж середовище (наприклад, ґрунт або іоносферний шар), при різних довжинах хвиль може поводитися і як діелектрик, і як провідник.

Доречно згадати, що відбиття від іоносфери середніх і коротких хвиль, і майже повна відсутність такого відбиття УКХ (параграф 1.5) саме й пояснюється формулою 3.4. Зі зменшенням довжини хвилі падає уявна частина ε', і вище певної частоти (так званої критичної, звичайно в межах 20...50 МГц) іоносфера поводиться вже не як відбиваючий провідник, а як діелектрик, що пропускає УКХ в космос.

Орієнтація в просторі вектора електричного поля E щодо напрямку руху ЕМХ називається ***поляризацією*** хвилі (див. параграф 1.4). Розрізняють вертикальну (V), горизонтальну (H) і обертову поляризації. У випадку V поляризації вектор E коливається в лише у вертикальній площині, у випадку H поляризації – лише в горизонтальній. Якщо присутні одночасно V й H компоненти поляризації, але з фазовим зміщенням, то вектор E буде описувати коло або еліпс. Уявіть звичайний механічний маятник на ниточці, що штовхнули одночасно у двох перпендикулярних площинах,— його вантаж буде описувати коло або еліпс, це механічний аналог обертової поляризації. Якщо ЕМХ рухається на нас, а вектор E обертається за годинникової стрілкою, то це прийнято називати поляризацією із правобічним обертанням. Обертова поляризація нерідко використовується на УКХ при зв'язках через супутники.

При відбитті від ідеальної плоскої провідної поверхні площина поляризації повертається на 90° (наприклад, з V в H). При відбитті від реальних нерівномірних за формою й параметрами середовищ поворот площини поляризації буде довільним.

3.3. Діаграма направленості

Важливим поняттям в антенній техніці є ***ізотропний випромінювач.*** Це антена, що випромінює рівномірно в усі сторони всю підведену до неї потужність. Такий випромінювач забезпечить однакове випромінювання через будь-яку точку сфери постійного радіуса навколо нього. Ізотропний випромінювач прийнято вважати теоретичною абстракцією. Однак можна виготовити й фізично антену з досить близькими до ізотропного випромінювача параметрами. Напруженість електричного поля E, створеного ізотропним випромінювачем у середовищі без втрат на відстані r:

$$E \approx \frac{5500\sqrt{P}}{r}, \qquad (3.5)$$

де E – напруженість поля, мкВ/м; P – потужність випромінювача, Вт; r – відстань, км.

Але все-таки переважна більшість антен мають нерівномірне випромінювання залежно від напрямку. Пройшовши по всій поверхні сфери й записавши в кожній точці її поверхні значення напруженості поля, можна побудувати в полярній системі координат об'ємну фігуру, схожу на

показану на рис. 3.1. Вона називається ***діаграмою направленості (ДН)*** антени.

Діаграмою направленості передавальної антени в заданій площині називається графічне зображення залежності напруженості електричного поля E від напрямку випромінювання в точках, рівновіддалених від антени. Напрямок випромінювання визначається кутом, який відкладається від деякого напрямку, прийнятого за початковий, наприклад, від осі антени. Діаграма спрямованості прийомної антени виражає залежність ЕРС, яка наводиться в ній від кута між напрямком приходу радіохвиль і віссю антени.

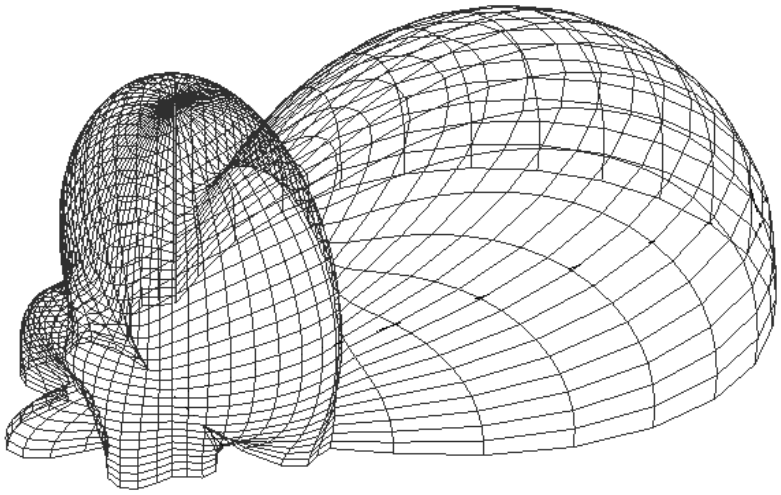

Рис. 3.1. Об'ємна діаграма направленості антени 4-ри елементна Delta на діапазон 50 МГц

У полярній системі координат задаються три параметри: радіус (тобто відстань від початку координат до потрібної точки), зенітний кут і азимутальний кут.

Об'ємна ДН, хоча й містить всю інформацію про розподіл випромінювання антени, але незручна для практичного використання. Тому звичайно використають її плоскі зображення. Зрозуміло, що вони не можуть нести всієї інформації про об'ємну фігуру, тому треба чітко зрозуміти правила побудови цих зображень.

Перетин об'ємної ДН вертикальною площиною, що проходить через початок координат, є двовимірною фігурою і називається ***ДН антени у вертикальній площині.*** Очевидно, що вид перетину залежить від того, під яким азимутальним кутом розташована вертикальна площина.

Вид ДН у вертикальній площині змінюється залежно від азимутального положення антени щодо січної площини.

Якщо не оговорено особливо, ДН у вертикальній площині будується для азимутального кута, що відповідає максимальному випромінюванню антени по азимуту.

ДН антени в горизонтальній площині є конічний перетин об'ємної ДН. Будується ДН у горизонтальній площині так – задається певний

зенітний кут, який зберігається постійним при обході навколо по азимуту антени – плоска фігура, яку отримано, і буде конічним перетином. Тобто для побудови й аналізу ДН у горизонтальній площині треба знати ще й зенітний кут, для якого ця ДН побудована.

ДН у горизонтальній площині будується для певного зенітного кута, і її вид залежить від цього кута.

Якщо не зазначено інше, ДН у горизонтальній площині будується для зенітного кута, що відповідає максимальному випромінюванню антени на ДН у вертикальній площині.

Ширина головного пелюстка визначається в обох площинах на ДН у вертикальній і горизонтальній площинах як сектор, на краях якого рівень потужності знижується вдвічі від максимального випромінювання (за рівнем -3 дБ).

3.4. Посилення антени

Посилення антени (Ga***)*** – показує в скільки разів більше (або менше) енергії випромінює досліджувана антена в даному напрямку в порівнянні з ідеальним ізотропним випромінювачем, до якого підведена така ж потужність.

Звичайно, говорячи про посилення, мають на увазі максимальне Ga в напрямку основного випромінювання антени. Ясно, що чим більш вузька ДН в антени (тобто чим в більш вузькому секторі вона концентрує випромінювання), тим вище посилення. Аналогія – прожектор із дзеркальним рефлектором: концентруючи світло (теж, між іншим, ЕМХ, але надзвичайно високої частоти) у вузький промінь, досягається яскравість набагато вища, ніж при тій же лампі, що світить в усі сторони.

Крім форми ДН, Ga залежить і від ККД антени. Очевидно, що оскільки реальна антена випромінює в ефір не всю підведену до неї потужність (частина йде на втрати), то чим нижчий ККД, тим менша потужність випромінюється, і менше Ga. Існують антени, які, незважаючи на досить вузьку ДН, проте, через низький ККД мають негативне (тобто менше, ніж в ізотропного випромінювача) посилення.

Вимірюють Ga по логарифмічній шкалі, а щоб підкреслити, що йде порівняння саме з ізотропним (isotrop) випромінювачем, до децибелів додають букву «і», тобто Ga виміряється в ***дБі*** (в англомовній літературі dBi).

В КХ діапазоні як зразок для порівняння іноді використовують напівхвильовий диполь. Причому цей зразковий диполь вважають ідеальним (без втрат) і таким, що перебуває у вільному просторі. Посилення відносно напівхвильового диполя позначається Gh. Щоб не створювати плутанини з Ga, розмірність посилення відносно диполя (dipole) позначається ***дБд*** (в англомовній літературі dBd). Оскільки напівхвильовий диполь у вільному просторі має некругову ДН і слабко концентрує випромінювання, то його $Ga = 2{,}15 dBi$. Тобто Ga й Gh

виражають одне й те ж і відрізняються лише фіксованим зміщенням: *Gh* на 2,15 дБ менше.

3.5. Опори випромінювання й втрат. Вхідний імпеданс

Оскільки антена споживає від джерела активну потужність (випромінюючи її в ефір), то за аналогією з будь-якою електричною схемою, яка споживає потужність, вводять опір, на якому ця потужність виділяється. Він називається ***опором випромінювання*** $R_{випр}$. Потрібно підкреслити, що фізично цього опору не існує. $R_{випр}$ всього лише математичний коефіцієнт, який зв'язує випромінену антеною потужність із квадратом максимальної амплітуди струму в антені. Але $R_{випр}$ досить наочний параметр, що характеризує ефективність випромінювання, тому часто використається.

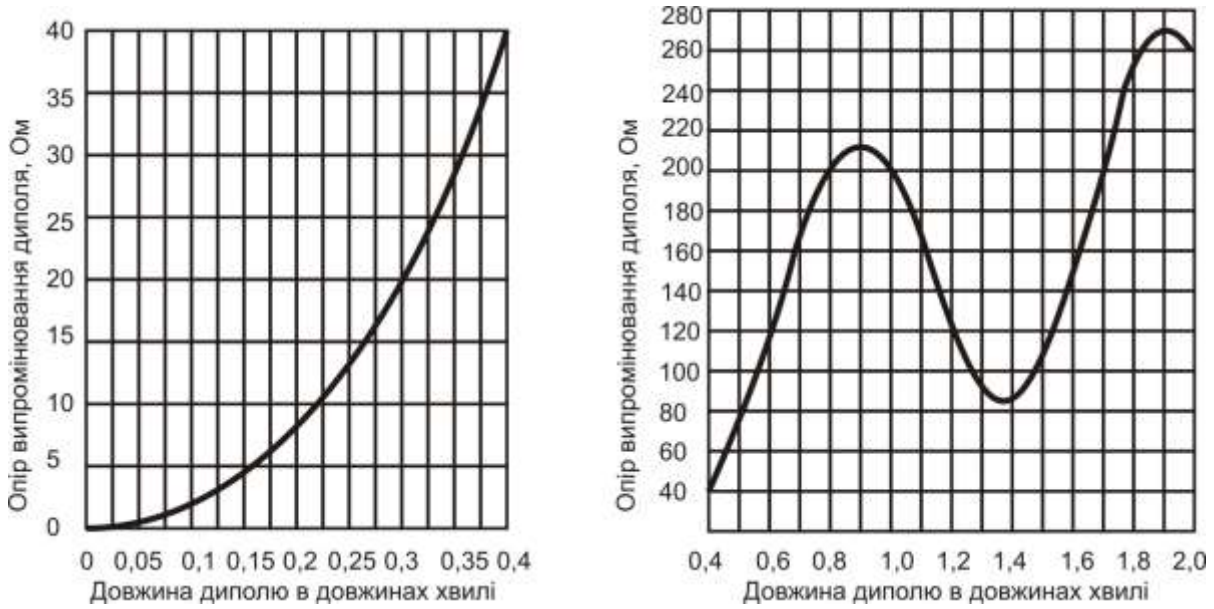

Рис. 3.2. Залежність $R_{випр}$ симетричного диполя, що перебуває у вільному просторі від його розміру

$R_{випр}$ складним образом залежить від розмірів антени, її геометрії і розподілу струму. В окремому випадку простого диполя довжиною $<1\lambda$ (за умови, що немає ділянок з струмами, що протікають противофазно) $R_{випр}$ прямо пропорційний площі під розподілом струму по антені.

Звідси випливає важливий для практики вкорочених антен висновок: *при однаковій фізичній довжині ефективніше випромінює (тобто має більш високий $R_{випр}$) та антена, по якій протікає більший струм і по який він рівномірніше розподілений.*

На рис. 3.2. показано як залежить $R_{випр}$ симетричного диполя, що перебуває у вільному просторі від його розміру (розрахунки в MMANA й дані з [5, 7]).

Як будь-який реальний пристрій, антена має ККД<100%. Тобто частина потужності не випромінюється, а розсіюється у тепло в антені і навколишніх предметах. Ця частина потужності описується опором втрат антени $R_{втр}$ (потужність теплових втрат, поділена на квадрат максимального струму в антені). $R_{втр}$ існує реально, для його опису потрібні декілька різних частин.

$R_{втр}$ складається з:

– R_S – омічних (теплових) втрат у провідниках і елементах антени. R_S росте із частотою. Це наслідок так званого поверхневого (скін) ефекту – змінне магнітне поле витискає струм із центра провідника на його краї. Тому ВЧ струм протікає лише по тонкому поверхневому шарі провідника, не проникаючи вглиб.

Глибина проникнення струму σ описується формулою:

$$\sigma = K/\sqrt{F}, \qquad (3.6)$$

де σ – товщина шару провідника по якому проходить Вч струм, мкм; F – частота струму в МГц; K – коефіцієнт, рівний 67 для міді, 83 для алюмінію, 127 для бронзи.

Як видно з формули, σ становить кілька десятків мікронів на частоті 1,8 МГц і зменшується до декількох мікронів на УКХ. Тому в антені дуже важлива якість поверхні використовуваних металів. Шорсткості, плівки окисла різко збільшують $R_{втр}$. Через поверхневий ефект фактором, який визначає опір втрат на ВЧ, є не площа перетину провідника, а периметр його перетину. Наприклад, тонка, але широка фольга має помітно менші втрати на ВЧ, ніж товстий провідник. Тому немає сенсу використовувати товсті суцільні провідники – тонкостінна труба рівного діаметру буде нічим не гірша.

– R_i – втрати в ізоляції. Будь-який ізолятор у складі антени має витікання струму і, відповідно, втрати. Для правильного врахування опір ізоляції перераховується з паралельного опору витікання в послідовне R_i. Очевидно, що чим краща ізоляція, тим менше втрат і менший послідовний опір втрат R_i.

– $R_З$ – опір втрат у землі. Для антен, за схемою яких частина струму від джерела проходить безпосередньо через землю.

Наприклад, вертикальні антени із противагами, що лежать на землі. Це, звичайно, приводить до додаткових втрат на нагрівання землі.

– R_O – характеризує теплові втрати в навколишніх предметах, що знаходяться у ближній зоні антени. Як описано в розділі 3.1 у ближній зоні антени існує реактивне поле, напруженість якого різко зростає з вкороченням антени.

Якщо в ближній зоні антени всі предмети не мають активних втрат (тобто або ідеальний діелектрик, або ідеальний провідник), то ця реактивна енергія (строго говорячи, добротність антени) повернеться в антену без втрат. Але як тільки в реактивне поле потрапляє предмет з омічними втратами, він негайно переводить частину енергії поля в теплові втрати.

У практичних конструкціях КХ антен часто в ближній зоні (її радіус становить $\lambda/2\pi$) перебувають предмети із втратами – будинки, дерева, металоконструкції, дах, земля, які гріються ближнім полем антени. Отже, опір втрат:

$$R_{П} = R_S + R_i + R_З + R_O . \qquad (3.7)$$

Так як і опір випромінювання, опір втрат приводиться до точки максимального струму антени. Зрозуміло, що підведена до антени потужність виділяється як на $R_{випр}$ так і на $R_{втр}$. Тому ККД антени η_A визначається з наступної формули резистивного дільника:

$$\eta_A = \frac{R_{випр}}{R_{випр} + R_{втр}} . \qquad (3.8)$$

Для одержання прийнятного ККД потрібно намагатися, щоб $R_{випр}$ був у декілька разів вищий $R_{втр}$. При використанні вкорочених антен $R_{випр}$ падає (рис. 3.2) – до одиниць ом. Тому доводиться усіма доступними заходами знижувати $R_{втр}$ – використовувати провідники з більшим периметром перетину, з якісною ізоляцією. І навіть при цих умовах $R_{втр}$ вкороченої антени часто виходить вищим ніж повнорозмірної. Справа в тому, що у вкороченої антени (внаслідок підвищеної добротності) завжди більш потужніше реактивне поле, і відповідно вища складова R_O.

На практиці $R_{втр}$ залежно від конструкції антени становить одиниці (у складних випадках – десятки) Ом і збільшується зі збільшенням частоти, зменшенням висоти над землею та з вкороченням антени. Тому ККД антени різко падає з її вкороченням.

Навпаки, при використанні повнорозмірних антен з високим $R_{випр}$ (рис. 3.2) ККД отримується високим. В порівнянні з високим $R_{випр}$ (десятки-сотні Ом) частка втрат $R_{втр}$ невелика, і не має особливого сенсу боротися за зниження опору втрат. Але навіть повнорозмірну антену небажано розташовувати поблизу (радіус ближньої зони $0{,}16\lambda$) до поглинаючих місцевих предметів через небезпеку помітного зростання $R_{втр}$.

Вхідний імпеданс антени ($Z_a = R_a + jX_a$) – це опір на вхідних затискачах антени, тобто в точках підключення антени до фідера, що з'єднує її з передавачем або приймачем. Вхідний опір передавальної антени

є опором навантаження для фідера. У загальному випадку він може мати активну R_a й реактивну (jX_a) складові. З метою передачі в антену максимальної потужності вхідний опір антени повинний бути активним і рівним хвильовому опору фідера.

В літературі досить часто не розрізняють активну частину вхідного імпедансу антени R_a та опір випромінювання $R_{випр}$.

Справа в тому, що $R_a = R_{випр}$ в єдиному випадку – коли точка живлення відповідає точці максимального струму в антені, а опір втрат $R_{втр}$ або відсутній, або надзвичайно малий. В інших випадках, R_a *більший* ніж $R_{випр}$. Представимо антену у вигляді еквівалентної схеми: складного коливального LC-контура, у який включені резистори $R_{випр}$ й $R_{втр}$. Розберемо кілька прикладів.

- Антена диполь від напівхвилі й коротше. Її еквівалентна схема являє собою звичайний послідовний LC-контур, у який послідовно включені $R_{випр}$ та $R_{втр}$. Якщо $R_{втр}$ дуже малий в порівнянні з $R_{випр}$, то в цьому випадку R_a дійсно дуже близький до $R_{випр}$.
- Хвильовий диполь із живленням посередині. Еквівалентною схемою антени є паралельний коливальний контур з резисторами $R_{випр}$ й $R_{втр}$ в одному з відгалужень. На резонансі вхідний опір R_a досягає декількох тисяч ом. А для $R_{випр}$ графік рис. 3.2 дає величину близько 200 Ом. Тобто в цьому випадку $R_{випр}$ та R_a відрізняються майже на порядок.
- Напівхвильовий диполь з асиметричним живленням. Вхідний опір 100...150 Ом. А $R_{випр}$ таке ж як і в напівхвильового диполя, з живленням у центрі 73 Ом. У диполя $R_{випр}$ (на відміну від R_a) не залежить від точки живлення. Еквівалентною схемою антени є паралельний коливальний контур з низькою добротністю й резисторами $R_{випр}$ й $R_{втр}$ в одному з відгалужень.

Опір випромінювання $R_{випр}$ (який визначає ККД) відрізняється від вхідного опору антени R_a. У деяких окремих випадках (живлення антени в точці максимуму струму й низькому опору втрат) вони можуть збігатися але, як правило, $R_{випр}$ менше, ніж R_a.

3.6. Принцип взаємності. Прийомні антени

Нехай є дві антени. До першої з них (передавальної) прикладена ВЧ напруга U і через вхідні клеми іншої антени (приймальної) протікає струм I від прийнятого сигналу. Якщо тепер до іншої антени (включивши її як передавальну) прикласти ту ж напругу U, то через вхідні клеми першої антени (тепер вона приймальна) буде проходити струм I.

Це повне формулювання принципу взаємності, і з нього випливає декілька важливих практичних наслідків.

- Коефіцієнт передачі сигналу між двома антенами не залежить від того, яка антена є приймальною.
- Діаграма спрямованості і всі опори (вхідний, випромінювання, втрат) не залежать від того, чи використовується антена як приймальна або як передавальна. Це один із найважливіших наслідків принципу взаємності.
- Вид діаграми спрямованості антени не залежить від того, погоджена антена з лінією живлення чи ні. Цей наслідок дозволяє при вивченні форми ДН антени не турбуватися про узгодження – форма ДН не змінюється при узгодженні з лінією живлення (передбачається, що лінія живлення не випромінює).

Експлуатуючи передавальні антени, можна бути впевненим, що в режимі прийому вони будуть мати ті ж характеристики. Тобто байдуже чи йде мова про передавальну, чи про прийомну антену – її параметри незмінні.

Розрізняють два режими роботи прийомної антени.

Перший – коли напруга шумів на вході приймача набагато вища його чутливості. Це ситуація СХ та КХ діапазонів нижче 10 МГц у нічний час (цифра умовна і змінюється залежно від часу доби та проходження). У цьому випадку ККД прийомної антени і, відповідно, Ga не важливі (справді, навіть при дуже низькому ККД прийняті антеною шуми ефіру будуть вищі чутливості приймача). Вирішальну роль грає форма ДН – якщо вона має направлені властивості, то можна покращити відношення сигнал/шум (С/Ш) або сигнал/перешкода (С/П) на вході приймача за рахунок просторової вибірковості антени. Тому можливе застосування окремих спрямованих прийомних антен з низьким ККД і малим посиленням Ga (маленькі рамки, навантажені петлі тощо), які в якості передавальних використовувати нерозумно через низький ККД.

Другий режим – коли напруга шумів від повнорозмірної антени порівняна або менша чутливості приймача. Це ситуація верхньої частини КХ діапазону (від 20 МГц, теж умовна границя) та УКХ діапазону. В такому випадку вирішальну роль грає посилення антени Ga (цей параметр входить до ККД, розділ 3.4). Необхідно в першу чергу не допустити, щоб прийнятий сигнал виявився нижче чутливості приймача, і зниження ККД неприпустиме. Спрямовані властивості призводять до росту прийнятого сигналу й досить бажані. Однак не за рахунок зниження ККД. Тому у верхній частині КХ діапазону і на УКХ ефективна прийомна антена завжди може бути використана і як передавальна.

3.7. Площа розкриття антени

Згадаємо ізотропний випромінювач. Зрозуміло, що через кожний квадратний метр сферичної поверхні навколо нього буде проходити

енергія рівна потужності випромінювача поділеної на площу цієї поверхні. Отримана величина має назву ***щільності потоку потужності*** p_0 електромагнітної хвилі.

Прийомна антена на поверхні сфери перетворює енергію ЕМХ в електричну енергію прийнятого сигналу. Зрозуміло, що чим більше ця антена приймає потужності P_{RX}, тим з більшої площі вона повинна для цього зібрати енергію ЕМХ. Найпростіше зрозуміти це на прикладі дзеркальної параболічної антени – із площі, рівної площі дзеркала рефлектора, енергія ЕМХ перехоплюється й направляється в приймач.

Важливим параметром антени є ***ефективна площа ($A_{еф}$) розкриття (апертури) антени,*** що визначається як:

$$A_{еф} = P_{RX} / p_0 . \qquad (3.9)$$

Важливо відзначити, що $A_{еф}$ це не фізична площа антени або її частин. Це площа простору, з якого дана антена відбирає енергію ЕМХ. Для певного класу антен, до якого входять антени з рефлектором у вигляді металевої поверхні (параболічні, кутові), $A_{еф}$ майже збігається із площею рефлектора антени. Але таке буває рідко і лише в діапазоні УКХ. Для більшості ж антен $A_{еф}$ набагато більше площі самої антени. Наприклад, для простого напівхвильового диполя його ефективна площа розкриття це еліпс, витягнутий вздовж диполя. Ширина цього еліпса $3/4\lambda$, висота $1/4\lambda$, площа $A_{ефДиполя} = 0{,}13\lambda^2$.

$A_{еф}$ збільшується з ростом посилення Ga антени. Зрозуміло, що якщо антена приймає сигнал більший, ніж ізотропний випромінювач, то вона повинна отримати більше енергії ЕМХ. А шлях для цього лише один – зібрати цю енергію з більшої площі. Тому спрямовані антени мають значну площу розкриття, яка набагато перевищує $A_{еф}$ диполя.

$A_{еф}$ визначається як:

$$A_{еф} = \lambda^2 \frac{10^{\frac{Ga}{10}}}{4\pi} . \qquad (3.10)$$

Вираз в чисельнику дробу це посилення антени Ga, виражене не в логарифмічній, а в лінійній мірі (в разах); 4π – це тілесний кут, що відповідає повній сфері.

З формули 3.10 видно важливий для практики висновок – $A_{еф}$ (і прийнята антеною потужність сигналу) прямо пропорційна λ^2. Тобто антени з однаковим посиленням (наприклад, $\lambda/2$ диполі), але різних діапазонів дають зовсім різний сигнал. Чим вища частота (і, відповідно,

менша довжина хвилі), тим з меншої площі збирається енергія ЕМХ. Тому на УКХ доводиться застосовувати антени з високим посиленням.

Таблиця 3.1. Необхідні коефіцієнти підсилення залежно від частоти

Частота, МГц	3,5	7	14	21	28	50	144	432
Ga, dBi	-4	2	8	11	14	19	28	37

Наприклад, потрібна антена з $A_{еф} = 200 м^2$. В табл. 3.1 наведені необхідні для цього коефіцієнти підсилення залежно від частоти.

Для того щоб при однаковій щільності потоку потужності одержати на вході приймача *один і той самий рівень сигналу,* антена повинна мати на частоті 7 МГц $Ga = 2dBi$ (трохи гірше напівхвильового диполя), на 14 МГц – посилення повинне бути вже $8dBi$ (2-3 елемента Ягі над землею). На 28 МГц Ga повинне досягти вже $14dBi$ (8-12 елементів Ягі над землею). На УКХ ще складніше – на 144 МГц потрібне посилення в $28dBi$ забезпечать лише синфазні решітки з 16-ти довгих Ягі, із числом елементів у кожній кілька десятків. А на 432 МГц і вище доведеться використовувати параболічне сітчасте дзеркало з діаметром близько 16 м. І попри все те на 3,5 МГц *таку ж саму* енергію одержить із простору досить скромна антена – укорочений (більш, ніж удвічі) диполь, який програє в посиленні ізотропному випромінювачу $4dB$.

Саме тому на високочастотних КХ діапазонах і на УКХ бажано застосовувати антени з посиленням. І тому на УКХ практично завжди (за винятком місцевого зв'язку) використовуються спрямовані антени з великим Ga. Ненаправлена антена на УКХ має дуже малу площу розкриття $A_{еф}$ й, відповідно, дає малий сигнал.

Ефективна площа розкриття антени це параметр, який показує ефективність відбору антеною потужності ЕМХ (перетворення в електричний струм у провідниках) із простору. Якщо частина енергії ЕМХ із простору вилучена, то за антеною утвориться область «тіні», де напруженість поля ЕМХ нижча. Тобто антена діє як поглинаючий екран.

Справедливе й зворотнє – щоб антена могла зібрати енергію зі своєї площі розкриття, у межах цієї площі не повинно бути поглинаючих та екануючих предметів, фізичний зміст цього твердження дуже простий – електромагнітна хвиля повинна падати на всю площу розкриття антени, а не поглинатися або екрануватися навколишніми предметами. При виборі місця установки антени має сенс порахувати $A_{еф}$ (знаючи довжину хвилі й Ga) по формулі 3.10. І в межах цієї площі навколо антени (у напрямку основного пелюстка ДН) повинен бути чистий простір. Крім того, ніщо (наприклад будинок або інші антени) не повинно «затінювати» ЕМХ, що потрапляє на $A_{еф}$. Інакше посилення антени впаде. Причому ступінь цього

зменшення буде визначатися тим, яка частина $A_{еф}$ закрита й/або екранована.

Оскільки узгодження системи «антена-приймач» залежить від частоти, то відповідно залежить від частоти і $A_{еф}$. Досягаючи максимуму на робочій частоті, (там, де антена погоджена, тобто там, де вона може максимально передати перехоплену потужність ЕМХ у приймач) ефективна площа розкриття швидко і в багато разів падає при неузгодженості й відході від робочої частоти.

Використовуючи поняття $A_{еф}$ можна дуже просто зв'язати випромінену передавачем потужність P_{TX} із потужністю яка надійшла до приймача P_{RX}:

$$P_{RX} = P_{TX} \frac{A_{еф1} A_{еф2}}{\lambda^2 r^2}, \qquad (3.11)$$

де $A_{еф1}$ й $A_{еф2}$ – ефективні площі передавальної й приймальної антен відповідно, м^2; r – відстань між антенами, м.

Цю формулу (справедливу для вільного простору) можна використовувати для розрахунку потужності передавача кореспондента.

Приклад 1. *Припустимо, ви чуєте на диполь* $\lambda/2$ *у діапазоні 40 м кореспондента на* $59+40dB$ *(а це напруга* $U_{RX} = 5мВ$ *на вході приймача), відстань до якого 300 км. Оператор підтверджує, що в нього потужність передавача 100 Вт і антена теж диполь,* а *чутно добре, тому що гарне проходження. Спробуємо перевірити умови проходження розрахунком.*

Як згадано вище, для напівхвильового диполя $A_{ефДиполя} = 0{,}13\lambda^2$, що в цьому випадку складе $0{,}13 \cdot 40 \cdot 40 = 208м^2$. Підставивши ці значення у формулу 3.11 одержимо, що при потужності передавача 100 Вт потужність на вході приймача повинна бути:

$$P_{RX} = 100 \frac{208 \cdot 208}{40^2 \left(300 \cdot 10^3\right)^2} = 3 \cdot 10^{-8} Вт,$$

що на вхідному опорі $R_{RX} = 50Ом$ складе:

$$U_{RX} = \sqrt{R_{RX} P_{RX}} = \sqrt{50 \cdot 3 \cdot 10^{-8}} = 12{,}2 \cdot 10^{-4} В = 1{,}22мВ.$$

Це значить, що у вільному просторі прийнятий сигнал при 100 Вт і диполі на передавальній стороні ніяк не може бути більший 1,22 мВ. А ми маємо сигнал учетверо (на 12 дБ) більший – 5 мВ. Це означає, що або дійсно проходження з аномально низькими втратами, або передавач має потужність не 100 Вт, а на $12dB$ більше (тобто 1,6 кВт), або антена з посиленням на $12dB$ вище диполя (наприклад, багатоелементна Ягі).

Розрахунок проводився для вільного простору, не враховувалися втрати на реальній радіотрасі при відбитті від іоносфери, які є завжди і можуть бути досить значними. З іншої сторони не враховувався можливий (хоча й досить рідкісний) ефект росту напруженості ЕМХ, що виникає, якщо відбиваючий іоносферний шар, значно ввігнутий і діє як параболічне дзеркало, тобто точність наведених розрахунків при стрибковому поширенні на КХ невелика (залежить від стану іоносфери), і для одержання відносно достовірних результатів потрібно вимірювати рівень сигналу кілька разів у різний час, а потім брати середній результат. При багатострибковій трасі на КХ точність розрахунку різко знижується – заздалегідь невідомий вплив стану іоносфери.

Навпаки, при прямій видимості потужність можна обчислити досить точно.

Приклад 2. *На діапазоні 144 МГц на вертикальний напівхвильовий диполь (J-антену) приймається кореспондент із такою ж антеною з відстані 10 км (пряма видимість між антенами), з рівнем 10 мкВ.*

На вхідному опорі $R_{RX} = 50 Ом$ потужність складе:

$$P_{RX} = U_{RX}^2 R_{RX} = \left(10 \cdot 10^{-6}\right)^2 \cdot 50 = 0,5 \cdot 10^{-8} Вт .$$

Ефективна площа обох антен

$$A_{еф1} = A_{еф2} = 0,13 \cdot 2 \cdot 2 = 0,52 м^2 .$$

Підставляючи ці значення у формулу 3.11, одержимо потужність передавача кореспондента:

$$P_{TX} = P_{RX} \frac{A_{еф1} A_{еф2}}{\lambda^2 r^2} = 0,5 \cdot 10^{-8} \frac{2^2 \cdot 10000^2}{0,52 \cdot 0,52} = 7,39 Вт .$$

Таким чином, використовуючи формули 3.10 (для розрахунку $A_{еф}$) і 3.11 та знаючи дійсні рівні сигналу на вході приймача й відстань до кореспондента, можна оцінити яку потужність насправді випромінює антена.

Параметр $A_{еф}$ відіграє важливу роль при розташуванні поруч декількох антен. Нехай необхідно розмістити кілька антен на одну частоту (наприклад, окремі елементи синфазних решіток). Це потрібно робити так, щоб їх ефективні площі розкриття окремих елементів не накладалися одна на одну і щоб кожний елемент решітки збирав енергію ЕМХ зі своєї, окремої ділянки простору. Тому є мінімальна відстань між антенами (вона визначається $A_{еф}$ одиночної антени), ближче якої розташовувати антени небажано, оскільки через часткове перетинання їхніх апертур буде падати загальне посилення антенної системи.

Якщо ж дві приблизно однакові антени на один діапазон розташувати зовсім близько, то їхні $A_{еф}$ накладуться одна на одну. Антени будуть відбирати енергію ЕМХ з однієї ділянки простору, тому прийнята кожною антеною потужність відповідно впаде. Це прямий наслідок закону збереження енергії – не можна із заданої площі простору отримати енергії більше, ніж через неї проходить. Тому, площі розкриття розташованих впритул телевізійних антен (таке ще можна побачити на багатоквартирних будинках) перекриваються, і енергія ЕМХ із однієї площі ділиться на безліч антен.

Якщо ж розташовувати поруч антени на різні діапазони, то в цьому випадку припустиме досить близьке розташування майже без погіршення параметрів. Справа в значній залежності $A_{еф}$ від частоти. Наприклад, розташовуючи на одному траверсі тридіапазонну антену «подвійний квадрат» 14-21-28 МГц, можна не побоюватися помітного погіршення – на частоті 21 МГц ефективні площі розкриття антен діапазонів 14 і 28 МГц будуть дуже малими й майже не зменшать прийнятий антеною 21 МГц сигнал цієї частоти.

3.8. Вимоги до ДН антени

Головним завданням антени (пари антен – передавальної та приймальної), як частини лінії радіозв'язку є забезпечення максимального відношення сигнал/шум або сигнал/перешкода на вході приймача. Але вимоги до ДН антени для одержання цього на КХ та УКХ відрізняються.

3.8.1. Вимоги до ДН УКХ антен

Очевидно, що в умовах прямої видимості, передавальна антена повинна «вистрілити» енергію максимально вузьким променем точно ***в напрямку (азимутальному та зенітному) на кореспондента.*** При цьому поляризації повинна бути така яку має прийомна антена, тобто бажано мати гранично вузьку ДН як у горизонтальній, так і в вертикальній площинах. На УКХ це цілком можливо й досить часто використовується.

Якщо ж кореспондентів багато, то виникає необхідність або обертання антени з вузькою ДН, або створення антени із ДН, що перекриває всі можливі кути (і азимутальні, і зенітні) розташування кореспондентів. Типовим прикладом є місцевий зв'язок на УКХ в гарнізонах ОРС із рухомими об'єктами – у горизонтальній площині ДН повинна бути круговою (кореспондент може перебувати під будь-яким азимутальним кутом), а в зенітній площині – гранично вузькою і притиснутою до землі (не слід витрачати енергію, даремно випромінюючи її набагато вище поверхні землі, якщо в повітрі кореспондентів не буде).

Але якщо мова йде про радіозв'язок далі прямої видимості, то справа ускладнюється. Через вплив різноманітних механізмів проходження,

описаних у попередніх розділах, передавальна антена повинна випромінювати вже не в напрямку кореспондента, а *в напрямку, що забезпечує максимальний рівень сигналу в точці прийому при даному механізмі проходження радіохвиль.* А ці напрямки не збігаються.

Якщо йде однократне відбиття або ретрансляція (відбиття від метеорних слідів, літаків, Місяця, або зв'язок через супутник), то антена повинна формувати вузьку ДН у напрямку відбивача-ретранслятора. Якщо відбивач рухається (супутник), то промінь антени повинен за ним стежити. Якщо відбивач займає область простору і нестабільний у часі (місця інтенсивного руху літаків, метеорний потік), то ДН антени не повинна бути дуже вузькою, щоб охоплювати всю область можливих положень відбивача.

При відбитті від дуже великої, але нестабільної області північного сяйва також може виявитися неефективним використання вузькоспрямованих антен. Справа в тому, що окремі ділянки північного сяйва в різні моменти часу відрізняються по відбивальній здатності. Вузьконаправлена антена «висвітлює» вузьку область простору, а зона найкращого відбиття може не потрапити в ДН такої антени. На УКХ для такого виду зв'язку використовують антени з посиленням 8...14*dBi* і передавачі в десятки ватів.

При тропосферному розсіюванні обидві антени повинні висвітлювати ту саму область тропосфери, на якій відбувається розсіювання.

Таким чином, на УКХ майже завжди бажано мати вузьку ДН в азимутальній площині (виключення – місцевий зв'язок) і у всіх випадках – вузьку ДН у вертикальній площині. Тобто антена повинна бути з високим посиленням, що крім іншого збільшить її ефективну площу розкриття (див. розділ 3.7). Дуже часто необхідне обертання спрямованої УКХ антени по азимуту, інколи – по зенітному куту.

Поляризація антен повинна збігатися і при прямій видимості (для місцевого зв'язку прийнято використовувати V поляризацію), і при роботі через супутники. Це так зване ***поляризаційного узгодження.*** Якщо на супутнику використовується обертова поляризація, то повинні збігатися напрямки обертання площини поляризації, у випадку обертання в різні сторони рівень сигналу різко впаде. Якщо ж використовується будь-який механізм проходження з відбиттям ЕМХ, то необхідності в поляризаційному узгодженні немає. Справа в тому, що при відбитті ЕМХ від провідної поверхні площина поляризації змінюється. При відбитті від нестабільних областей (іоносфера, північне сяйво, метеорні сліди), а також при багаторазових відбиттях, площина поляризації прийнятого сигналу може хаотично змінюватися в часі. Тому має сенс використовувати прийомні антени, що забезпечують прийом як з V, так і H поляризацією. Це виключає різкі провали сигналу при зміні площини поляризації внаслідок зміни умов проходження.

3.8.2. Вимоги до ДН антени на КХ

На КХ основним є рикошетний механізм проходження з відбиттям від шарів іоносфери (розділ 1.5). Довжину одного стрибка визначають як висота відбиваючого шару, так і зенітний кут випромінювання антени. Зрозуміло, що якщо антена випромінює високо в зеніт, то сигнал дійшовши до іоносфери відіб'ється майже точно вниз, охопивши ближню зону (кілька сотень кілометрів) навколо станції, яка його випромінює (типова, до речі, ситуація на НЧ КХ діапазонах з низько підвішеною горизонтальною антеною). Чим нижче до горизонту випромінює антена, тим більшу відстань пройде хвиля за перший стрибок. На рис. 3.3 та 3.4 [8] показані графіки необхідних зенітних кутів випромінювання для різного (від 1 до 6) числа стрибків. Графік рис. 3.3 побудований для висоти відбиваючого шару 400 км (типово вдень), а графік рис. 3.4 – для висоти 250 км (типово вночі).

Видно, що для зв'язків на відстані більше 3000 км (міжконтинентальні зв'язки), потрібні низькі зенітні кути випромінювання. Але на рис. 3.3 та 3.4 наведені крайні значення кутів. Найбільш імовірні значення зенітних кутів по даним багаторічної професійної статистики [5] дані в табл. 3.2.

Таким чином, для КХ антен найбільше значення представляє зенітний сектор $0...30^0$. Крім: очевидних вимог рис. 3.3, 3.4 і табл. 3.2, справа ще й в тому, що одну й ту ж трасу можна перекрити за різну кількість стрибків. Наприклад (див. рис. 3.3), траса в 10000 км вдень перекривається при зенітному куті 5^0 за 3 стрибки, а при зенітному куті 17^0 – за 5. А кожний стрибок вносить додатково загасання як мінімум 10 дБ (нерідко й помітно більше).

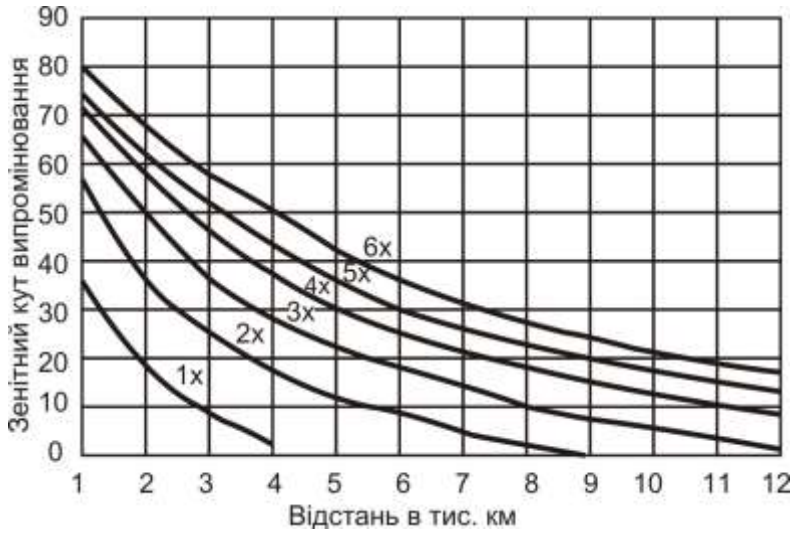

Рис. 3.3. Дальність зв'язку на КХ при іоносферному відбиванні $H = 400км$

Наприклад, ми маємо дві антени з однаковим максимальним посиленням Ga і випромінюваною потужністю, але випромінювання відрізняються кутами, (перша нехай має максимум при зенітному куті 17^0,

інша – при 5^0). Тоді на трасі довжиною 10000 км друга антена виграє мінімум 20 дБ (можливо й більше), тому що ЕМХ, випромінена другою антеною, пройде трасу за меншу кількість менше стрибків і, відповідно, буде менш ослабленою.

Таблиця 3.2. Найбільш імовірні значення зенітних кутів для дальнього КХ радіозв'язку по даним багаторічної професійної статистики

Відстані, км	Найбільш імовірні зенітні кути, ^{0}
2000…3000	3…30
3000…6000	2…20
6000…12000	1…12

Тому *для КХ антен найважливішим параметром антени є частка енергії випроміненої під низькими* (умовно кажучи, нижче 30^0) зенітними кутами. Саме енергія, випромінена під цими кутами, і визначає дальність КХ радіозв'язку (ефективність роботи антени).

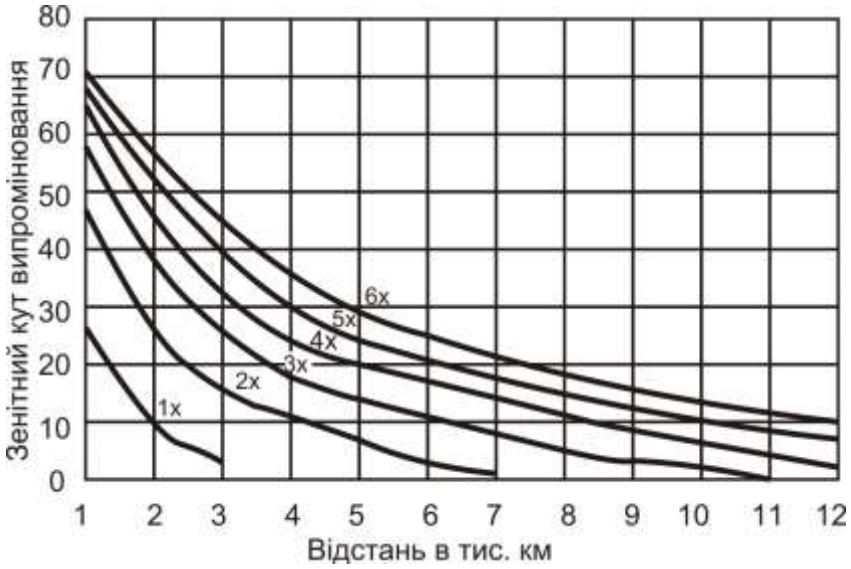

Рис. 3.4. Дальність зв'язку на КХ при іоносферному відбиванні $H = 250км$

На КХ одержання вузької ДН у вертикальній площині для більшості антен досить проблематичне, тому доводиться не зважати на те, що частина енергії випромінюється вище 30^0. Тому, порівнюючи КХ антени по ефективності, більш правильно порівнювати не максимальні значення посилення *Ga* (як це робиться для УКХ антен), а посилення (не максимальні) під кутами нижче 30^0 до горизонту.

Для дальнього зв'язку на КХ майже завжди краща антена, що випромінює більше під низькими зенітними кутами.

Практика показує, що в радіусі 2000...3000 км зв'язок на КХ не представляє проблем при будь-яких антенах.

Те, що говорилося вище, відноситься до типового середнього проходження. Але бувають іноді умови, коли оптимальний кут

міжконтинентального зв'язку піднімається вище від наведених на верхній кривій рис. 3.3 значень. Це відповідає стрибкам сигналу не між іоносферним шаром і землею, а між двома іоносферними шарами. Втрати при цьому, незважаючи на велику кількість відбиттів, досить малі. При цьому для трас 3000...6000 км – оптимальний кут піднімається до $55...35^0$, а для трас 6000... 12000 км – до $35...10^0$. На ВЧ діапазонах це трапляється досить рідко, але на НЧ діапазонах (особливо 80 і 160 м) такі аномальні умови іноді складаються в години світанку й заходу сонця.

Отже – для КХ антен у ДН вертикальній площині треба прагнути до максимуму випромінювання нижче 30^0. На ВЧ КХ діапазонах варто прагнути гранично притиснути головний пелюсток ДН до землі. На НЧ КХ діапазонах треба подбати, щоб антена, крім випромінювання під кутами нижче 30^0, ще щось випромінювала б і в секторі $30...50^0$.

Дотепер мова йшла про ДН у вертикальній площині. Щодо азимутальної площини, то найкраще мати спрямовану антену. Про її надмірно вузьку пелюстку на КХ можна майже не турбуватися. Антени КХ значно більші за розмірами УКХ антен, тому при реальних розмірах малоймовірно одержати надмірно вузьку пелюстку ДН у горизонтальній площині. Крім того, навіть просту спрямовану антену (2-3 елемента) на КХ виконати складно конструктивно (враховуючи необхідність її обертати). Нерідко механічні труднощі обертання настільки складні, що використовують або фіксовані в одному напрямку антени, або складні нерухомі антенні системи з перемиканням по азимуту на декілька (2-8) головних напрямків. На НЧ КХ діапазонах спрямовані антени практично завжди реалізуються саме в такий спосіб.

Якщо радіотраса проходить через одну з полярних шапок Землі (області навколо обох полюсів), то зв'язок по ній досить часто буде нестабільним, або неможливим. Причина – радіохвиля, потрапляючи у високо іонізовані, нестабільні приполярні зони (наприклад, північного сяйва) магнітних полюсів Землі, в найгіршому випадку поглинається й розсіюється ними, в кращому – змінює азимутальний напрямок з додатковим загасанням.

Відмінність реального азимутального кута приходу сигналу від справжнього азимута може досягати декількох десятків градусів, причому можливе таке явище не лише на трасах, що проходять через полюси Землі.

Поляризаційне узгодження антен на КХ не має істотного значення. При відбиттях в іоносфері площина поляризації неодноразово змінюється, тому поляризація антени на КХ не важлива.

3.9. Антени УКХ-діапазону та їх розрахунок

Напівхвильовий вібратор. Одним із найпростіших типів антен для УКХ діапазону є напівхвильовий вібратор. Але при розрахунку таких антен необхідно враховувати *коефіцієнт вкорочення*.

Коефіцієнт вкорочення. Фактично електрична й геометрична довжини вібратора рівні тільки в тому випадку, коли провідник стає нескінченно тонким. Швидкість поширення електромагнітних хвиль від провідника менша, ніж швидкість поширення світла. У зв'язку із цим, особливо на кінцях антени, виникає ємнісний струм, що еквівалентний збільшенню довжини антени. Тому дійсна довжина вібратора (геометрична довжина) повинна бути трохи зменшена стосовно його електричної довжини. У дійсності коефіцієнт вкорочення важко точно визначити, тому що на нього впливають висота підвісу антени, оточуючі предмети (будинки, дерева) тощо. В УКХ діапазоні, крім того, коефіцієнт укорочення залежить і від відношення λ/d.

На рис. 3.5 зображена залежність коефіцієнта вкорочення *k* напівхвильового вібратора в УКХ діапазоні від довжини хвилі й діаметра провода вібратора.

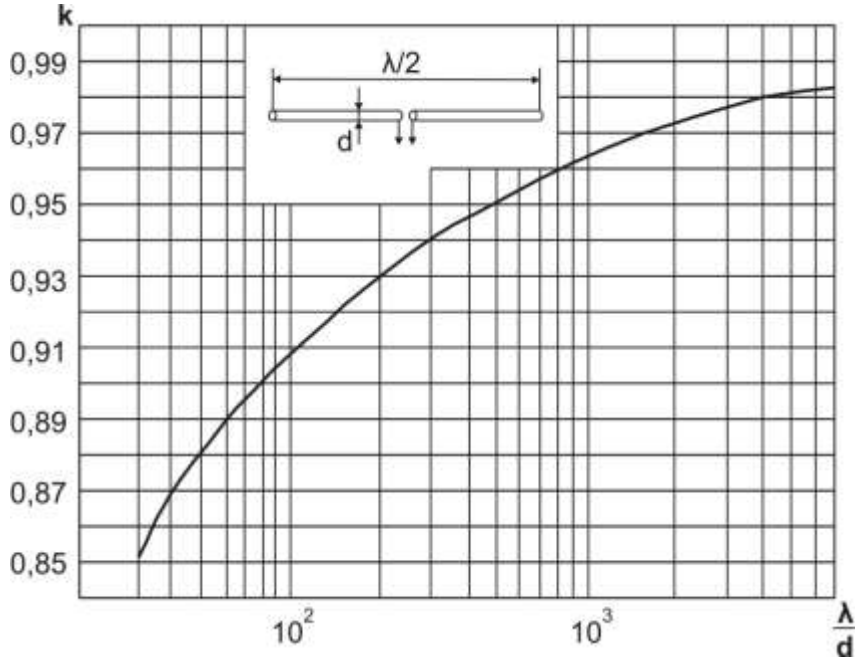

Рис. 3.5. Коефіцієнт вкорочення напівхвильового вібратора в залежності від відношення λ/d

Приклад. Потрібно знайти геометричну довжину вібратора (напівхвильового) для частоти 144 Мгц діаметром 25 мм.

Частота 144 МГц відповідає довжині хвилі приблизно 208 см. Звідси одержуємо співвідношення $208см \div 2,5 \approx 80$. За графіком (див. рис. 3.5) знаходимо, що відношенню $\lambda/d = 80$ відповідає коефіцієнт укорочення *k* =0,90. Таким чином, необхідна довжина вібратора дорівнює:

$$\frac{\lambda}{2}k = \frac{208}{2} \cdot 0,90 = 93,6 \text{ см.}$$

Для розрахунку УКХ вібраторів часто застосовують спрощену формулу

$$l = \frac{141}{f},$$

де l – довжина вібратора, м; f – частота, МГц.

Потрібно відмітити, що ця формула не враховує вплив відношення λ/d і тому дає лише наближені значення.

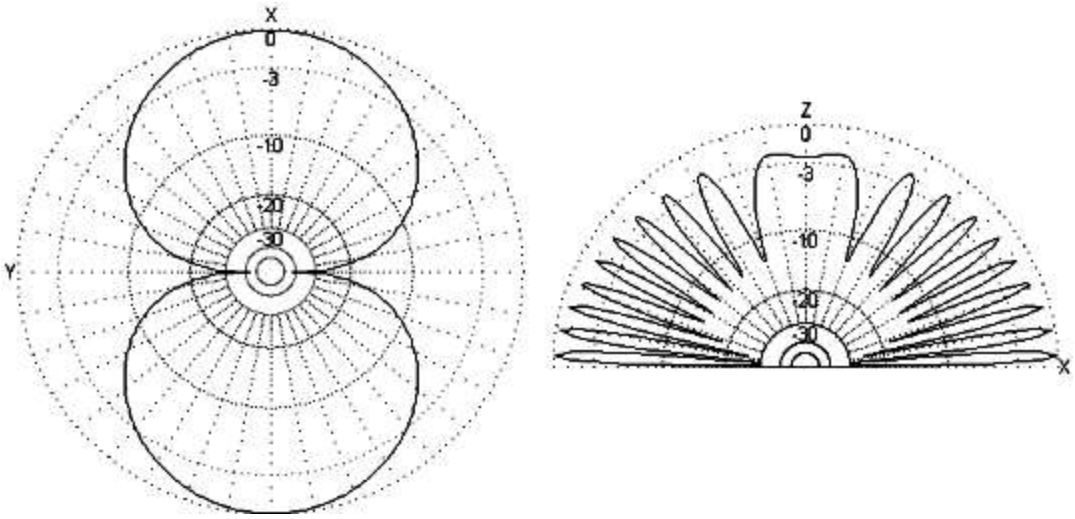

Рис. 3.6. Діаграма направленості напівхвильового диполю на частоту 144МГц підвішеного на висоті 10 м (за результатами комп'ютерного моделювання в програмі MMANA)

Петльовий вібратор. Напівхвильові вібратори можуть бути з'єднані у вигляді шлейфа, при цьому утвориться петльовий вібратор (рис. 3.7).

Діаграма спрямованості петльового вібратора майже нічим не відрізняється від діаграми спрямованості простого вібратора. При паралельному з'єднанні двох простих вібраторів загальна індуктивність зменшується відповідно до формули

$$L_{заг} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2},$$

а ємність підсумується. Отже відношення *L/C,* у петльового вібратора менше, а смуга пропускання більша, ніж у простого вібратора.

Для розрахунку опору випромінювання напівхвильового вібратора використовується формула:

$$R_{випр} = \frac{P_{випр}}{I^2_{макс}}.$$

При паралельному з'єднанні двох однакових напівхвильових вібраторів, що утворять петлевий вібратор, антенний струм, який проходить по двох відгалуженнях, розділяється на дві частини. Таким чином, при тій же потужності випромінювання антенний струм петльового вібратора дорівнює половині антенного струму простого вібратора; опір випромінювання петльового вібратора приймає вигляд:

$$R'_{випр} = \frac{P_{випр}}{(I/2)^2}.$$

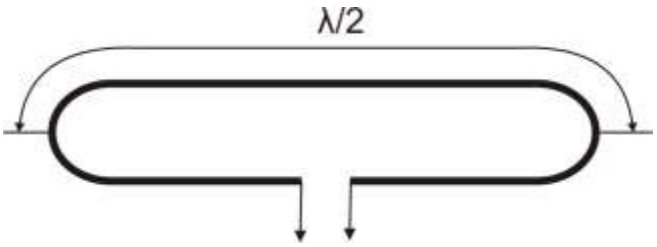

Рис. 3.7. Петльовий вібратор

Таким чином, для простого вібратора одержуємо:

$$P_{випр} = R_{випр} I^2,$$

а для петльового вібратора

$$P_{випр} = R'_{випр} (I/2)^2.$$

Так як в обох випадках випромінювана потужність однакова, можна зробити висновок, що $R'_{випр} = 4R_{випр}$, тобто опір випромінювання петльового вібратора в 4 рази більший опору випромінювання простого вібратора й складає 240-280 Ом.

«Хвильовий канал». Антени з великим числом пасивних елементів (рис. 3.8) широко застосовуються як антени спрямованої дії. Якщо, наприклад, порівнювати антену «хвильовий канал» і багатовібраторну антену з однаковим числом елементів, то антена «хвильовий канал» при менших розмірах і меншій витраті конструктивних матеріалів дає більший коефіцієнт посиленні.

Довжина й відстань від пасивних елементів до вібратора впливають на вхідний опір і коефіцієнт підсилення антени «хвильовий канал». Звичайно рефлектор обирається на 5% довшим, ніж випромінювач, а перший директор – на 5% коротшим. Якщо антена має декілька директорів, їхня довжина зменшується з віддаленням: 2-й – на 6%, 3-й – на 7% тощо. В антени «хвильовий канал», яка має велику кількість директорів, їхню довжину часто вибирають однаковою.

Якщо антена складається з вібратора й тільки одного рефлектора або директора то визначення одержуваного коефіцієнта підсилення й вхідного опору антени досить просте. Але вже у випадку трьохелементної антени вхідний опір і коефіцієнт підсилення залежать від двох змінних: відстані вібратор-директор і відстані вібратор-рефлектор. При цьому вхідний опір антени може зменшитися до 10 Ом при оптимальній з погляду отримання максимального коефіцієнта підсилення відстані між елементами. Таке зниження вхідного опору антени вкрай небажане, тому що воно супроводжується зменшенням смуги пропускання антени, збільшенням струму, що протікає по елементах антени (а, отже, при недостатньо товстих і погано провідних провідниках і до збільшення втрат); крім того, виникають додаткові труднощі узгодження антени з лінією передачі. Тому звичайно відмовляються від досягнення найбільшого коефіцієнта підсилення на користь досить великого вхідного опору антени.

Антени «хвильовий канал» з великим числом елементів не можуть мати точно заздалегідь розрахованих електричних параметрів, тому що всі елементи взаємно зв'язані й незначна зміна довжини або відстані до хоча б одного елемента змінює електричні властивості всієї системи. Тому настроювання антени «хвильовий канал» завжди проводиться методом «проб і помилок» і при ретельному здійсненні, незважаючи на значні витрати часу, завжди приводить до бажаних результатів.

Трьохелементна антена «хвильовий канал». Найпростіша антена «хвильовий канал» у суцільнометалевому виконанні показана на рис. 3.8 (а), вона має вхідний опір 240 Ом і дає посилення 6-7 дБ.

Наведені розміри відповідають аматорському діапазону 2 м, однак вони можуть бути перераховані для будь-якого діапазону УКХ за наступними наближеними формулами, у яких розміри зазначені в міліметрах, частота – у мегагерцах:

$$довжина\ \ рефлектора = \frac{149500}{f},$$

$$відстань\ \ вібратор - рефлектор = \frac{62500}{f},$$

$$довжина\ \ вібратора = \frac{142000}{f},$$

$$відстань\ \ вібратор - директор = \frac{55000}{f},$$

$$довжина\ \ директора = \frac{135000}{f},$$

$$довжина\ \ T - подібної\ \ схеми\ \ узгодження = \frac{68900}{f}.$$

Еталонна антена має елементи діаметром 12 мм (некритичний розмір). Розміри елементів наведені для випадку, коли антена кріпиться на

металевій траверсі діаметром 20 мм. Якщо використаються елементи дуже великого діаметра або несуча конструкція дерев'яна, всі елементи антени варто ненабагато вкоротити. Якщо ж як несуча траверса використається металева труба великого діаметра, варто незначно збільшити довжину елементів антени. Однак, загалом кажучи, розглянута антена досить широкосмугова для того щоб у наведених вище випадках можна було обходитися й без коректування наведених розмірів антени.

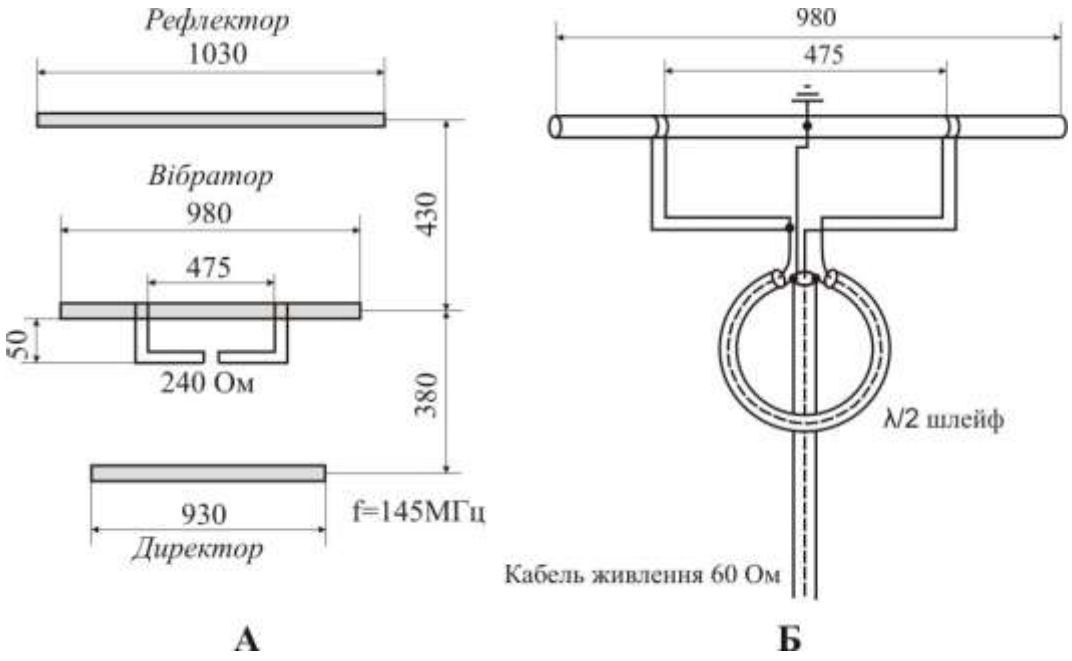

Рис. 3.8. Трьохелементна антена «хвильовий канал»

На рис. 3.8 (б) показано узгодження несиметричного коаксіального кабелю із хвильовим опором 60 Ом з розглянутою антеною. Довжина напівхвильової петлі дорівнює $(\lambda/2)\cdot h$ (коефіцієнт укорочення) і становить 680 мм.

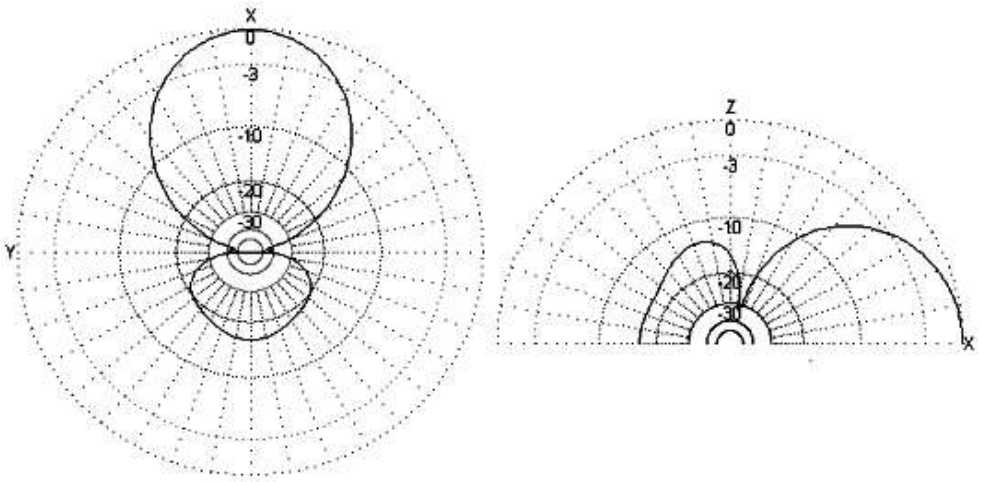

Рис. 3.9. Діаграма направленості чотирьохелементної антени типу «хвильовий канал»

На рис. 3.9, 3.10 наведено діаграми спрямованості антени типу «хвильовий канал».

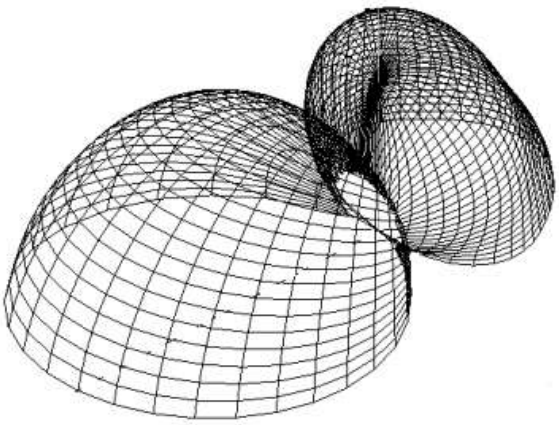

Рис. 3.10. Об'ємна діаграма направленості чотирьохелементної антени типу «хвильовий канал»

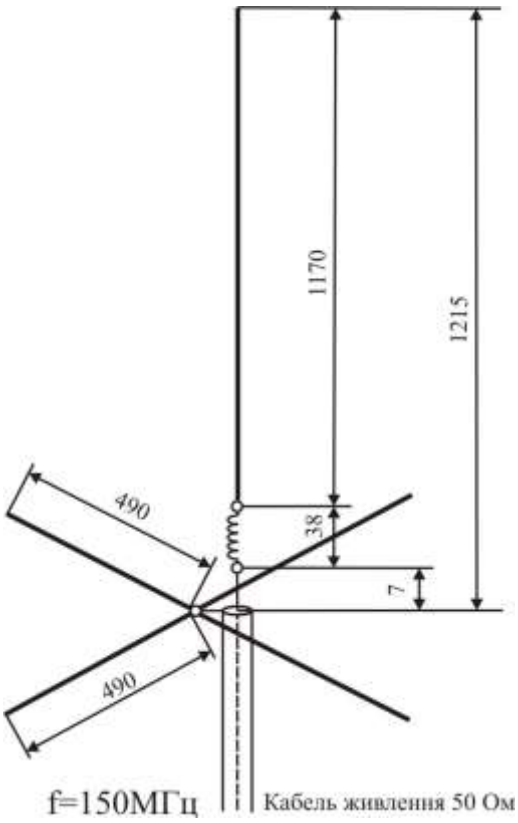

Рис. 3.11. $5/8\lambda$ *вібратор для діапазону 2 м* [9]

$5/8\lambda$ **-вібратор.** При збільшенні довжини штирової антени більше $\lambda/2$ в діаграмі випромінювання з'являються пелюстки, спрямовані під більшими кутами до поверхні землі, і одночасно збільшуються пелюстки діаграми спрямованості, спрямовані під плоскими кутами. Ці останні пелюстки будуть максимальними при довжині штиря $5/8\lambda$. При подальшому збільшенні довжини штиря інтенсивність випромінювання під

плоскими кутами зменшується, а інтенсивність випромінювання під кутами збільшується. Коефіцієнт підсилення при довжині штиря $5/8\lambda$ рівняється 3дБ.

Однак $5/8\lambda$ не є резонансною довжиною антени. Тому $5/8\lambda$-штир подовжують додатково до $3/4\lambda$ за допомогою подовжувальної котушки індуктивності.

Недостатня для напівхвильового резонансу $\lambda/4$ в цьому випадку додається за рахунок радіальних провідників, як у випадку антени «граунд-плейн».

На рис. 3.11 зображена $5/8\lambda$ штирова антена для діапазону 2 м. Загальна довжина вертикальної частини дорівнює 1215 мм, чотири радіальних провідники мають довжину 490 мм кожний. Подовжувальна котушка індуктивності має 11 витків і виготовлена із проводу діаметром 1,6 мм. Довжина самої котушки рівняється 38 мм і діаметр 6,35 мм.

Зміна резонансної частоти антени може бути досягнута за рахунок зміни розмірів котушки.

3.10. Антени КХ-діапазона та їх розрахунок

Напівхвильова антена (диполь). Є найбільш розповсюдженою антеною. Являє собою прямий провідник, електрична довжина якого рівна половині довжині хвилі. Фізична довжина диполя дещо менша $\lambda/2$ через скінченну товщину провідника і пов'язану з цим ємність антени по відношенню до оточуючих предметів, в першу чергу, до землі. Додаткова ємність антени призводить до зниження її резонансної частоти.

Довжина антени, м, з врахуванням необхідного вкорочення:

$$l = 142500/f,$$

де f – середня частота робочого діапазону, кГц.

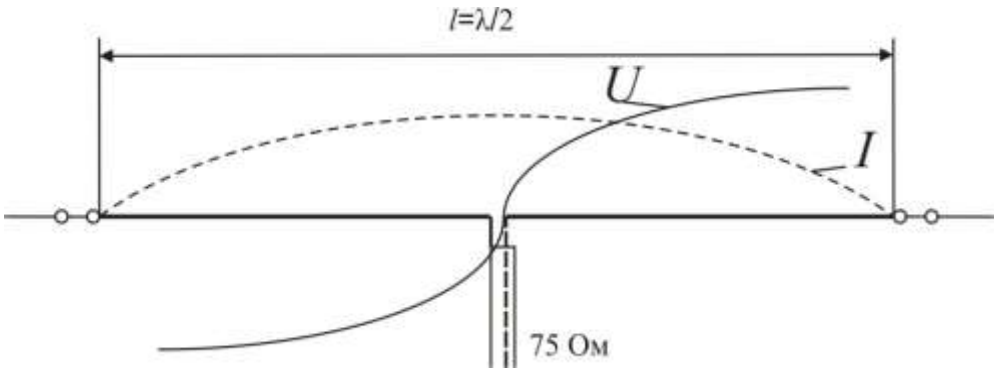

Рис. 3.12. Напівхвильова антена (диполь)

Вхідний опір диполю, якщо живлення підводиться до його середини, лежить в межах 60-80 Ом в залежності від товщини провідника і висоти

підвісу антени h над землею (при $h > 1/4\lambda$). Використовується коаксіальний кабель з хвильовим опором 75 Ом.

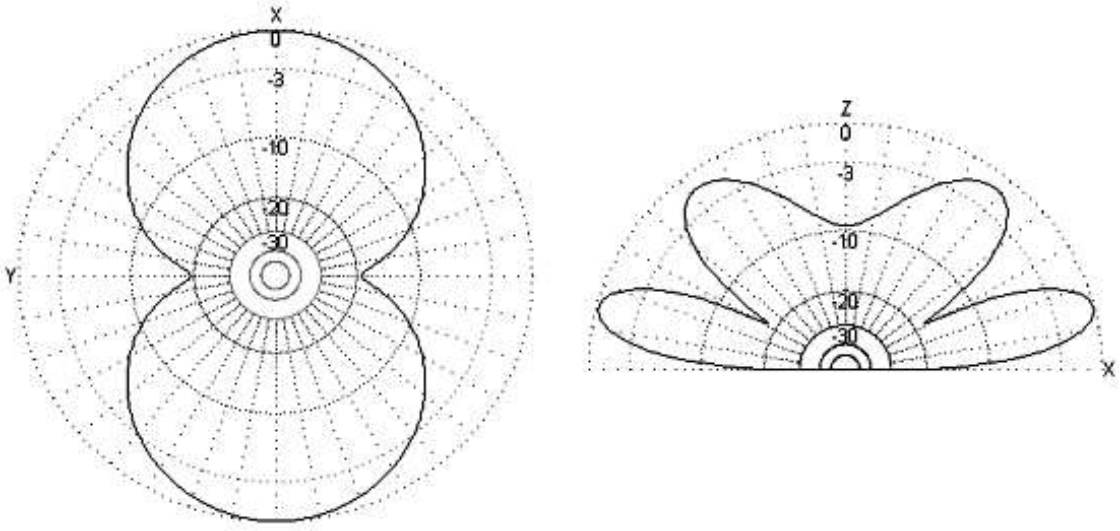

Рис. 3.13. Діаграма направленості напівхвильового диполю на частоту 14,050МГц підвішеного на висоті 20 м (за результатами комп'ютерного моделювання в програмі MMANA)

Різновидом диполю є антена «перевернута V» (інвертед V) (рис. 3.14), яка часто використовується для роботи на 40- і 80-метрових діапазонах. Перевага такої антени – наявність лише однієї опори посередині антени; кінці антени наближені до землі. Довжина антени обирається коротше довжини диполя на 5-10% через значну ємність кінців антени по відношенню до землі. Вхідний опір антени менший ніж у диполя і наближається до 50 Ом, тому рекомендується використовувати 50-омний коаксіальний кабель.

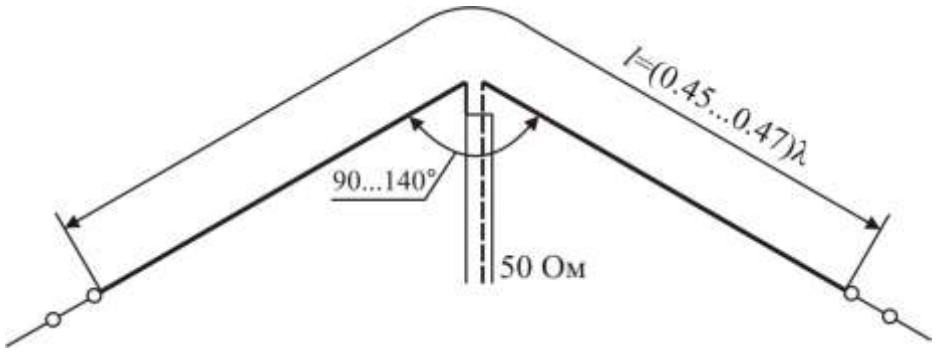

Рис. 3.14. Антена «перевернута V»

Довгопровідні антени (long wire). Найбільш прості антени – відрізок проводу, довжина якого більше $\lambda/2$. Діаграма направленості в горизонтальній площині таких антен і вхідний опір залежать від співвідношення довжини антени і довжини хвилі. Зі збільшенням довжини антени по відношенню до довжини хвилі діаграма направленості все

більше відрізняється від характерної диполю вісімки, кількість пелюстків діаграми збільшується, і головні з них стають все більш притиснутими до осі антени. Антена набуває все більше виражених направлених властивостей.

В загальному випадку вхідний опір такої антени зростає зі збільшенням її довжини, розпочинаючи з 90 до 170 Ом при живленні антени в пучності струму. При живленні антени в пучності напруги опір антени може досягати 2 кОм.

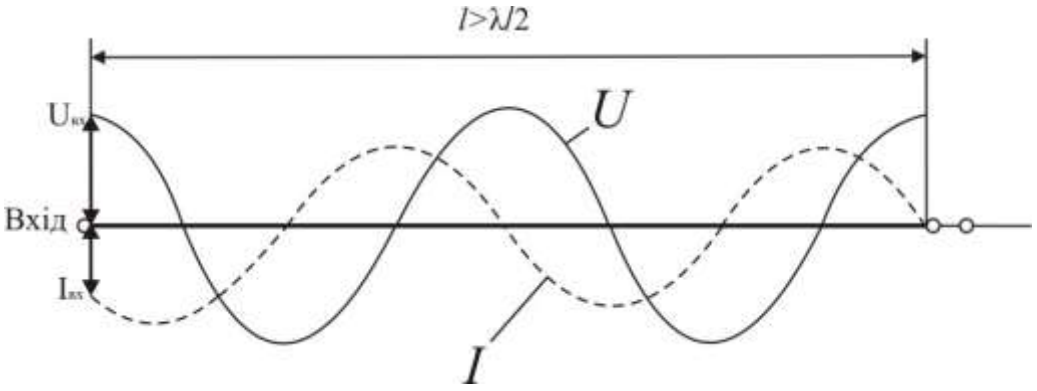

Рис. 3.15. Антена типу «long wire»

Антену підключають безпосередньо до виходу передавача (якщо передбачено узгодження вихідного контуру з антеною у вказаному діапазоні опорів) або через узгоджуючий коливальний контур. При цьому необхідно забезпечити добре заземлення передавача, оскільки земля відіграє роль іншого антенного проводу.

Вертикальні антени. Серед вертикальних антен найбільш часто використовуються антени, висота яких складає $\lambda/4$ чи $\lambda/2$. Вертикальні антени такої довжини мають притиснуте до землі випромінювання в вертикальній площині при розміщенні антен безпосередньо над землею. У горизонтальній площині діаграма спрямованості являє собою окружність, тобто такі антени є всенаправленими. ККД вертикальної антени високий, якщо провідність землі поблизу антени достатньо висока. При неможливості встановлення антени на поверхню добре провідної землі використовують «штучну землю» – ряд провідників, які радіально розходяться з-під основи антени довжиною не менше $\lambda/4$ кожний. Антена зі «штучною землею» має назву Groud Plane.

3.11. Антени які використовуються підрозділами Оперативно-рятувальної служби

Антени комплексів радіозв'язку ОРС повинні відповідати ряду вимог обумовлених специфікою роботи рятувальних підрозділів:

- мати малі габарити та великий коефіцієнт корисної дії;

- рівномірно випромінювати електромагнітну енергію в усі сторони горизонту;
- однаково добре працювати в якості передавальних та приймальних тощо.

З огляду на особливості організації рухомого зв'язку в підрозділах ОРС, рятувальними підрозділами експлуатуються антенні пристрої носимих, мобільних та стаціонарних радіостанцій.

Крім того, відповідно до частотного ресурсу МНС, антени, які використовуються рятувальною службою відносяться до таких діапазонів:

- діапазон КХ (3-30 МГц);
- діапазон 33-50 МГц (Low band);
- діапазон УКХ (148-174 МГц).

Антени КХ діапазону. Для роботи стаціонарних КХ радіостанцій (КХ радіостанцій в складі мобільних пунктів зв'язку в режимі на стоянці) використовуються такі типи антен:

1. Похилий диполь (inverted V).
2. Похилий промінь (long wire).
3. Антена зенітного випромінювання (АЗВ, рис. 3.16).

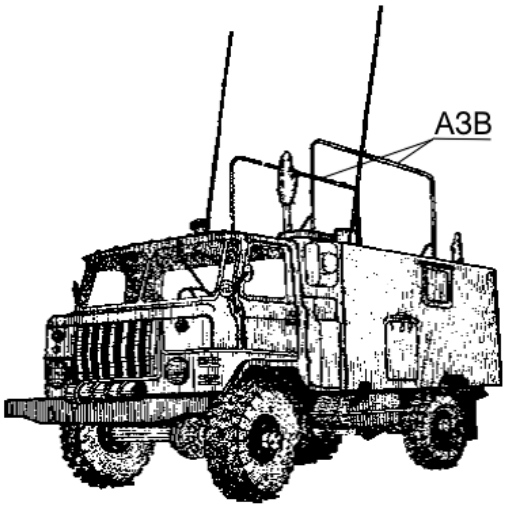

Рис. 3. 16. Загальний вигляд комбінованої радіостанції Р-142Н з розгорнутими КХ антенами АЗВ

Вказані антени забезпечують радіозв'язок по всій території України та експлуатуються сумісно з антенними узгоджувальними пристроями (антенними тюнерами).

Для роботи КХ радіостанцій в русі використовуються наступні антени:

1. Антена зенітного випромінювання (АЗВ).
2. Штирьова антена.

Вказані типи антен є вкороченими і, відповідно, є менш ефективними ніж антени призначені для стаціонарної роботи радіостанцій. Забезпечується дальність телефонного радіозв'язку близько 500 км.

Антени УКХ діапазону. В якості антен стаціонарних радіостанцій ЧЧ ОДС ОКЦ (чергової частини оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру) та ПЗЧ, а також інших пунктів радіозв'язку, найчастіше використовуються багатоелементні колінеарні антени (рис. 3.17, а, б, в) та напівхвильові вібратори (диполі) (рис. 3.17, г, д).

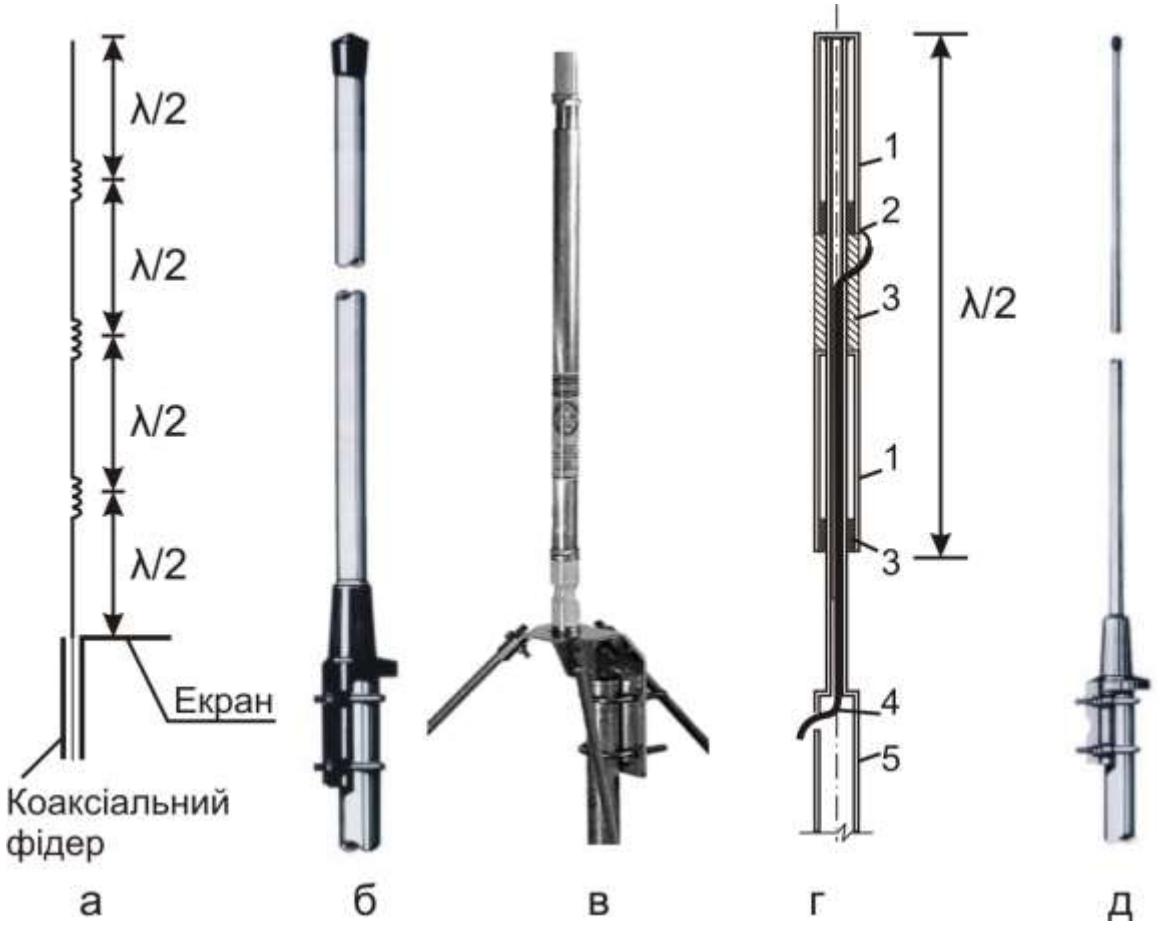

Рис. 3.17. Антени для базових радіостанцій:
а – схема коаксіальної антени; б – колінеарна широкодіапазонна антена ***CXL 2-3 C/L,M,H****; в – колінеарна антена з противагами* ***G7-144****; г – симетричний напівхвильовий вібратор типу «стакан»* ***AC-1*** *(1 – металеві циліндри; 2 – місце приєднання центральної жили кабелю; 3 – ізолятор; 4 – коаксіальний кабель; 5 – металева опора); д – широкосмуговий напівхвильовий диполь* ***CXL 2-1LW***

Симетричний напівхвильовий вібратор типу «стакан», наприклад, складається з пустотілих мідних циліндрів *1* з глухими верхніми торцями. Верхня та нижня половини вібратора утворюють ніби перевернуті стакани. Обидва стакани еквівалентні чвертьхвильовим відрізкам коаксіальної фідерної лінії, замкненої на кінці. Така лінія для струмів високої частоти є скінченним активним опором. Тому, хоча верхнє та нижнє плече вібратора мають електричне з'єднання з заземлюючою металевою опорою *5*, струми

високої частоти не замикаються на землю. Геометрична довжина антени обирається рівною $l = \lambda/2$, а вхідний опір – близько 72 Ом.

Така конструкція антени забезпечує ефективне перетворення струмів високої частоти в енергію радіохвиль та одночасно виконує роль блискавкозахисту.

В табл. 3.3 наведено характеристики сучасних базових антен УКХ діапазону.

Для встановлення на мобільні об'єкти широке розповсюдження отримали штирові антени (рис. 3.18), які відзначаються простотою конструкції та достатньою механічною міцністю. Найбільше розповсюдження отримали штирові антени типу несиметричний вібратор з розмірами $l = \lambda/4$ та $l = 5/8\lambda$.

Табл. 3.3. Характеристики УКХ антен кругового випромінювання для базових радіостанцій

Марка антени, виробник	**G7-144 (Hustler, США)**	**G6-144B (Hustler, США)**	**G3-144 (Hustler, США)**	**CXL 2-3 C/L,M,H (PROCOM, США)**	**CXL 2-2C (PROCOM, США)**	**CXL 2-1LW (PROCOM, США)**	**AC-1/1 (Оріон, Україна)**	**BF-2M2 (SV Telecom, Росія)**
Електричні характеристики								
Тип антени	Колінеарна з противагами	Колінеарна з противагами	Колінеарна 2-х елементна з противагами	Колінеарна широкодіапазонна	Коаксіальний широкодіапазонний диполь	Широкосмуговий напівхвильовий диполь	Широкосмуговий напівхвильовий диполь	Однодіапазонна колінеарна 2×7/8λ антена
Діапазон частот, МГц	145-148	145-148	144	144-157 153-166 162-175	144-175	144-165 155-175	146-151	5 МГц в смузі 144-174 МГц
КСХ на резонансі	1,2	1,2	1,2	<1,5	<1,5	<1,5	<2	<1,5
Максимальна потужність, Вт	600	600	200	150	600	150	80	200
Підсилення	7 дБд	6 дБд	3 дБд	3 дБд	0 дБд	0 дБд	0 дБд	6,8 дБд
Імпеданс, Ом	50	50	50	50	50	50	50	50
Механічні характеристики								
Довжина, м	4,5	3	2,3	2,95	1,75	1,26	1,087	3,2
Вага, кг	4	4	1	4,2	3	0,76	2,25	3
Швидкість вітрового навантаження, м/с	45	45	50	40	40	40	30	50

Вібратор, у якого довжина плеча дорівнює чверті довжини хвилі, називається *напівхвильовим*. Вхідний опір вібратора лише активний, а

реактивний опір дорівнює нулю. Внаслідок відсутності реактивної складової ККД такої антени буде максимальним. Вібратор поводиться як послідовний резонансний контур з $R_a = 73$ Ом. *Такий режим називають режимом роботи на резонансній хвилі*.

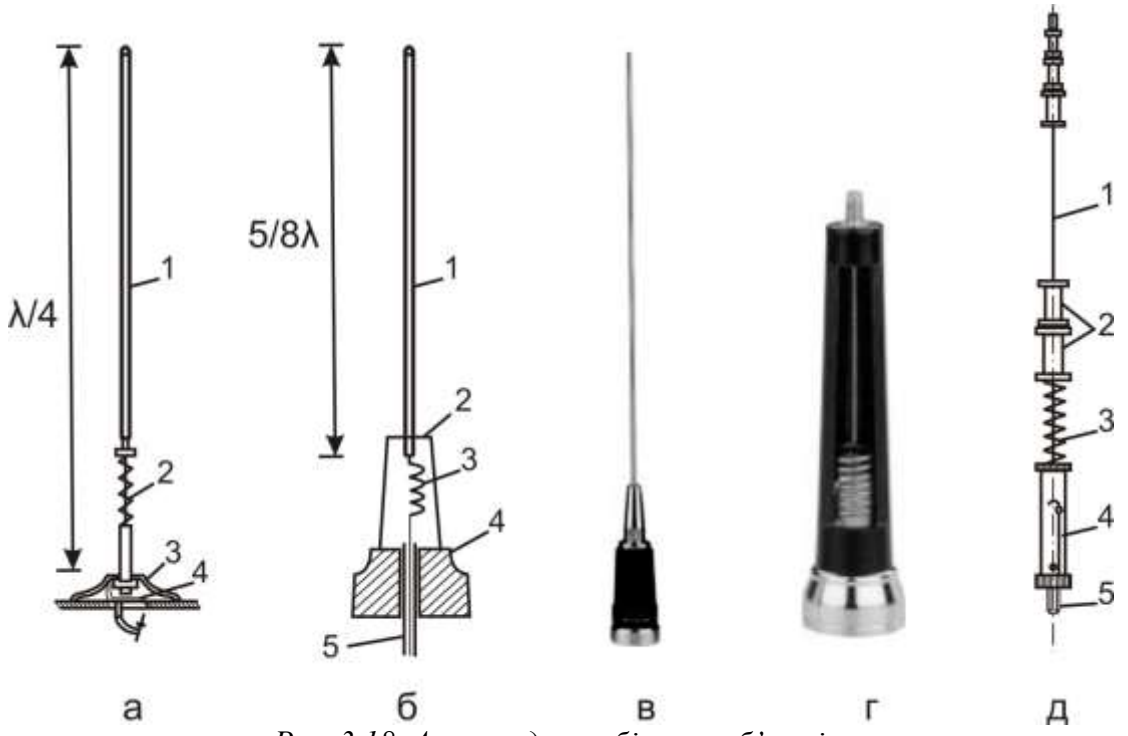

Рис. 3.18. Антени для мобільних об'єктів:
а – автомобільна штирова (1 – металевий штир, 2 – пружина, 3 – прохідний ізолятор, 4 – узгоджуючий чвертьхвильовий трансформатор); б – вкорочена автомобільна штирова (1 – випромінювач, 2 – діелектричний кожух, 3 – узгоджуюча котушка, 4 – корпус, 5 – коаксіальний кабель); в – автомобільна антена ANLI AW-6; г – узгоджуюча котушка антени ANLI QW-70U; д – антена системи Кулікова (1 – стальний трос, 2 – металеві циліндри, 3 – пружина, 4 – система натягування троса та замок, 5 – різьбове з'єднання)

Такі вібратори застосовуються при проектуванні вузькосмугових антен, оскільки значно спрощується процедура узгодження з фідерним трактом (виходом передавача).

При довжині плеча вібратора $l = 5/8\lambda$ (рис. 3.18, б, в), діаграма спрямованості несиметричного вібратора має один головний пелюсток у напрямку, перпендикулярному осі вібратора й два невеликих бічних пелюстка. Незважаючи на наявність бічних пелюстків спрямованість випромінювання в напрямку, перпендикулярному осі вібратора, отримується максимальною.

Це значить, що коефіцієнт підсилення такої антени буде максимальним. Реактивний опір вібратора носить лише ємнісний характер і є відносно більшим.

Технічні характеристики деяких автомобільних антен подано в табл.3.4.

Табл. 3.4. Основні характеристики автомобільних антен ANLI

Модель	Діапазон частот	Коефіцієнт підсилення та хвильова довжина	Довжина, м
QW-70U	430-470, 405-512	3,0 dbi, $3/4\lambda$	0,52
AW-6	138-174	3,2 dbi, $5/8\lambda$	1,3

Противаги – це система провідників ізольованих від землі, яку підвішують під антеною. Призначеня противаг – участь у формуванні необхідних параметрів діаграми спрямованості. У радіостанціях, встановлених на автомобілях, як противаги найчастіше використовується дах або інша металева деталь автомобіля. В автомобілі із брезентовим тентом противагою повинне слугувати кільце із привареними до нього чвертьхвильовими штирями. Кільце зі штирями розміщується в горизонтальній площині біля основи антени, і до нього припаюється екрануюче обплетення кабелю. Від якості з'єднання екрануючого обплетення антенного кабелю з металевою масою автомобіля або противагами значно залежить величина потужності, яка випромінюється антеною.

Особливості експлуатації автомобільних антен. Особливості діяльності ОРС накладають певні умови на системи радіозв'язку, які впливають на зміну їх тактико-технічних характеристик під час встановлення та експлуатації підрозділами аварійно-рятувальних служб. Наприклад, антенно-фідерні пристрої (АФП), які використовуються в комплексі з мобільними радіостанціями аварійно-рятувальних та пожежних автомобілів зазнають значного впливу від додаткових металевих предметів встановлених на даху автомобіля (пенали для всмоктувальних рукавів, трьохколінна драбина, інше пожежне та спеціальне обладнання тощо) [2]. В результаті, параметри антенно-фідерних пристроїв, які повинні контролюватися під час експлуатації систем радіозв'язку [10] набувають величин, що відрізняються від визначених в стандартних умовах.

Встановлено [2], що при малих значеннях відстані від антени встановленої на даху автомобіля до металевих предметів L, рівної $0.2\lambda \div 0.31\lambda$ (λ – робоча довжина хвилі системи радіозв'язку, м) спотворення діаграм направленості відбувається за рахунок збудження металевих предметів полем антени (рис.3.19, позиція 1 та 2). При збільшенні відстані ($L \geq 0.35$) інтерференційні спотворення зменшуються, і з'являються дифракційні спотворення, які виникають внаслідок екрануючої дії металевих предметів (рис.3.19, позиція 3). Остання крива (рис.3.19, позиція 4) характеризує діаграму направленості штирової антени встановленої на даху автомобіля без додаткових металевих предметів.

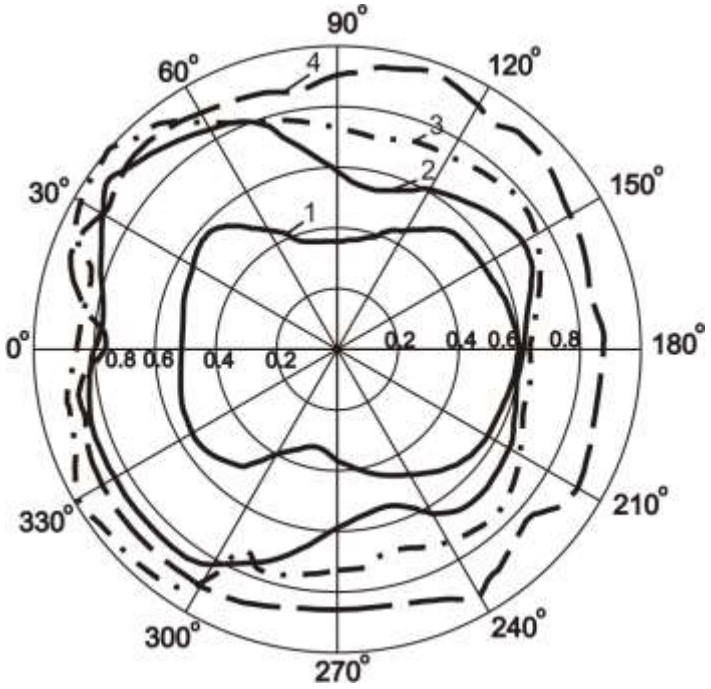

Рис. 3.19. Діаграма направленості при різних відстанях L між антеною і металевими (відбиваючими) предметами [2]*:*
1– $L = 0.2\lambda$ *; 2 –* $L = 0.31\lambda$ *; 3 –* $L = 0.35\lambda$ *; 4 – без відбиваючих предметів*

Дальність радіозв'язку (а в цілому надійність та ефективність систем зв'язку) залежить від умов та особливостей експлуатації АФП: потужність втрат, які виникають при близькому встановленні антени до металевих предметів ($L = 0.2\lambda$) може складати до 60% від потужності, що випромінюється.

Рис. 3.20. Встановлення $\lambda/4$ *штирової антени на даху пожежної автоцистерни АЦ-40(130)63Б*

Практика показує, що дальність радіозв'язку з антеною встановленою на даху автомобіля, може в 2…2,5 рази перевищувати дальність зв'язку у випадку встановлення антени на кронштейні при деякому віддаленні від даху автомобіля (рис. 3.20).

В якості антен носимих станцій використовуються вкорочені антени різних типів (рис. 3.21).

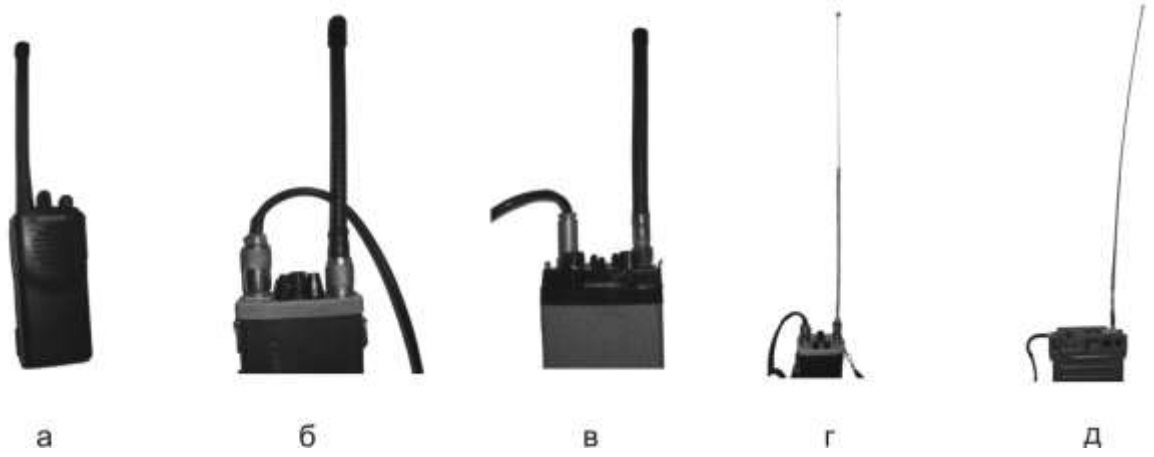

Рис. 3.21. Антени носимих радіостанцій:
а – вкорочена антена радіостанції Kenwood TK-2107; б – вкорочена спіральна антена радіостанції РН-12Б "Тантал-1"; в – вкорочена спіральна антена радіостанції Р-838КН "Виола-Н"; г – 1/4-хвильова пружинна антена радіостанції РН-12Б "Тантал-1"; д – антена системи Кулікова радіостанції Р-107М

В залежності від частотного діапазону, умов місцевості тощо антени носимих радіостанцій дозволяють забезпечити впевнений радіозв'язок у межах прямої видимості – близько 5 км. В разі використання направлених антен (ранцеві радіостанції типу Р-159, Р-107М) дальність радіозв'язку може складати близько 20-25 км.

3.12. Фідери

Фідерами називаються лінії призначені для передачі енергії змінного струму радіочастоти. Конструкції фідерів визначаються пропонованими до них вимогами. Основними вимогами є такі [11]:

1. Якомога менші втрати переданої потужності, високий ККД фідера.
2. Відсутність випромінювання й прийому електромагнітних хвиль проводами фідера, тобто фідер не повинен мати так званого антенного ефекту.
3. Висока електрична міцність, достатня для передачі великих потужностей.
4. Висока механічна міцність, простота конструкції, зручність прокладання та кріплення.

Найбільш високий ККД фідера отримується в режимі хвиль, що біжать. В такому режимі відсутні додаткові втрати енергії, які

створювалися б при наявності відбитих хвиль. Крім того, у режимі хвиль, що біжать, вхідний опір фідера не має реактивної складової, тому що хвилі струму й напруги збігаються по фазі. В інших же режимах реактивна складова вхідного опору фідера викликає розстроювання коливальної системи генератора, що живить фідер. Випромінювання радіохвиль фідером шкідливе оскільки на такі випромінювання витрачається частина потужності, що повинна надходити на навантаження, отже, знижується ККД фідера. Крім того, хвилі, випромінювані фідером, створюють перешкоди іншим радіозасобам. Прийом радіохвиль фідером також небажаний, оскільки сигнал, що надійшов у радіоприймач від фідера, може виявитися серйозною перешкодою для основного сигналу, прийнятого антеною.

Антенний ефект проявляється слабкіше в тому випадку, коли провода фідера розташовані на досить малій відстані один від одного (у порівнянні з довжиною хвилі). У цьому випадку поля, створювані в просторі кожним із проводів, взаємно компенсуються. Однак при близькому розташуванні проводів фідера по ньому не можна передавати великі потужності. Ефективним засобом усунення антенного ефекту є прокладання проводів лінії в екрані у вигляді трубки або металевого оплетення із дротів.

По конструктивному виконанню фідери поділяються на: двопроводні та чотирипровідні відкриті (повітряні), двопроводні екрановані, коаксіальні.

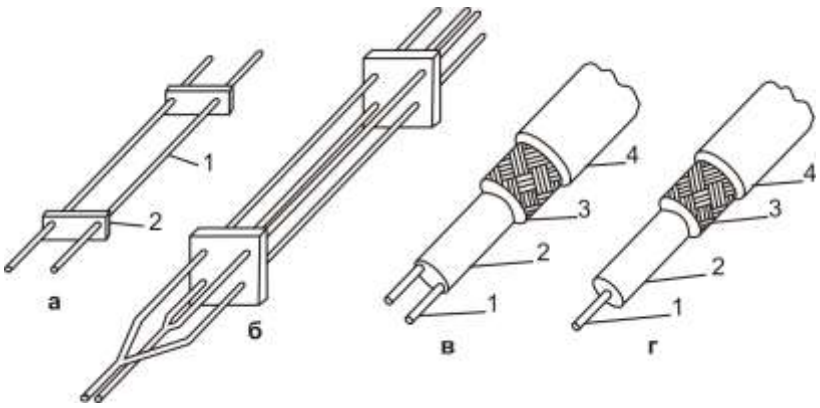

Рис. 3.22. Основні види ліній передачі:
а – відкрита двопровідна; б – відкрита чотирипровідна; в – двопровідна екранована; г – коаксіальна

Двопровідна відкрита лінія являє собою два паралельно розташованих провода 1, закріплених на ізолюючих розпірках 2 таким чином, щоб зберігалася однакова відстань між проводами по всій довжині (рис. 3.22 а). Провода лінії виготовляють із дроту або трубок. Як матеріал для проводів використовується мідь, бронза, алюміній, а також сталевий провід, покритий шаром міді (біметал). Діаметр проводів буває від 1 до 10 мм. Розпірки виготовляють звичайно з керамічних діелектриків з малими діелектричними втратами. Основною перевагою двопровідних відкритих

ліній є простота конструкції. Недолік таких ліній – значні втрати енергії за рахунок поверхневого ефекту та випромінювання. Втрати на випромінювання стають неприпустимо великими вже на дециметрових хвилях. У цьому випадку відстань між проводами виявляється порівнянною з довжиною хвилі, отже поля, створювані проводами, не компенсують одне одне.

Застосування відкритих двопровідних ліній обмежується метровими хвилями.

Ослаблення антенного ефекту у відкритих лініях може бути досягнуте застосуванням чотирипровідного фідера (рис. 3.22 б), у якого провода, розташовані симетрично відносно осі лінії, попарно з'єднані. Кожна пара таких проводів еквівалентна одному проводу, розташованому по цій осі, але оскільки напрямок струмів у кожній парі проводів протилежний, то їхні поля взаємно знищуються.

У двопровідній екранованій лінії, так званому симетричному кабелі (рис. 3.22 в), проводи 1 ізолюються твердим діелектриком 2, а поверх нього одягається металеве оплетення 3. Це оплетення виконує роль екрана, вона перешкоджає випромінюванню й прийому радіохвиль проводами фідера. Екран має захисну оболонку 4 з ізоляційного матеріалу, що захищає фідер від впливу вологи та механічних ушкоджень. Екранована лінія має переваги перед відкритою лінією відносно антенного ефекту, але в екранованих лініях до втрат енергії в проводах і діелектрику між ними додаються втрати в екрані за рахунок наведених у ньому вихрових струмів. Для зменшення втрат в екрані оплетення виконується з мідних дротів. Екранована лінія поступається відкритій також відносно діелектричних втрат. Хоча в екранованих лініях застосовують високоякісні діелектрики (наприклад, поліетилен), все ж таки діелектричні втрати в них більші, ніж у повітрі. Внаслідок зростання діелектричних втрат з підвищенням частоти двопровідні, екрановані лінії виявляються непридатними для передачі енергії сантиметрових хвиль. Вони застосовуються на більш довгих хвилях – дециметрових, метрових.

Коаксіальні лінії (рис. 3.22 г) складаються із двох циліндричних проводів 1 та 3, що мають загальну вісь і розділені твердим діелектриком 2. Зовнішній провід виконується у вигляді металевого оплетення або трубки. Такі лінії називаються коаксіальними кабелями. Електромагнітне поле поширюється між центральним проводом і внутрішньою поверхнею оплетення або трубки. Як і в двопровідній екранованій лінії, втрати на випромінювання відсутні. Крім того, завдяки відносно великому діаметру зовнішнього провода втрати за рахунок поверхневого ефекту в такому фідері менші. Разом з тим конструкція їх простіша, ніж двопровідних екранованих ліній. Хвильовий опір коаксіальної лінії обчислюється за формулою

$$\rho = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} lg \frac{D}{d},$$

де D – внутрішній діаметр зовнішнього проводу (оплетення або трубки); d – діаметр внутрішнього проводу.

Для систем УКХ радіозв’язку підрозділами ОРС використовуються в основному коаксіальні кабелі (фідери). Такі лінії можуть прокладатися коаксіальними кабелями різних типів, які мають різні електричні та механічні характеристики.

Для з’єднання КХ радіостанцій з антенними пристроями використовуються відкриті двопровідні лінії (радіостанції типу Р-130). Проте, з переоснащенням підрозділів ОРС сучасною КХ радіоапаратурою, спостерігається тенденція переходу на коаксіальні фідерні лінії, які є більш зручними для експлуатації.

РОЗДІЛ 4. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

4.1. Класифікація систем радіозв'язку

Сьогодні галузь телекомунікаційних послуг, зокрема надання послуг безпровідного радіозв'язку є галуззю з найбільш швидкою динамікою розвитку. Цьому сприяють постійний ріст споживчого попиту на послуги зв'язку й інформацію, а також досягнення науково-технічного прогресу в області електроніки, волоконної оптики й обчислювальної техніки. З середини XX століття вже змінено декілька поколінь систем радіозв'язку, і сьогодні, кожні 5-8 років, темп розвитку нових цифрових технологій та елементної бази диктує необхідність зміни радіотехнічного устаткування.

В даному розділі буле розглядатися класифікація систем радіозв'язку, які використовуються підрозділами МНС України, а також можуть бути використані в разі необхідності при проведенні аварійно-рятувальних робіт. Для цього, слід визначити основні принципи, за якими класифікуються системи радіозв'язку.

Класифікацію систем радіозв'язку можна здійснити за розміщенням радіопередавачів:

1. *фіксована служба* – служба радіозв'язку між визначеними фіксованими пунктами. Включає в себе системи *фіксованої супутникової служби* (служби радіозв'язку між земними станціями із заданим місцезнаходженням, коли використовуються один або декілька супутників).
2. *рухома служба* – служба радіозв'язку між рухомою і сухопутною станціями або між рухомими станціями. Включає в себе системи:
   - *рухомої супутникової служби* (служба радіозв'язку між рухомими земними станціями і однією чи кількома космічними станціями, або між космічними станціями, які використовуються цією службою, або між рухомими земними станціями за допомогою однієї чи кількох космічних станцій);
   - *сухопутної рухомої служби* (рухома служба радіозв'язку між базовими станціями і сухопутними рухомими станціями або між сухопутними рухомими станціями – саме системи даної служби використовуються підрозділами ОРС ЦЗ);
   - *сухопутної рухомої супутникової служби* (рухома супутникова служба радіозв'язку, в якій рухомі земні станції розташовані на суші);
   - *морської рухомої служби* (рухома служба радіозв'язку між береговими станціями та судновими станціями, або між судновими станціями, або між станціями внутрішньосуднового зв'язку);
   - *морської рухомої супутникової служби* (рухома супутникова служба радіозв'язку, в якій рухомі наземні станції розташовані на борту морських суден);

– *повітряної рухомої служби* (рухома служба радіозв'язку між стаціонарними станціями повітряної рухомої служби і станціями повітряних суден або між станціями повітряних суден).

За *принципом проходження радіохвиль*, системи радіозв'язку поділяються наступним чином:

1. УКХ радіосистеми прямого зв'язку (використовуються підрозділами ОРС ЦЗ для організації зв'язку нижніх ланок управління, на місці ліквідації НС тощо).
2. Іоносферні КХ системи радіозв'язку (використовуються підрозділами ОРС ЦЗ для дальнього радіозв'язку).
3. Тропосферні радіорелейні системи радіозв'язку.
4. Радіосистеми, які використовують іоносферне розсіювання та відбивання від слідів метеорів.

Окрім того, системи радіозв'язку з рухомими об'єктами, що використовуються, можна розділити на такі класи:

– професійні системи рухомого зв'язку (є базовими при організації радіомереж МНС України);
– системи персонального радіовиклику;
– стільникові системи рухомого зв'язку (використовуються сьогодні працівниками підрозділів ОРС ЦЗ для забезпечення адміністративно-управлінського зв'язку);
– супутникові системи.

Надалі будемо розглядати системи рухомої сухопутної служби, як такої, що складає основу систем радіозв'язку підрозділів МНС України. Подальша класифікація систем рухомого зв'язку пов'язана з користувачами цих систем. В залежності від *користувача* системи рухомого зв'язку розрізняють:

1. Системи професійного рухомого радіозв'язку (ПРР, PMR – private mobile radio). Дані системи створювалися для експлуатації спеціальними організаціями, зокрема аварійно-рятувальними підрозділами, пожежною охороною тощо. Система є власністю одного користувача (групи користувачів). Комерційні послуги не передбачені. Звичайно невелика за масштабами, малоканальна.
2. Системи рухомого радіозв'язку загального користування (РРЗК, PAMR – public access mobile radio). Є власністю оператора, який надає послуги зв'язку абонентам на комерційній основі. Більшість сучасних систем радіозв'язку побудовані як системи РЗЗК.

Розвиток мереж наземного рухомого радіозв'язку на території України протягом останніх трьох десятків років відбувався на базі розробки систем ПРР, які використовувалися для організації оперативного зв'язку в основному для вищих органів державної влади і управління, силових структур таких як МВС, МО та служби Державної безпеки.

В свою чергу, системи ПРР класифікують таким чином:

– *конвенціональні системи радіозв'язку* – системи з закріпленням каналів за абонентами. Одно- та двоканальні УКХ системи з можливістю використання ретрансляторів, з диспетчерським управлінням роботою мережі.
– *транкові системи радіозв'язку* – багатоканальні радіосистеми з автоматичним перерозподілом каналів.

Класифікація транкових систем має в основі:

1. методи керування перерозподілом каналів радіозв'язку;
2. формат передачі даних;
3. багатозоновість системи;
4. метод надання каналу тощо.

Далі буде приведено класифікацію систем ПРР та більш детально розглянуто ті системи радіозв'язку, які є основою зв'язку підрозділів ОРС ЦЗ.

4.2. Класифікація систем професійного рухомого радіозв'язку

Класифікація рішень професійного рухомого радіозв'язку визначається розходженнями потреб замовників, а також галузевою специфікою систем ПРР. Тому даний розділ починається з визначення загальних потреб, що задовольняються, а також призначення й області застосування професійного радіозв'язку в цілому. Потім приводиться загальна класифікація, по кожному з розділів якої визначені призначення й область застосування. Даний матеріал може бути інструментом, за допомогою якого можна скласти уявлення про спектр потреб і пропонованих рішень, а також зрозуміти принципи формування лінійки пропонованих рішень. Вибір рішення повинен обов'язково починатися з уточнення потреб замовника, визначення специфічних особливостей, уточнення постановки завдання. Тільки після цього можливе пророблення варіантів рішення, їхня оцінка й обґрунтування вибору.

Специфіка систем ПРР і загальні вимоги, які повинні задовольнятися.

Система ПРР, як будь-яка комунікаційна інфраструктура організації (підприємства), слугує для передачі інформації в цілях забезпечення управління й безпеки та обслуговує сегмент оперативного зв'язку з мобільними (рухомими) абонентами.

Специфічними особливостями систем ПРР є:

– швидкість (до 500 мс) і простота (натисканням однієї кнопки) установлення зв'язку;
– забезпечення групового зв'язку (організація груп, підгруп);
– надійність устаткування для роботи в складних умовах (пило-, волого-, вібро-, ударо-, вибухозахищеність тощо).

Наступний рівень деталізації визначає поділ на конкретні рішення систем ПРР, виходячи з різних потреб користувачів, які задовольняються.

Основними параметрами, що визначають поділ на різні класи продуктів всередині систем ПРР, є:

- необхідна щільність абонентів зоні, яка обслуговується;
- необхідна площа покриття (визначає масштаб системи);
- необхідний рівень сервісу;
- автоматичний чи ручний вибір каналу, тобто спосіб керування системою;
- можливості й глибина групоутворення;
- наявність індивідуальних та аварійних викликів;
- ідентифікація абонентів;
- вихід у телефонну мережу, повний дуплекс на рівні абонентського терміналу;
- передача коротких повідомлень;
- передача даних тощо.

Загальне подання класифікації рішень систем ПРР.

На підставі представлених вище специфічних особливостей і вимог до рішення ПРР, всі системи можна розділити на два основних класи, які, у свою чергу, також діляться на підкласи:

1. системи із закріпленими каналами або конвенціональні (невисока щільність абонентів, ручний вибір каналів);
   - локальні (малого радіуса дії, без використання базових станцій);
   - диспетчерські на базі симплексної радіостанції;
   - диспетчерські на базі ретранслятора;
   - багатозонові складні диспетчерські системи;
2. системи з розподіленими каналами або транкові (висока щільність абонентів, централізоване керування системою);
   - аналогові (оперативний мовний зв'язок, статусні повідомлення);
   - цифрові інтегровані системи (оперативний мовний зв'язок, дуплексна бездротова телефонія, всі види передачі даних).

Вибір конкретного рішення вимагає обов'язкового залучення кваліфікованого підрядника, який пропонує комплексне рішення та повинен почати свою роботу з уточнення потреб замовника, визначення специфічних особливостей, уточнення постановки завдання. Тільки після цього можливе пророблення варіантів рішення, їхня оцінка й обґрунтування вибору.

Деталізація представленої класифікації рішень ПРР, визначення призначення й області застосування.

Конвенціональні системи зв'язку (із закріпленими каналами).

Конвенціональні системи призначені для використання в умовах невисокої щільності абонентів (або, точніше, ідентифікаторів, під яким може розумітися як один абонент, так і група абонентів, що мають індивідуальні або групові ідентифікатори). Групи/абоненти закріплені за тим або іншим радіоканалом, і цей канал обирається абонентом (але не системою).

Локальні системи (малого радіуса дії).

Призначені для організації радіозв'язку на невеликій території (через те, що радіус дії радіостанцій без використання базової станції (БС)

становить 1-2 км для носимих та 3-7 км для мобільних). Застосовується службами охорони, на залізничному і річковому транспорті, а також в інших галузях. Використовуються звичайні радіостанції з урахуванням специфічних вимог до них. Істотне розширення функціональних можливостей вносить використання радіостанцій з вбудованим сигналінгом (CTCSS, DCS, DTMF тощо).

Диспетчерські системи на базі симплексної радіостанції.

Винесення однієї з абонентських станцій у якості стаціонарної диспетчерської радіостанції (з установкою базової антени на значній висоті) дозволяє розширити зону дії (приблизно до 10 км по радіусі від диспетчерської станції до носимих та до 20-50 км до возимих). Таким чином, призначенням таких систем є забезпечення мобільного зв'язку на відносно великій території між абонентами й диспетчером поряд із забезпеченням можливості організації зв'язку й між абонентами, але на таких відстанях, як і в локальних системах. Подібна схема дуже поширена у МВС, МНС (практично всі аварійно-рятувальні частини мають власну диспетчерську радіостанцію, що управляє роботою підрозділів), а також у тих організаціях, де є досить тверда прив'язка до диспетчера (наприклад, на річковому або залізничному транспорті), а зв'язок у групі (між собою) потрібний на невеликій відстані (1-2 км). У радянські часи подібна схема радіозв'язку була найпоширенішою.

Використовуються звичайні радіостанції з урахуванням специфічних вимог до них, в якості стаціонарної станції використовується мобільна радіостанція. Істотне розширення функціональних можливостей вносить використання радіостанцій з вбудованим сигналінгом.

Диспетчерські системи на базі ретранслятора.

Використання прийомопередавача (ретранслятора), що приймає сигнал від абонентської радіостанції на одній частоті й одночасно передає його на іншій, дозволяє організувати взаємодію всіх абонентів між собою на всій території дії ретранслятора (тобто зв'язок може бути не тільки із центральною станцією на великій відстані, але й абоненти можуть зв'язуватися між собою). При такій схемі у випадку використання диспетчера йому не обов'язково бути поруч із диспетчерською радіостанцією (аналогічно до диспетчерської системи на базі симплексної радіостанції), він може перебувати в будь-якому місці в зоні дії ретранслятора і як диспетчерську станцію використовувати звичайну абонентську радіостанцію. Дане рішення найпоширеніше й має істотну гнучкість. Використовується практично всіма основними користувачами, наприклад МВС, МНС, нафтогазовим комплексом тощо. Істотне розширення функціональних можливостей вносить використання радіостанцій з вбудованим сигналінгом.

Багатозонові складні диспетчерські системи.

Об'єднання декількох зон у єдину систему дозволяє організувати покриття більшої площі. Можлива безліч конфігурацій і ступенів автоматизації подібного об'єднання. Наприклад, для організації зв'язку

уздовж трубопроводу, уздовж ліній електропередач (низька щільність абонентів, рідко розташовані центри керування) або для організації зв'язку на великій площі (з низькою щільністю абонентів), наприклад, для організації зв'язку для регіональних митних управлінь тощо. Як правило, для об'єднання з різними підсистемами (з диспетчерською системою на базі симплексної радіостанції та/або диспетчерською системою на базі ретранслятора) використовується складний диспетчерський пульт (комутатор), який і дозволяє організувати взаємодію абонентів між зонами з різним ступенем автоматизації (у найпростішому випадку, комутація може здійснюватися вручну диспетчером). Істотне розширення функціональних можливостей вносить використання радіостанцій з убудованим сигналінгом.

Транкові системи зв'язку (або системи з розподіленими каналами).

На принципі транку (від англ. «стовбур», «пучок») заснована дія багатьох систем зв'язку (провідна телефонія, стільниковий зв'язок тощо). Основою принципу є використання обмеженого числа каналів для великої кількості користувачів. Найбільш наочною аналогією є офісна АТС, що дозволяє дати доступ до обмеженого числа міських ліній великій кількості користувачів, а також забезпечує їм можливість зв'язуватися між собою всередині мережі (без виходу на мережі загального користування). Транкові системи ПРР використовують такий же принцип, лише для доступу до абонентів замість проводів використовується радіоканал, а також абонент має можливість роботи в групах і підгрупах. Таким чином, транкові системи застосовуються насамперед при:

- високій щільності абонентів;
- необхідності централізованого керування системою.

Застосування транку дозволяє:

- істотно заощаджувати частотний ресурс;
- надавати більш високий рівень сервісу абонентам;
- ефективно управляти експлуатацією й розвитком системи.

Аналогові транкові системи.

Основним призначенням систем даного класу є забезпечення оперативного мовного зв'язку, а також забезпечення сервісу коротких повідомлень.

Серед стандартів аналогового транку варто розглядати лише відкриті стандарти, прийняті в Європі. Оптимальним є використання відкритого транкового стандарту MPT1327, специфікаціями якого передбачена можливість побудови багатозонових систем. Системи в рамках стандарту MPT1327 розділяються на два основних класи за принципом побудови архітектури системи:

- системи з розподіленим керуванням;
- системи із централізованим керуванням.

Основним призначенням систем з розподіленим керуванням є побудова систем малого й середнього масштабу (до 5-8 базових станцій у

системі). Використання розподіленої архітектури побудови, що виключає наявність центрального контролера в системі за рахунок розподілу його функцій між всіма контролерами системи, дозволяє істотно підвищити економічну ефективність, а також підвищити надійність системи. Вихід з ладу якого-небудь елемента не призводить до виходу з ладу системи в цілому.

Основним призначенням систем із централізованим керуванням є побудова систем середнього й великого масштабу з розширеними функціональними можливостями.

Цифрові інтегровані системи ПРР.

Це новий клас систем, що містить у собі всі можливості аналогових транкових систем, а також доповнюється можливістю передачі всіх видів даних і дуплексної телефонії. Основним призначенням даного класу систем є забезпечення оперативним мовним зв'язком поряд з передачею даних і бездротовою телефонією.

Основна ніша – побудова радіосегменту загальнокорпоративної мережі передачі голосу й даних з метою поліпшення керування діяльністю підрозділів.

Даному класу систем відповідають рішення на базі, наприклад, відкритого європейського стандарту TETRA.

На базі стандарту TETRA можна об'єднати підсистеми, які раніше реалізовувалися із застосуванням аналогових рішень ПРР, а також підсистеми низькошвидкісної передачі даних (телеметрія тощо). Технологія нова й перебуває у фазі активного розвитку. Практично всі ключові споживачі ПРР проявляють до неї підвищену цікавість.

Класифікація рішень у рамках стандарту TETRA є схожою із уже сформованою в аналогових транкових системах і прямо пов'язана з масштабом мережі. На додаток до цього варто звертати увагу на можливості системи по реалізації пакетної передачі даних і пакетної комутації каналів.

Абонентські радіостанції й аксесуари до них.

Модельний ряд абонентських станцій прив'язаний до вищенаведених класів рішень. Лінійка радіостанцій складається із простих конвенціональних радіостанцій, складних конвенціональних радіостанцій (із сигналінгом), транкових радіостанцій (різних технологій).

Основна маса аналогових радіостанцій призначена для голосового зв'язку, тоді як кілька типів возимих радіостанцій випускаються в спеціалізованих модифікаціях для низькошвидкісної передачі даних. Більша частина цифрових абонентських станцій є універсальними терміналами, які об’єднують у собі функції професійної радіостанції, телефону й терміналу для передачі даних і коротких повідомлень.

Також радіостанції діляться по типу використання на носимі та возимі (мобільні).

Подальший розподіл відбувається по діапазонах частот і функціональним можливостям. Функціональні можливості, багато в чому,

визначаються можливостями класу рішень, до якого відноситься абонентське устаткування (наприклад, можливість передачі даних і коротких повідомлень, повний дуплекс, наявність аварійного виклику, роумінг тощо).

Поза залежністю від належності до того або іншого класу рішень, абонентське устаткування розрізняється за групою параметрів, що визначають можливості його застосування. Мова йде, насамперед, про такі параметри, як:

- надійність (обумовлена герметичністю, ударо- та вібростійкістю, пило- і вологозахищеністю, наприклад, у відповідності зі стандартами MIL810 C/D/E, IP54, TIA/EIA 603), що дозволяє використовувати радіостанції для роботи в складних умовах;
- вибухобезпечність.

Довідка по частотним діапазонам.

Використання радіоканалу для передачі інформації має на увазі необхідність використання частотного ресурсу. У ПРР використовується кілька основних діапазонів частот (табл.4.1).

Таблиця 4.1. Використання радіочастотного ресурсу системами рухомого зв'язку [3, 12]

Назва (укр/англ)	**Орієнтовні межі діапазону в Україні**	**Специфіка**
Декаметровий діапазон/ Low Band	33-57 МГц	Застосовувався для сільського радіозв'язку (використовувалися радянські р/с «Льон»). Близькість до КХ визначає специфіку поширення радіохвиль. Використається в слабкозабудованій місцевості. Радіостанції мають габарити на 15-20% більше, ніж р/с інших діапазонів. Можна будувати локальні або симплексні диспетчерські системи
Метровий діапазон/VHF	146-174 МГц	Найбільш насичений діапазон. Практично немає вільних частот. Використовується МНС, МВС, СБУ й іншими державними структурами для організації конвенціонального радіозв'язку. Можлива побудова й транкових систем, але це робиться рідко. Спостерігається явний дефіцит частот у даному діапазоні
Метровий/VHF	300-342 МГц	Унікальний діапазон (в іншому світі використовується НАТО), що застосовується для систем АЛТАЙ (інших псевдотранкових систем типу Senao тощо) і сучасних транкових мереж МРТ1327, а також для використання на річковому транспорті. Основними користувачами цього діапазону є нафтогазові компанії, річковий флот. Але в силу унікальності даного діапазону лише обмежене число виробників виготовляє устаткування для даного діапазону
ДЦВ/UHF	400-490 МГц	Найпоширеніший діапазон у Європі. Дуже популярний для застосування в транкових системах. Відповідні ділянки цього діапазону виділені для таких відомств як МВС, МНС саме для побудови транкових систем. Найбільш вдало підходить для міст і для гірської місцевості (з погляду фізики діапазону). Найбільш перспективний діапазон. У цьому ж діапазоні (380-400 МГц, 410-430 МГц, 450-470 МГц) працює встаткування цифрового стандарту TETRA
ДЦВ	815-820 МГц 860-865 МГц	Невелика ділянка діапазону була виділена під транк, але серйозного розвитку в Україні поки не одержав. Найбільш розвинений цей діапазон у США й в Китаї. У західній Європі частково зайнятий під цифрове ТБ. Устаткування TETRA доступне в цьому діапазоні. Перспективи розвитку цього діапазону для ПРР поки не визначені

4.3. Радіорелейні системи передачі

Радіосистема передачі, у якій сигнали електрозв'язку передаються за допомогою наземних ретрансляційних станцій, називається *радіорелейною системою передачі.*

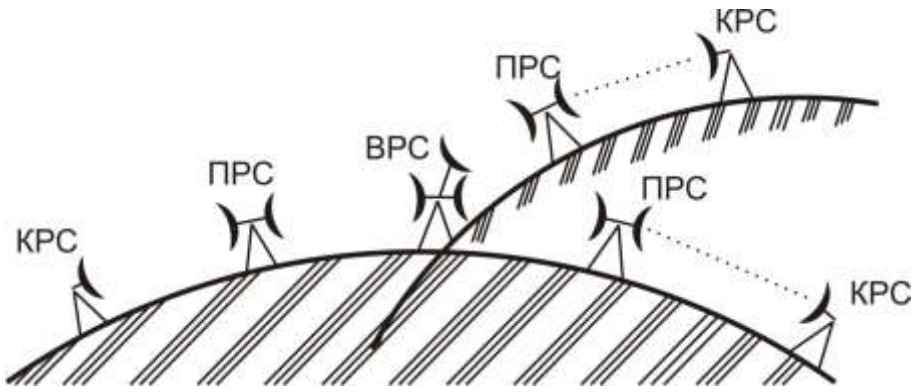

Рис. 4.1. Принцип радіорелейного зв'язку
КРС – кінцева радіорелейна станція; ПРС – проміжна радіорелейна станція; ВРС – вузлова радіорелейна станція

На частотах УВЧ- і НВЧ-діапазонів надійний зв'язок з низьким рівнем перешкод може бути отриманий лише в умовах прямої видимості між антенами, які випромінюють радіохвилі. Відстань між антенами радіорелейних систем залежить від структури земної поверхні й висоти антен над нею. Типові відстані становлять 40-50 км при висотах веж і мачт, на яких встановлюються антени, близько 100 м. Обмеженість відстані прямої видимості не слід розглядати як недолік. Саме за рахунок неможливості вільного поширення радіохвиль на більші відстані усуваються взаємні перешкоди між радіорелейними системами передачі всередині однієї країни та різних країн. Крім того, у зазначених діапазонах практично відсутні атмосферні та промислові перешкоди.

Антени можуть працювати в режимі передачі і прийому для одночасної передачі в протилежних напрямках з використанням двох частот: f_1 й f_2. При цьому, якщо станція передає сигнал на частоті f_1 і приймає на частоті f_2, то сусідні з нею станції передають на частоті f_2, а приймають на частоті f_1. Ця пара частот утворює *радіочастотний ствол.*

Радіорелейні лінії (РРЛ) займають діапазони УВЧ і НВЧ, причому границя між аналоговими й цифровими радіорелейними системами (РРС) лежить поблизу частоти 11 ГГц.

Аналогові РРС призначені в основному для передачі багатоканальних телефонних сигналів в аналоговій формі і сигналів даних з низькою та середньою швидкістю по каналам тональної частоти (ТЧ – канал який забезпечує передачу повідомлень з ефективною смугою частот 300…3400 Гц, відповідає основному спектру телефонного сигналу), а також сигналів телебачення. Цифрові РРС використовуються для організації цифрових трактів зі швидкостями від 2 до 140 Мбіт/с.

Більшість станцій РРЛ це проміжні радіостанції (ПРС), які відіграють роль активних ретрансляторів. На всіх станціях РРЛ доцільно мати однотипну, уніфіковану прийомопередавальну апаратури (ППА), що задовольняє вимогам заданого частотного плану.

Найбільш часто використовується ППА, у якій обробка сигналів здійснюється на проміжній частоті $f_{ПЧ}$. Номінальне значення $f_{ПЧ}$ обирається відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т) і звичайно складає 70 МГц.

Застосування проміжної частоти для обробки сигналу дозволяє уніфікувати апаратуру підсилення сигналу, а також введення та виведення інформаційних сигналів на проміжних, вузлових та кінцевих станціях. Основні параметри радіорелейних систем передачі наведені в табл. 4.2 і табл. 4.3.[

Табл. 4.2. Основні параметри аналогових радіорелейних систем [13]

Параметр	**Значення параметра для аналогової радіорелейної СП**						
	КУРС-4М	КУРС-6	Радуга-4	Радуга-6	Электроника-связь-6-1	КУРС-2М-2	КУРС-8-ОУ
Діапазон частот, ГГц	3,4..3,9	5,67..6,17	3,4..3,9	5,67..6,17	5,67..6,17	1,7..2,1	7,9..8,4
Число каналів ТЧ у тлф. стволі	1020	1320	1920	1920	1020/1920	720	300
Потужність ПРД, Вт	1	7,5	0,5; 2; 4	1; 3	1; 3	0,4	0,4
Коефіцієнт шуму ПРМ	2,8	10	2,8	2,8	2,8	4,5	10
Число дупл. стволів	8	8	8	8	8	4	4
Первинна мережа	Магістральна					Внутрішньо зонова	

Табл. 4.3. Основні параметри цифрових радіорелейних систем [13]

Параметр	Значення параметра для цифрової радіорелейної СП						
	Радан	Пихта-2	Электро-ника-М	Электро-ника-связь	Электро-ника-изотоп	Ракита-8	Комплекс-5М
Діапазон частот, ГГц	10,7.. 11,7	1,7.. 2,1	10,7.. 11,7	10,7.. 11,7	1,7..2,1	7,9..8,4	10,7..11,7
Число каналів ТЧ у тлф. стволі	15	30	120	120	120	480	30/60 120/240
Тип цифрової системи передачі	ІКМ-15	ІКМ-30	ІКМ-120	ІКМ-120	ІКМ-120	ІКМ-480	ІКМ-30 ІКМ-120
Метод модуляції несучої НВЧ	ЧМ	2-ВФМ (відносна фазова модуляція)	АМ	ВФМ	ЧМ	4-ВФМ	ЧМ
Первинна мережа	Місце-ва	Місцева	Внутрішньо зонова			Магістра-льна	Місцева Внутріш-ньо зонова

4.4. Тропосферні радіорелейні системи передачі

Тропосфера – нижня частина атмосфери Землі (див. розділ 1.5). У тропосфері завжди є локальні об'ємні неоднорідності, викликані різними фізичними процесами, які відбуваються в ній. Хвилі діапазону 0,3…5 ГГц здатні розсіюватися цими неоднорідностями. Механізм утворення тропосферних радіохвиль умовно показаний на рис. 4.2.

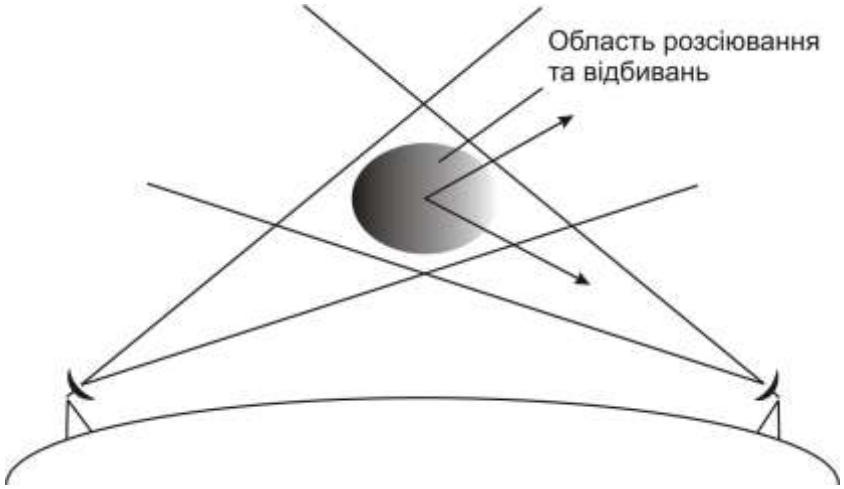

Рис. 4.2. Принцип тропосферного радіозв'язку

З огляду на те, що неоднорідності перебувають на значній висоті, неважко уявити, що розсіяні ними радіохвилі можуть поширюватися на сотні кілометрів. Це дає можливість рознести станції на відстань 200…400 км одна від одної, що значно більше відстані прямої видимості.

Лінії на основі *тропосферних радіорелейних систем передачі* будуються, як правило, у важкодоступних і віддалених районах.

Значні відстані між станціями, безумовно, вигідні при організації протяжних ліній, оскільки потрібна менша кількість станцій. Однак за рахунок глибоких замирань через нестійкість просторово-часової структури тропосфери та украй малої потужності радіосигналу в точці прийому організація гарної якості зв'язку та значної кількості каналів ускладнена.

У табл. 4.4 наведено параметри вітчизняних тропосферних радіорелейних систем передачі.

Табл. 4.4. Основні параметри тропосферних радіорелейних систем передачі [13]

Тип апаратури	Діапазон частот, ГГц	Середня відстань між станціями, км	Число каналів ТЧ
Горизонт-М	0,8..1	300	60
ТР-120	0,8..1	300	120
ДТР-12	0,8..1	600	12

4.5. Радіосистеми передачі на декаметрових хвилях

Радіосистема передачі, у якій використовується відбиття декаметрових хвиль від іоносфери, називається *іоносферною системою передачі на декаметрових хвилях*.

В іоносфері (див. розділ 1.5) відбувається не відбиття радіохвилі, а поворот її траєкторії за рахунок неоднорідності діелектричних властивостей вертикального профілю іоносфери. Траєкторія поширення радіохвиль від однієї точки на поверхні Землі до іншої з одним відбиттям від іоносфери називається *іоносферним стрибком*. Відстань між пунктами прийому і передачі, вимірюється вздовж поверхні Землі, і становить близько 2000 км. Траєкторія поширення радіохвиль може бути утворена декількома іоносферними стрибками. Умови поширення радіохвиль, а отже, і якість радіозв'язку залежать від стану іоносфери, обумовленого порою року, доби і циклом сонячної активності.

У результаті іоносферні системи передачі на декаметрових хвилях не дозволяють організувати великої кількості каналів, і звичайно кількість каналів не перевищує одного-двох телефонних або декількох телеграфних.

4.6. Радіосистеми, що використовують іоносферне розсіювання радіохвиль і відбиття від слідів метеорів

Радіосистема передачі, у якій використовується розсіювання метрових хвиль на неоднорідностях іоносфери, називається *іоносферною системою передачі на метрових хвилях*. Утворення іоносферних хвиль у метровому діапазоні багато в чому подібне до утворення тропосферних хвиль. Різниця полягає в тому, що розсіювання відбувається не в тропосфері, а в іоносфері на висоті 75…95 км. Гранична дальність зв'язку в цьому випадку 2000…3000 км, найбільш придатні частоти 40…70 МГц. При іоносферному розсіюванні в пункт прийому приходить лише незначна частина випромінюваної енергії, що змушує використовувати потужні радіопередавачі і великі за розміром антени. Такі системи дозволяють організувати із задовільною якістю до трьох телефонних каналів.

В атмосферу Землі безупинно проникають потоки дрібних космічних часток – метеорів. Більшість із них згорає на висоті 80…120 км, утворюючи іонізовані сліди. Довжина сліду 10…25 км, а час існування від 5 мс до 20 с. Радіосистеми, що використовують відбиття від слідів метеорів, працюють у діапазоні 30…70 МГц. Час проходження радіосигналів при метеорному зв'язку становить лише 2…4 год на добу.

За допомогою таких радіосистем організовується передача телеграфних сигналів, причому таких, для яких затримка в передачі не грає істотної ролі. Метеорні системи передачі застосовуються для дублювання іоносферних систем на декаметрових хвилях у полярних широтах, для зв'язку в метеорологічній службі та деяких інших цілей.

4.7. Супутникові системи зв’язку

23 квітня 1965 року був запущений на високу еліптичну орбіту перший вітчизняний супутник зв'язку «Молния-1», що ознаменував становлення в нашій країні супутникового радіозв'язку. Майже одночасно в США був запущений на геостаціонарну орбіту перший супутник комерційного зв'язку Intelsat-1.

Таким чином, була реалізована приваблива ідея різкого збільшення дальності радіозв'язку завдяки розміщенню ретранслятора високо над поверхнею Землі, що дозволило забезпечити одночасну радіовидимість розташованих у різних точках великої території радіостанцій. Перевагами систем супутникового зв'язку (СЗ) є більша пропускна здатність, глобальность дії й висока якість зв'язку.

Конфігурація систем СЗ залежить від типу штучного супутника Землі (ШСЗ), виду зв'язку й параметрів земних станцій. Для побудови систем СЗ використовуються в основному три різновиди ШСЗ – на високій еліптичній орбіті (ВЕО), геостаціонарній орбіті (ГСО) і низьковисотній орбіті (НВО). Кожен тип ШСЗ має свої переваги й недоліки.

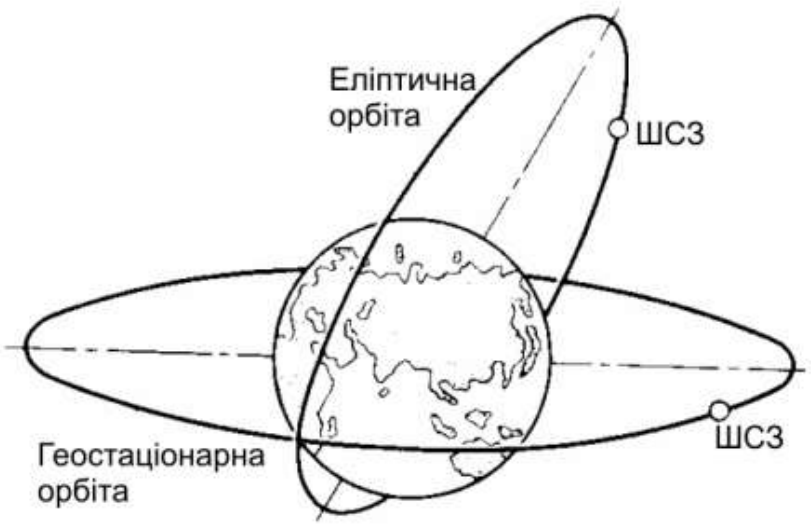

Рис. 4.3. Види орбіт ШСЗ

Залежно від призначення системи СЗ і типу земних станцій регламентом МКЕ розрізняються наступні служби:

1. фіксована супутникова служба для зв'язку між станціями, розташованими в певних фіксованих пунктах, а також розподілу телевізійних програм;
2. рухома супутникова служба для зв'язку між рухомими станціями, розташованими на транспортних засобах (літаках, морських судах, автомобілях тощо);
3. радіомовна супутникова служба для безпосередньої передачі радіо й телевізійних програм на термінали, що перебувають в абонентів.

Фіксована супутникова служба (ФСС). На початковому етапі розвитку ФСС розвивалася в напрямку створення систем магістрального зв'язку із застосуванням великих земних станцій з діаметрами дзеркала антен порядку 12..30 м. У цей час функціонує близько 50 систем ФСС. Як приклади можна відзначити вітчизняні системи СС «Молния-3», «Радуга», «Горизонт» і міжнародні системи Intelsat й Eutelsat. Розвиток ФСС іде по напрямках збільшення терміну служби ШСЗ, підвищення точності втримання ШСЗ на орбіті, розробки й удосконалювання багатопроменевих антен, а також можливості роботи на антени земних станцій малого діаметра (1,2…2,4 м) (системи VSAT).

Рухома супутникова служба (РСС). У силу міжнародного характеру роботи транспорту для його керування створюються міжнародні системи глобального супутникового зв'язку. На сьогодні створено та проводиться розгортання таких РСС, як **Globalstar, Iridium, Thuraya, Inmarsat.**

Inmarsat: Супутникова система зв'язку Inmarsat була заснована на геостаціонарних супутниках в 1979 році для забезпечення супутниковим зв'язком рухомих морських абонентів. Вона давно й успішно експлуатується в Росії й по всьому світі. У цей час системи Inmarsat стандарту А и С входять до складу Глобальної морської системи зв'язку при нещасті й для забезпечення безпеки (ГМССБ). За допомогою системи можна зв'язатися практично з будь-якого куточка земної кулі (крім полярних районів) з будь-якою точкою світу.

Iridium: Супутникова система зв'язку Iridium створювалася як перша супутникова система з міжсупутниковими зв'язками, тобто з можливістю передачі даних між супутниками й мінімальним використанням наземного сегмента. Також, по суті революційної, стала можливість відслідковувати місце розташування телефону, забезпечуючи, таким чином, проходження сигналу до абонента поза залежністю від його місця розташування. Фактично за допомогою 66 низкоорбітальних супутників, система Iridium забезпечує 100% покриття Землі. Із грудня 2000 р. система супутникового зв'язку Iridium обслуговує абонентів Пентагона й уряду США. З березня 2001 р. система після свого банкрутства знову відновила комерційну експлуатацію.

Thuraya: Мережа мобільного супутникового зв'язку **Thuraya** – це великий телекомунікаційний проект компанії Boeing Satellite Systems (колишня корпорація Hughes Space and Communications). Мережею Турая управляє акціонерне товариство Thuraya JSK зі штаб-квартирою в Арабських Еміратах, що було зареєстровано в січні 1997 року. Акціонерами Thuraya в основному є національні оператори зв'язку країн, що входять у зону обслуговування цієї супутникової мережі – усього більше 20 акціонерів.

Globalstar: Супутникова система зв'язку Globalstar з самого початку формувалася як система, призначена для взаємодії з існуючими стільниковими мережами, доповнюючи й розширюючи їхні можливості за рахунок здійснення зв'язку за межами зон покриття, а також для

стаціонарного зв'язку у віддалених районах, де створення стільникової інфраструктури або інфраструктури мережі загального користування по економічним або по технологічних причинах недоцільно. Система супутникового зв'язку Globalstar забезпечує повний спектр послуг супутникового зв'язку високої якості на території Землі від 70 градусів північної широти до 70 градусів південної широти.

Коспас-Сарсат: Серед основних напрямків мирного використання космічної техніки й міжнародного співробітництва видне місце займає програма створення космічної системи виявлення людей, судів і літаків, що терплять нещастя. Дана система була розроблена при участі СРСР, США, Франції й Канади в 1977 році й одержала назву Коспас-Сарсат. У цей час система Коспас-Сарсат входить до складу Глобальної морської системи зв'язку при нещасті й для забезпечення безпеки (ГМССБ). За допомогою системи з початку її експлуатації й по теперішній час урятований більше 15700 чол. по усьому світі.

Рис. 4.4. Угрупування супутників системи Iridium

Основні характеристики ССЗ на прикладі системи Iridium.

Система Iridium дозволяє цілодобово надавати послуги персонального рухомого цифрового зв'язку, включаючи телефонний, дуплексний і факсимільний зв'язок, пейджинг, передачу даних (табл. 4.5) на всій земній поверхні, включаючи її водну поверхню, полярні області й повітряний простір.

Таблиця 4.5. Основні послуги ССЗ Iridium [14]

Абонентське устаткування	**Послуга**
Супутниковий телефон	Голосовий (телефонний), з кінця 1999 року – факсимільний зв'язок (2,4 кбіт/с) та передача даних (2,4 кбіт/с), роумінг в стільникових мережах. Малогабаритні термінали (вага близько 0,4кг) одно- та двомодові.
Пейджер	Глобальний супутниковий пейджинг.

Система Iridium містить у собі чотири основних сегменти: космічний сегмент, сегмент керування й контролю, сегмент станцій сполучення й сегмент користувача.

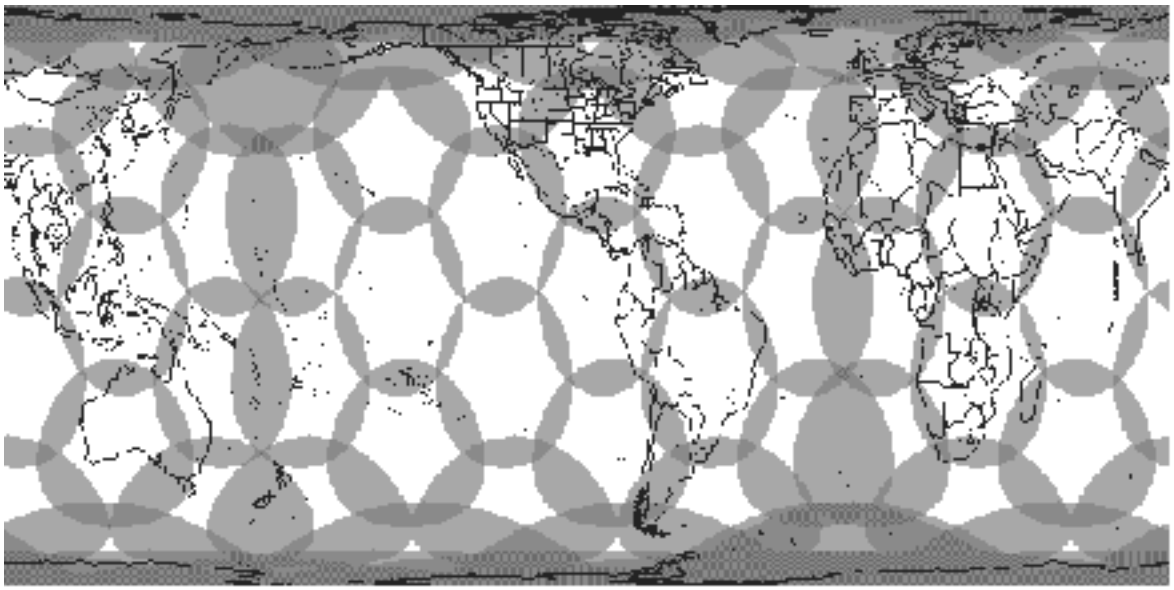

Рис. 4.5. Карта зони покриття ССЗ Iridium

Відповідно до проекту, космічний сегмент складається з 66 основних ШСЗ й 6 резервних, розташованих на 6 орбітах – по 11 основних ШСЗ на кожній. Орбіти – полярні, кругові з нахилом до екватора – 86,4°, що забезпечують 100 процентне покриття земної поверхні. Період обігу ШСЗ на орбіті дорівнює 100 хв 28 секунд. Висота орбіт становить близько 800 км. Всі супутники були запущені ракетами «Delta II» компанії Боїнг (5 супутників Iridium на запуск), «Протон» ГКНПЦ ім. Хрунічева (сім супутників Iridium за запуск) і «Long March 2C/SD» компанії China Great Wall (два супутники Iridium за запуск). Кожен космічний апарат формує свою зону обслуговування площею близько 19 млн. кв. метрів.

Сегмент керування й контролю складається з основного й резервного центрів керування й контролю, розташованих у США й Італії. Центри виконують функції по керуванню орбітальним угрупованням супутників, передачею на станції сполучення інформації про положення супутників, забезпечують зв'язувальний ресурс і керування супутниковою мережею в критичних ситуаціях. Зв'язок з орбітальним угрупованням вони здійснюють через антенні пости спостереження й передачі даних, розташовані в США, Канаді й Ісландії.

Сегмент станцій сполучення організує доступ користувачів до системи й забезпечує сполучення з наземними комутованими телефонними мережами загального користування. У цей час створюється 12 станцій сполучення по усьому світі.

Сегмент користувача (абонентські засоби системи Iridium) складається зі станцій різного призначення й конструктивного виконання для персонального й колективного користування.

Таблиця 4.6. Основні характеристики ССЗ Iridium [14]

Характеристика космічного сегменту	
Кількість супутників	66
Площин орбіт	6
Висота орбіти	780 км
Нахил площин орбіт	86,4°
Період обертання	100 хв. 28 сек.
Вага супутника	700 кг
Зональні промені	48 на кожному супутнику
Потужність сигналу	16 Дб для голосового зв'язку (середня)
Строк життя супутника	7-9 років
Типи кодування сигналу	
Шлюз до міжнародного комутуючого центра – передача PCM й SSP-ISUP або MFCR2. Телефонний зв'язок Iridium – частотний поділ сигналу/часовий поділ сигналу (FDMA/TDMA) – квадратурна фазова маніпуляція (QPSK).	
Частотні смуги	
Телефон - Супутник	L BAND 1616 - 1626.5 МГц
Супутник - Телефон (пейджер)	L BAND 1616 - 1626.5 МГц
Супутник - Супутник	Ka BAND 23.18 - 23.38 ГГц
Супутник - Наземна станція сполучення	Ka BAND 19.4 - 19.6 ГГц
Наземна станція сполучення - супутник	Ka BAND 29.1 - 29.3 ГГц

Абонентське встаткування

У системі Iridium всі послуги зв'язку – передача голосу й пейджинг надаються поза залежністю від місцезнаходження абонента й наявності телекомунікаційних мереж. Повний спектр абонентського встаткування для зв'язку в системі Iridium включає двомодові телефони, спеціалізовані авіаційні й суднові термінали, цифрові й буквено-цифрові пейджери.

Портативний телефон Iridium нагадує звичайний стільниковий телефон. Розміри, вага й час роботи від акумулятора його цілком близькі до стільникових трубок. Оскільки телефон Iridium працює у двох режимах – стільниковому й супутниковому – при наявності відповідної мережі він може використовуватися й у стільниковому режимі.

Пейджер Iridium забезпечує дійсний «глобальний роумінг» за допомогою невеликого поясного персонального приймача повідомлень.

4.7.1. Відомча мережа супутникового зв’язку Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи

На початок 2007 р. в Міністерстві України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи введено в експлуатацію відомчу мережу супутникового зв’язку (ВМСЗ).

Розробка та встановлення відомчої мережі супутникового зв’язку проведено з метою резервування дротяних ліній зв’язку тональної частоти (які на даний час орендуються Міністерством у ВАТ «Укртелеком»).

З цією метою в 26 обласних управліннях МНС України, 6 підрозділах спеціального призначення, на вузлі зв'язку МНС, в Міністерстві та підрозділі МНС в м. Чорнобиль встановлено земні станції супутникового зв'язку (ЗССЗ) які забезпечують один канал для передачі мовної інформації та один канал для передачі даних. У вказаних підрозділах встановлено комплект обладнання ЗССЗ DW6000 (табл. 4.7).

Таблиця 4.7. Комплектність ЗССЗ відомчої мережі

№ з/п	Виріб, що входить до комплекту	Од. вим.	К-ть
1.	Супутниковий модем DW6000	шт.	1
2.	Голосовий модуль DW6040	шт.	1
3.	Антена	компл.	1
4.	РЧ блок (передавач)	шт.	1
5.	Кабель РЧ (RG-6)	м	Від передавача антени до модема

Станції зв'язку встановлені стаціонарно і призначені для організації телефонного адміністративно-управлінського зв'язку між підрозділами МНС в областях та з Міністерством.

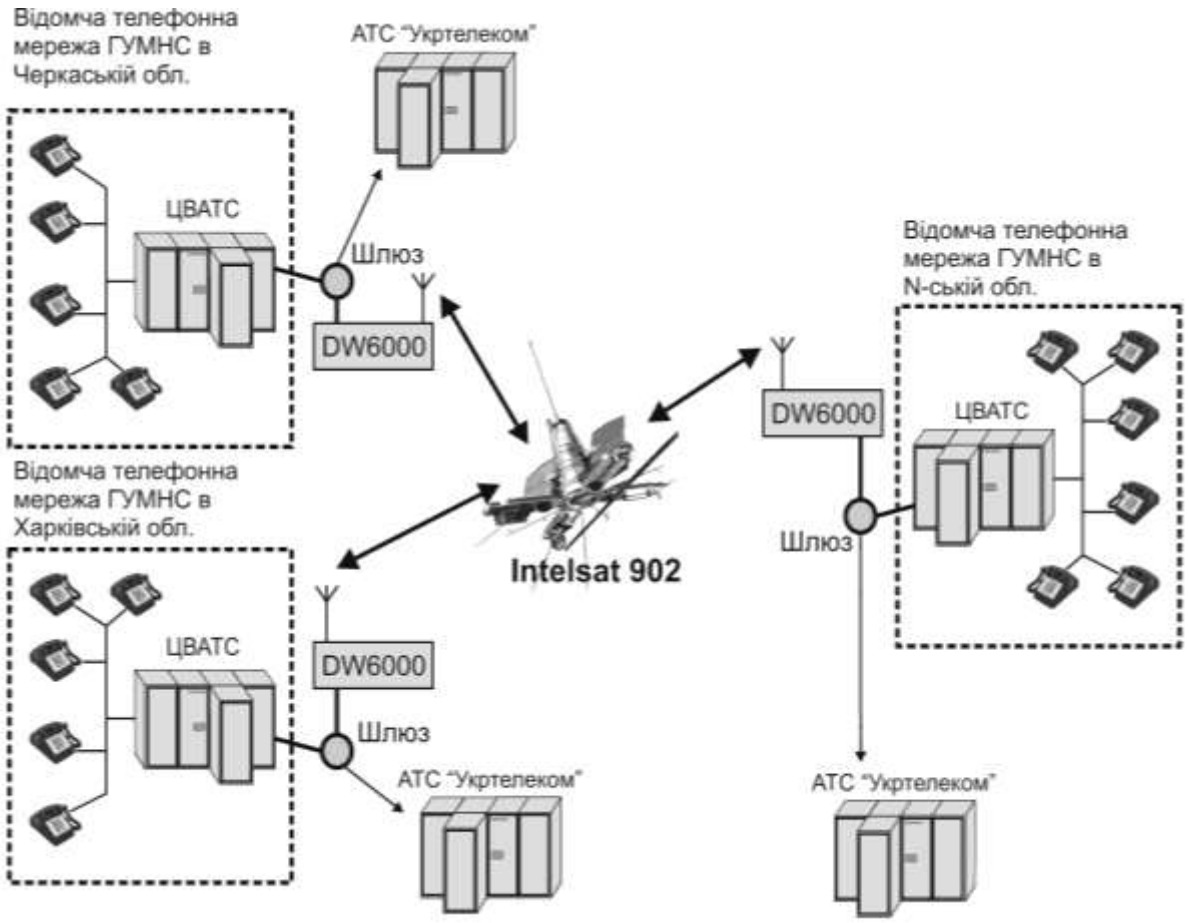

Рис. 4.6. Створення єдиної відомчої телефонної мережі адміністративно-управлінського зв'язку з використанням ЗССЗ DW6000

Станом на перше півріччя 2007 року введено в експлуатацію два канали зв’язку на кожну станцію – 1 телефонний та 1 для передачі даних. В перспективі планується розширення ЗССЗ за допомогою підключення цифрових відомчих АТС (ВАТС) та локальних обчислювальних мереж (ЛОМ), які створено на базі обласних ГУ(У)МНС. Об’єдання відомчих АТС та ЛОМ дозволить створити єдину телефонну мережу адміністративно-управлінського зв’язку (рис. 4.6) в межах всієї України та єдину відомчу ЛОМ (рис. 4.7), яка значно розширить можливості, насамперед, по адміністративному управлінню рятувальними підрозділами. Слід підкреслити, що використання ЗССЗ накладає певні обмеження, які не дозволяють використати ССЗ як повноцінну складову оперативного зв’язку.

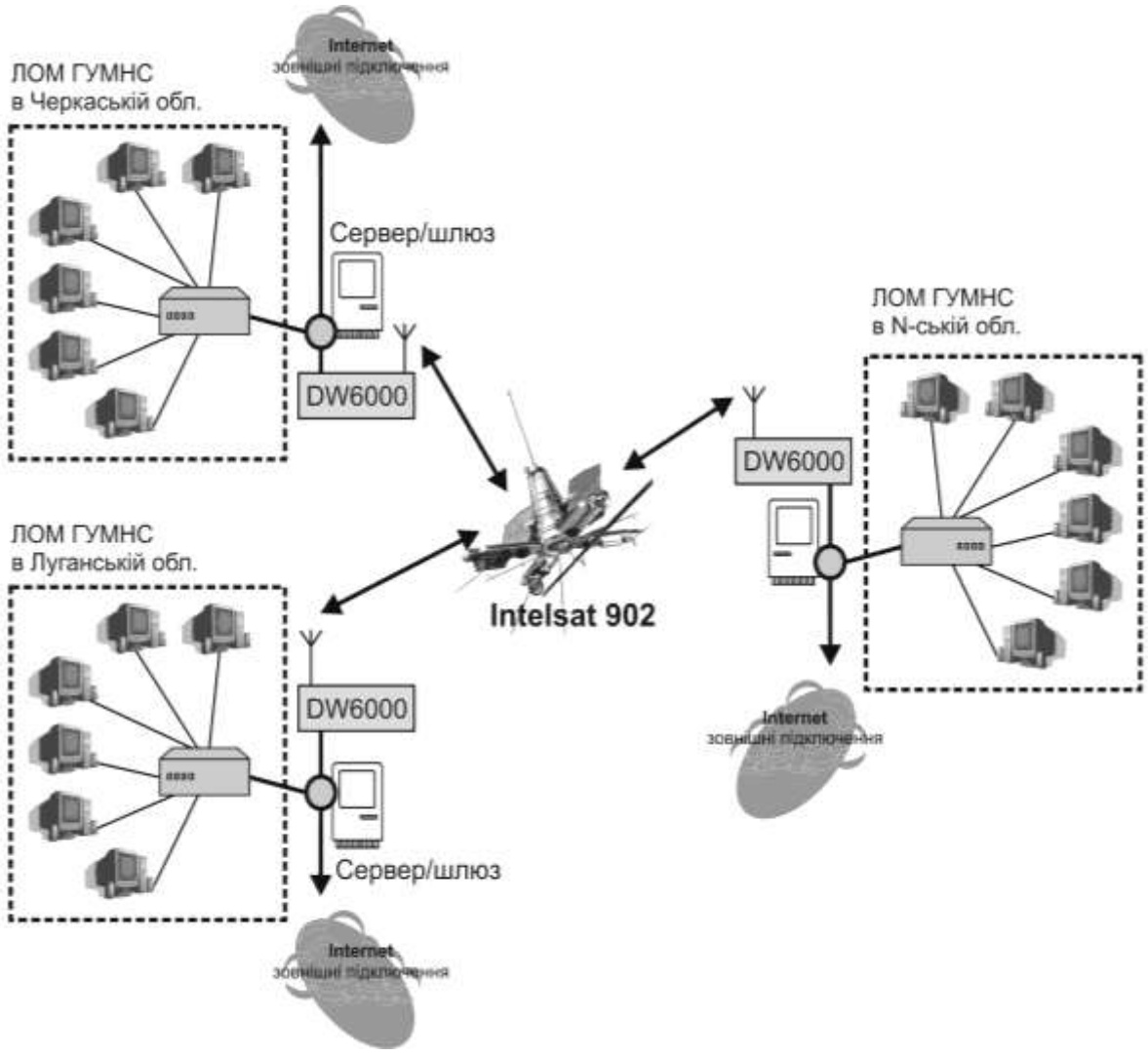

Рис. 4.7. Створення єдиної відомчої ЛОМ з використанням ЗССЗ DW6000

Відомчу систему супутникового зв’язку слід віднести до ФСС системи Intelsat. Основні характеристики ЗССЗ DW6000 наведено в табл. 4.8.

Табл. 4.8. Основні характеристики ЗССЗ DW6000

Назва мережі супутникового зв'язку	
Назва	Відомча мережа супутникового зв'язку МНС України
Параметри супутника	
Назва супутникової групи	Intelsat
Назва супутника	Intelsat 902
Орбітальна точка супутника (град)	62° E
Радіочастотні параметри	
Частота передачі (МГц)	14209-14213
Частота прийому (МГц)	11160,8830
Поляризація сигналу на передачу	лінійна; вертикальна
Поляризація сигналу на прийом	лінійна; горизонтальна
Нестабільність частоти передавача	10-8
Потужність випромінювання (Вт)	< 2 Вт
Чутливість приймача	0,8дБ (60К)

Однак потрібно наголосити, що ВМСЗ є за призначенням системою адміністративно-управлінського зв'язку (це зумовлено вибором системи фіксованого супутникового зв'язку), і її введення в експлуатацію не вирішує питань, що стосуються модернізації систем оперативно-диспетчерського радіозв'язку.

4.8. Системи визначення місцезнаходження

GPS (Global Positioning System) або NAVSTAR (NAVigation System using Timing And Ranging) – глобальна система позиціювання (визначення місця розташування). Система навігації з використанням даних одержуваних із супутників, що безупинно випромінюють навігаційні сигнали. Система призначена для забезпечення рухомих і нерухомих об'єктів у космосі, у повітрі, на землі й воді високоточними навігаційно-часовими даними [15].

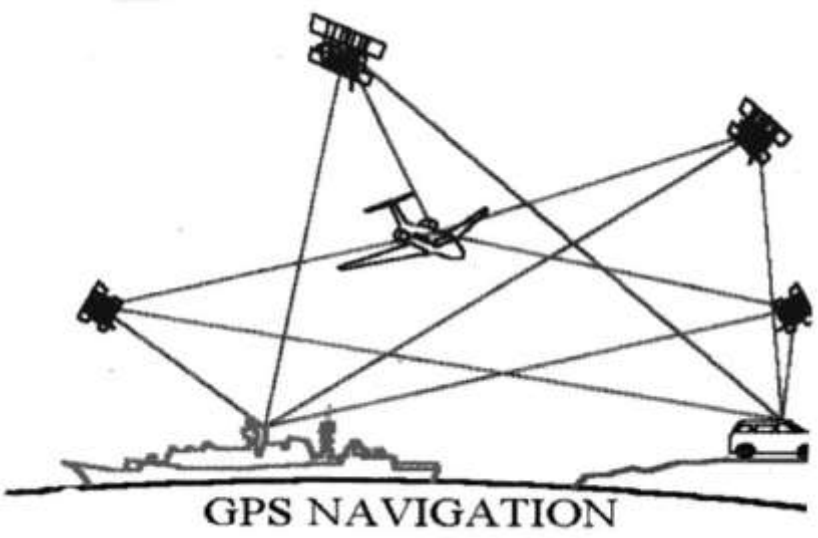

Рис. 4.8. Визначення координат за допомогою GPS–приймача

GPS (Global Positioning System) – це система, до складу якої входить ряд супутників, що рухаються навколо Землі на висоті біля 20000 км і які випромінюють навігаційні сигнали, а також GPS-приймачі користувачів, що приймають і опрацьовують ці сигнали (рис. 4.8).

На основі інформації, яка отримується із супутників, процесор GPS-приймача робить розрахунок власних координат. Як вихідні дані використовуються заздалегідь відомі координати супутників GPS. Приймаючи сигнали, GPS-приймач формує інформацію про тимчасові затримки по кожному із супутників і на основі цього обчислює відстані до супутників, що потім використовуються для обчислення координат свого місця розташування.

До основних характеристик GPS-приймачів звичайно відносять такі параметри:

- кількість каналів прийому;
- час навігаційних обчислень;
- швидкість відновлення навігаційних даних;
- точність визначення координат і надійність навігаційних вимірів.

У сучасних GPS-приймачах кількість каналів прийому складає 6-8, що дозволяє мати відомості з максимального числа супутників, які спостерігаються в точці прийому. Швидкість відновлення навігаційних даних звичайно дорівнює 1 с. Розрізняють два режими роботи приймача – 2D (двомірний вимір) і 3D (тривимірний вимір), при яких потрібне одержання повної інформації з 3-х або 4-х супутників відповідно. Для визначення своїх координат потрібно від 2 до 3 хв. Точність характеристики і надійність обчислення залежать від виду доступу приймача до кодів. Розрізняють такі коди:

- C/A – загальний цивільний код із внесеною штучною псевдовипадковою помилкою;
- P-код – точний код (доступний лише федеральним службам США і військовим відомствам);
- Y-код – шифрована версія P-коду (дуже обмежений доступ).

Характеристики кодів подані в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. Характеристики кодів C/A і P-коду [15]

Характеристики	**C/A-код**	**P(Y)-код**
Частота приймача, МГц	(L1)1575,4	(L2)1227,6
Довжина псевдовипадкової послідовності	1023	Наддовга
Тактова частота, МГц	1,023	10,23
Точність визначення координат, м	100	16
Точність визначення швидкості, м/с	10	0,1
Точність визначення часу, нс	340	90

Найбільш відомими системами супутникової радіонавігації є американська система GPS (відома також як «NAVSTAR» – NAVigation

System using Timing And Ranging) і російська ГЛОНАСС – «ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система». Системи складаються з космічного сегмента – 24-х орбітальних супутників, наземного сегмента управління – станції спостереження і користувацького сегмента – приймачів GPS. Ці системи спочатку були запущені у воєнних цілях, але згодом відкриті для комерційного використання. Принципи роботи двох систем аналогічні, за винятком робочих частот і методу поділу каналів. Порівняльні характеристики систем GPS і ГЛОНАСС представлені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Порівняльна характеристика систем GPS і ГЛОНАСС [15]

Характеристика	**GPS**	**ГЛОНАСС**
Кількість супутників	24	24
Висота орбіти, км	20000	19110
Строк активної дії, років	7,5	3
Діапазон частот, МГц	1227,6-1575,42	1602,56-1615,50
Спосіб розділення каналів	Кодовий	Частотний
Точність, м	100	60

Серед широкого кола користувачів приймачі ГЛОНАСС поширення не одержали, що спричинило за собою втрату багатомільйонних прибутків нашим ВПК і втрату фінансування утримання системи. Але в даний час поряд з виготовленням GPS-приймачів розробляються і випускаються комбіновані прилади GPS/ГЛОНАСС, що істотно підвищує їхню надійність і точність вимірів координат.

Визначення місця розташування за допомогою інших супутникових навігаційних систем.

Разом із GPS і ГЛОНАСС існують і інші супутникові системи навігації. Це, насамперед, системи Omnitracs і Euteltracs. У них використовується метод ASPR (Automatic Satellite Position Reporting), запропонований компанією Qualcomm. За допомогою спеціального навігаційного супутника здійснюється визначення координат користувача. Центральна станція передає інформаційні сигнали через зв’язковий супутник, а контрольні (навігаційні) сигнали – через другий супутник. Перед тим, як почати сеанс зв'язку, мобільний термінал переорієнтовує антену на навігаційний супутник і визначає різницю в часі приходу сигналів від двох супутників. Ці відомості включаються в інформаційне повідомлення та відсилаються по зворотних каналах на центральну станцію (диспетчерський пункт контролю). Точність такої супутникової системи складає від 300 до 1200 м, що, втім, достатньо для контролю за переміщенням транспортних засобів. Друга функція даних супутникових систем - це двостороння передача повідомлень між мобільним абонентом і диспетчером.

4.9. Системи персонального радіовиклику

Системи персонального радіовиклику (СПРВ) забезпечують однобічну передачу інформації своїм абонентам у межах зони, що обслуговується.

В СПРВ за допомогою вибіркового виклику абонентові передається інформація, яку він приймає мініатюрним приймачем. В разі необхідності абонент СПРВ може використати найближчий телефон для переговорів.

СПРВ можна поділити на дві групи – локальні і регіональні. Локальні СПРВ організуються для невеликої кількості абонентів (до 500) на обмеженій території (наприклад: всередині будови, території підрозділу). У таких системах використовується або радіоканал в ДВЧ (УВЧ) діапазоні, або індуктивний шлейф, який охоплює будову. За допомогою шлейфу створюється необхідна для прийому викликів напруженість магнітного поля в ДНЧ або НЧ діапазонах.

Регіональні СПРВ організуються для великої кількості абонентів (понад 1000) і зоною дії, що визначається розмірами міста і його передмістя, або великих регіонів. Такі системи реалізуються тільки з використанням радіоканалу. Регіональні системи великої ємності – це системи загального користування.

Для передачі інформації в СПРВ використовуються сигнальні протоколи, які мають два види сигналів:

1. багаточастотне комбіноване кодування (БЧКК), при цьому адреса абонента, що викликається й інформація передаються послідовним (паралельним чи змішаним) набором тональних сигналів;
2. подвійне цифрове кодування (ПЦК), при цьому адреса абонента, що викликається й інформація формуються на основі двійкових сигналів.

При використанні сигналів БЧКК застосовується частотна модуляція, а при використанні ПЦК – частотна маніпуляція.

Вид сигнального протоколу, що застосовується, залежить від складності і обсягу інформації, яка передається, а також від кількості абонентів в системі.

В СПРВ може передаватися і прийматися літерна, цифрова і літерно-цифрова інформація.

Сигнальні протоколи з БЧКК, як правило, застосовуються в локальних СПРВ. В регіональних системах СПРВ загального користування використовуються високошвидкісні цифрові сигнальні протоколи і ПЦК.

Ключовим фактором у розвитку і впровадженні СПРВ є стандартизація радіоінтерфейсу.

В більшості існуючих СПРВ використовується код POCSAG (Post Group Office Code Standardization Advisory), затверджений МККР у 1978 році як міжнародний стандарт (Рекомендація 984). Швидкість передачі повідомлень кодом POCSAG доведена до 2400 біт/с. Код використовується в більшості існуючих СПРВ.

Вимоги до функціонального розвитку мереж СПРВ, збільшення швидкості передачі повідомлень, а також інтеграція національних мереж СПРВ в транснаціональні призвели до необхідності розробки загальноєвропейського стандарту на СПРВ, що одержав назву ERMES (European Radio Messaging System) та був прийнятий в 1992 р.

Основними перевагами СПРВ у стандарті ERMES є інтерфейс, який забезпечує високу ємність мережі при передачі різних видів повідомлень, включаючи текстові, в вузькій смузі частот, а також загальна специфікація на приймачі персонального радіовиклику.

Фірма Моторола розробила свої протоколи передачі сигналів СПРВ, що одержали назву FLEX, в складі:

- FLEX – одностороння передача літерно-цифрової інформації;
- ReFLEX – двостороння передача повідомлень і даних;
- InFLEXion – одностороння передача мовних повідомлень і даних.

Основними перевагами протоколів FLEX є підвищена швидкість передачі повідомлень та велика ємність системи, поліпшені характеристики завадостійкості каналу передачі і забезпечення більш економічного режиму роботи приймача відносно СПРВ з кодом POCSAG.

Протокол FLEX сумісний зі стандартами POCSAG та ERMES і має можливості більш дешевої технічної реалізації персональних приймачів.

Глобальні системи оповіщення з доставкою кодованих повідомлень абонентам в будь-якому місці держави можуть бути реалізовані за допомогою супутникових СПРВ, які увійдуть в склад систем Inmarsat.

Створений приймач супутникової СПРВ для глобального зв'язку в системі Inmarsat-d, що являє собою портативний пристрій для прийому коротких літерно-цифрових повідомлень.

За допомогою супутників Inmarsat-3 забезпечується обслуговування абонентів у глобальному масштабі, за винятком лише приполярних областей.

Вітчизняні стандарти і обладнання для реалізації СПРВ з великою зоною обслуговування відсутні.

Для локальних СПРВ органів внутрішніх справ можуть використані системи з багаточастотним комбінованим кодуванням (стандарт CCIR).

Вибір СПРВ повинен визначатися з урахуванням зони обслуговування, кількості користувачів, виду інформації, що передається і перспективою розширення.

Для організації пошукового виклику на обмеженій території (адмінбудови, госпіталі, санаторії, виправно-трудові заклади, території складів та ін.) можуть використовуватися прості СПРВ (рис. 4.9).

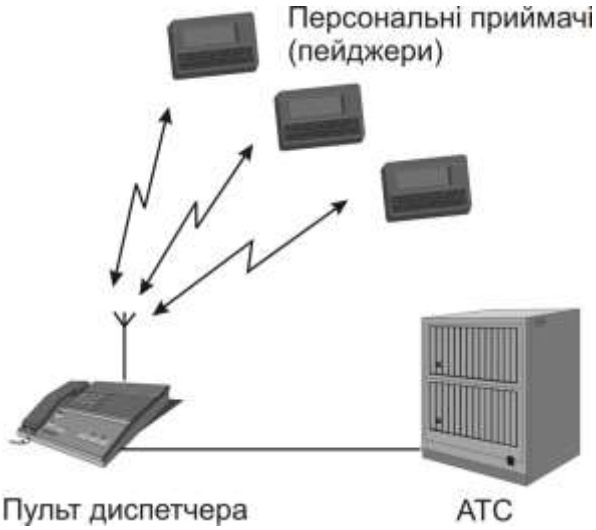

Рис. 4.9. Організації СПРВ на обмеженій території

В склад такої системи входить пульт управління (ПУ) з клавіатурою і вмонтованим в нього передавачем (потужність передавача до 2 Вт) і абонентські приймачі. Пульт може бути встановлений у секретаря, телефоністки на комутаторі або у черговій частині. Він є контрольно-комутуючим пристроєм, що виконує наступні функції:

- дистанційне управління і контроль за роботою передавача чи передавачів;
- формування сигналів викликів (індивідуального, групового, циркулярного);
- перетворення літерно-цифрової інформації в кодовані сигнали, що поступають до передавача;
- зберігання в пам'яті переданих повідомлень з фіксацією часу передачі і можливістю їх друкування.

При необхідності передачі інформації потрібному абоненту, інформація передається оператору, який набирає її на пульті, а передавач випромінює в ефір.

Дальність дії такої системи до 1 км, кількість абонентів до 100.

Зону обслуговування такої системи можна розширити за рахунок застосування потужнішого передавача. Передавач СПРВ розміщується в центрі зони обслуговування і з`єднується з пультом управління (рис. 4.9). Така система уже може працювати в інтересах територіального органу внутрішніх справ.

Передача сигналів радіовиклику в цій зоні забезпечується в межах радіусу дії передавача, тому такі системи можна віднести до радіальних. Якщо радіус дії одного передавача не перекриває всю територію, що обслуговується, то вона розбивається на декілька зон, в кожній з яких розміщується свій передавач (рис. 4.10).

З метою виключення інтерференційних явищ в зонах обслуговування (всі передавачі працюють на одній частоті), вони можуть працювати синхронно або послідовно. З метою підвищення надійності прийому

сигналів приймачем при його пересуванні в умовах міської забудови, сигнал виклику може передаватися кілька разів з деяким інтервалом.

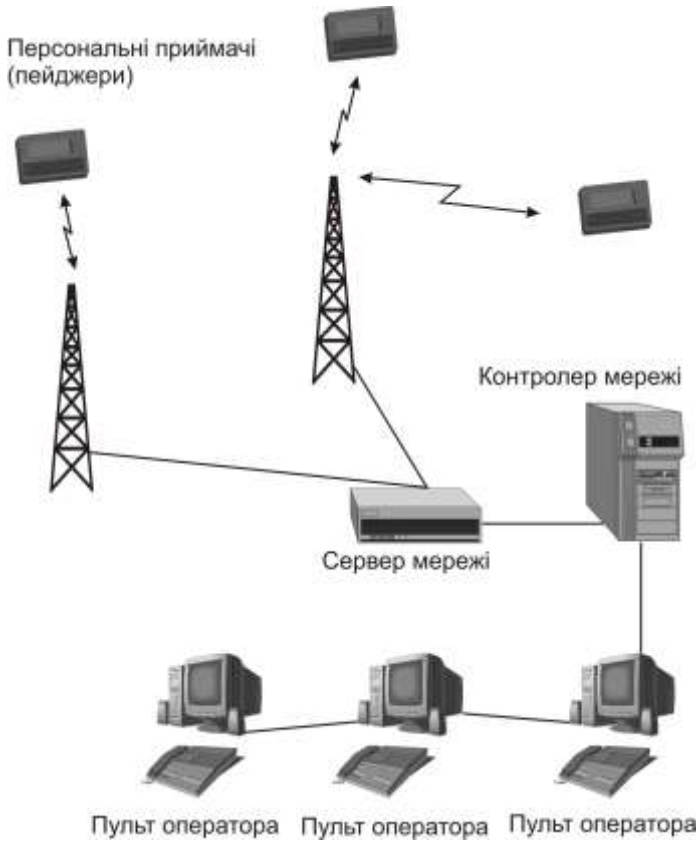

Рис. 4.10. Організації багатозонової СПРВ

При обслуговуванні однією системою СПРВ абонентів декількох підрозділів, передача інформації може здійснюватися з ПУ, встановлених в цих підрозділах.

Кодові сигнали, які сформовані в ПУ, можуть передаватися на передавачі через ретранслятор або за допомогою модемів по з`єднувальним лініям.

Прийом інформації і передача її в ефір може здійснюватися диспетчером з пульту управління чи, якщо це передбачено, безпосередньо з телефону АТС.

Приймачі СПРВ є важливим елементом системи, бо вони дозволяють одержувати інформацію, а також мають світлову, звукову і вібраційну індикацію прийому повідомлень. Крім того, деякі види приймачів можуть видавати додаткову інформацію – поточний час, час надходження виклику, стан джерела живлення.

Регіональні СПРВ мають високі технічні характеристики і широкі функціональні можливості, вони можуть покривати чималі території і обслуговувати понад 10 тисяч абонентів. Інфраструктура регіональних СПРВ достатньо складна і дорога.

Враховуючи високу вартість обладнання регіональних СПРВ, з точки зору економії, їх доцільно розгортати в крупних обласних і промислових центрах, де може бути достатня кількість абонентів.

СПРВ зручна, відносно недорога (в порівнянні з сотовим зв`язком) та оперативна і поступово стає традиційною для співробітників силових структур світу.

В підрозділах МНС СПРВ може застосовуватися для сповіщення особового складу, для забезпечення зв`язку з робітниками, що знаходяться в умовах невизначеного місця знаходження, передачі термінової інформації, умовних команд тощо [15]. Проте, спостерігається зменшення масштабів розгортання СПРВ в усьому світі, оскільки надання послуг операторами мобільного зв’язку в даний час характеризується низькою вартістю. Крім того, для організації мереж внутрішнього зв’язку широке розповсюдження отримує цифрова система пікосотової архітектури стандарту DECT, яка має ряд переваг над системами СПРВ.

РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОНВЕНЦІОНАЛЬНОГО УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

5.1. Загальні відомості про конвенціональні радіосистеми

У конвенціональних диспетчерських системах радіозв'язку за кожною групою абонентів закріплюється виділений частотний канал. Такий спосіб організації радіозв'язку є досить ефективним у тих випадках, коли загальна кількість абонентів системи невелика, а необхідна зона радіопокриття обмежена. Основною перевагою конвенціональної системи радіозв'язку є простота й невисока вартість. До недоліків можна віднести неефективне використання частотного спектра й обмежений набір сервісних функцій. Диспетчерські радіомережі найчастіше використаються для організації технологічного або службового радіозв'язку.

Симплексні радіомережі. Симплексні мережі – класичний приклад конвенціонального радіозв'язку. У найпростішому випадку це група користувачів, що працюють на одній частоті (симплексному каналі). Всі радіоабоненти чують один одного й викликають необхідного абонента голосом. У такому випадку число радіостанцій, як правило, невелике (2-20). У радіомережі можуть використовуватися ручні, автомобільні й стаціонарні радіостанції. Всі вони рівнозначні. Зрозуміло, дальність зв'язку між автомобільними (стаціонарними) станціями вище.

Дуплексні радіомережі. Радіозв'язок здійснюється одночасно на двох частотах. На одній з частот здійснюється прийом, на іншій – передача. За цим принципом побудовані телефонні системи. Для організації професійного рухомого радіозв'язку дуплексний радіозв'язок практично не використовується.

Напівдуплекс (двохчастотний симплекс). Радіозв'язок здійснюється з використанням двох частот: прийомної та передавальної, але, в порівнянні з дуплексом, не одночасно, а почергово. В один момент часу абонент може знаходитися або в режимі «передача» або «прийом». Двохчастотний симплекс використовується при організації мереж з використанням ретрансляторів.

5.2. Принцип ретрансляції

Первинним завданням будь-якої системи зв'язку є забезпечення необхідної дальності зв'язку. Проте дальність радіозв'язку в УКХ діапазоні обмежена властивостями радіохвиль огинати кривизну земної поверхні. Кривизна поверхні Землі не дозволяє здійснювати зв'язок за межі горизонту для УКХ діапазону. Це означає, що між портативними радіостанціями, що перебувають у руках людини на відкритій рівнинній місцевості, зв'язок можливий на відстані близько 5 км. Якщо потрібна більша дальність зв'язку, то застосовують ретранслятори.

Ретранслятор це пристрій, що приймає радіосигнал і передає його в ефір. Навіщо ж потрібна подібна «перепередача»? Справа в тому, що для збільшення дальності зв'язку необхідно перебороти кулястість Землі, а це досягається підйомом приймача й/або передавача. Якщо в системі є рухомі абоненти (спеціальні аварійно-рятувальні автомобілі ОРС ЦЗ з системами радіозв’язку), то єдиним виходом стане застосування окремого пристрою встановленого на достатній висоті, що буде приймати й з висоти передавати повідомлення, «розширюючи горизонт». Найбільшу зону охоплення буде мати ретранслятор, установлений на штучному супутнику Землі в космосі. Для забезпечення заданого охоплення найбільш простим варіантом буде установка ретранслятора на штучному або природному висотному спорудженні (будинок, щогла, пагорб).

Практично всі сучасні системи зв'язку мають в своєму складі ретранслятори. Серед рідкісних винятків можна згадати магазини, будівельні майданчики, стадіони тощо, де не потребується встановлення ретрансляторів. В інших випадках потрібна зона охоплення, що перевищує можливості прямого зв'язку.

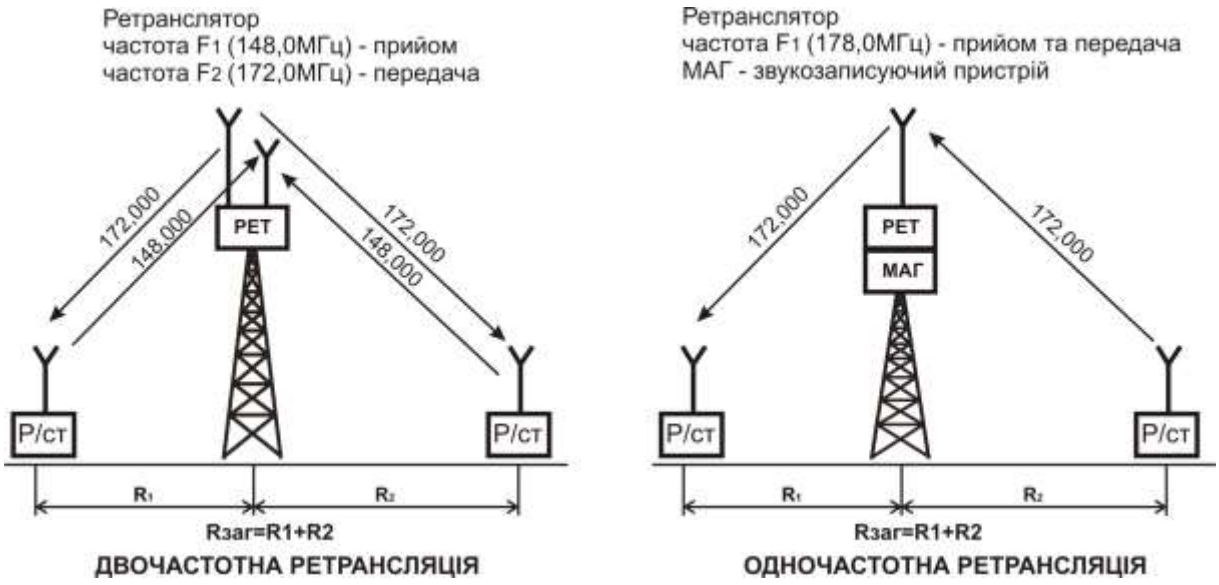

Рис. 5.1. Використання ретрансляторів

Тепер є можливість з'ясувати в яких випадках застосовується симплекс і двохчастотний симплекс.

Принцип ретрансляції. З рис. 5.1 видно для чого потрібний напівдуплекс (двохчастотний симплекс). Через те, що ретранслятор безупинно передає прийняті сигнали (дуплекс), то він не може робити це на одній і тій же частоті (сигнали передавача будуть відразу прийматися приймачем – замкнуте коло). Тому дуплексний ретранслятор працює на різних частотах, номінали яких повинні відрізняться на певну величину (залежить від устаткування, системи тощо – для систем службового радіозв’язку рознесення частот становить близько 500 кГц та більше).

Відповідно в абонентських радіостанціях повинні використовуватися ті ж частоти, але в «перевернену» вигляді (прийомна частота ретранслятора повинна відповідати передавальній в радіостанції і навпаки). Через те, що у всіх абонентських радіостанцій однакові передавальні й прийомні частоти, то прямий зв'язок між ними неможливий (навіть при безпосередній близькості радіостанцій зв'язок буде здійснюватися через ретранслятор).

Ретранслятор безупинно випромінює прийнятий сигнал, а в абонентських радіостанціях режим прийом/передача повинен перемикатися. В один момент часу абонентська станція знаходиться в режимі або «прийом», або «передача». Чим вища чутливість і потужність ретранслятора й вище встановлені антени, тим більшу зону можна охопити стійким радіозв'язком.

Але якщо не вистачає частот (найпоширеніший випадок), то можна обійтися симплексом. У такому випадку абонентське встаткування залишається тим же, тільки в ньому програмуються однакові прийомні й передавальні частоти. А от як ретранслятор можна використати звичайну абонентську радіостанцію. Але вона не прийматиме й передаватиме одночасно.

Для роботи такого ретранслятора (його, до речі, звичайно називають симплексним) потрібний спеціальний пристрій – контролер симплексного ретранслятора. Пристрій являє собою так званий цифровий магнітофон, що записує прийняте повідомлення доти, поки воно присутнє в ефірі. Після зникнення сигналу, контролер перемикає радіостанцію в режим передачі, і записане повідомлення відтворюється в ефірі. Виходить, що досить однієї частоти й однієї (не дуплексної) радіостанції.

При всій простоті й відносній дешевизні методу, у нього є серйозний недолік: абонент повинен витрачати час на проказування повідомлення, і потім чекати, поки воно відтвориться в ефірі. Таким чином, на радіопереговори при використанні симплексного ретранслятора буде потрібно у два рази більше часу, ніж при використанні дуплексного. Якщо кількість радіочастот є визначальним фактором й є припустимою втрата оперативності, то застосування симплексних ретрансляторів (які ще називають «симплексери», «ехо-репітери», «зозулі» або «папуги») може виявитися найбільш раціональним шляхом вирішення завдання розширення зони радіопокриття.

Таким чином, дуплекс застосовують при безперервній ретрансляції, симплекс – у випадках прямого зв'язку (без ретрансляторів) або у випадку симплексної ретрансляції.

Кілька слів про *повний дуплекс*. При повному дуплексі (як і при напівдуплексі) використовуються дві частоти, але абонентські радіостанції в один момент часу перебувають одночасно й у режимі прийому, і передачі, тобто аналогічно телефону. Безперечно, це підвищує зручність переговорів, тому що вони ведуться у звичній для людини манері. Але використання дуплекса істотно ускладнює й, отже, здорожує встаткування,

тому що абонентська станція повинна містити два незалежних тракти – приймач і передавач (у симплексних станціях основну частину електричної схеми звичайно поєднують). Крім того, у більшості систем дуплексний зв'язок неможливий між радіоабонентами, а використовується тільки при з'єднаннях з телефонною мережею. Але навіть при цьому в професійних системах зв'язку (наприклад, у транкових системах MPT1327), при проведенні дуплексного зв'язку виділяються два дуплексних канали (4 радіочастоти). Це підвищує навантаження на систему й вимагає збільшення каналів, а це, у свою чергу, веде до ускладнення й, отже, здорожчанню системи. Існують варіанти дуплекса в різних частотних діапазонах, наприклад: прийом в 138-174 МГц, а передача в 400-470 МГц. Але такий підхід також пов'язаний з рядом складностей: виділення частот у різних діапазонах, ускладнення системи, підвищені вимоги до настроювання. Устаткування серйозних виробників розраховане на роботу в міждіапазонному дуплексі (звичайно називають «крос-діапазонний» дуплекс) фактично не виробляється.

Аналогові транкові системи на основі протоколів MPT1327 й LTR дозволяють застосовувати дуплекс в одному частотному діапазоні, але дуплексні радіостанції в цих системах мають низьку потужність, що зумовлюється багатозоновою конфігурацією, подібною до стільникових мереж.

На ринку представлені десятки виробників радіозв’язного встаткування й серед усього безлічі пропозицій тільки одиниці є дуплексними зразками. Практично всі дуплексні системи призначені для роботи в діапазоні 800 МГц. Зв'язано це з тим, що на низьких частотах неможливо створити дуплексний фільтр (пристрій, що дозволяє приймачу й передавачу одночасно використовувати одну антену) таких розмірів, щоб він умістився в корпусі портативної радіостанції.

Набагато простіше реалізувати дуплекс у цифрових системах зв'язку (TETRA, Tetrapol, APCO-25, GSM). Але в них поняття дуплекса трохи відрізняється від прийнятого в аналоговому зв'язку. Дуплекс у цифровому виді – це не одночасні прийом і передача, а прийом і передача, розділені в часі. Тобто в кожен момент часу радіостанція перебуває або в режимі прийому, або передачі. Перемикання відбувається настільки часто, що абонент його просто не відчуває (наприклад, в TETRA 18 разів у секунду). Отже, відпадає необхідність у включенні в конструкцію радіостанцій габаритного дуплексного фільтра.

Дуплексний радіозв'язок не одержав широкого поширення серед систем рухомого зв'язку ще в силу специфіки діяльності спеціальних служб. Службовий зв'язок покликаний вирішувати завдання виробництва, керування, безпеки. А в цих сферах звичайно віддаються команди й розпорядження й приймаються звіти про виконану роботу.

5.3. Принцип роботи системи шумоподавлення. Системи ідентифікації абонентів та груп

Абонент, що прослуховує всі переговори в диспетчерській системі радіозв'язку, очікуючи чи його не викличуть, вимушений відволікатись від своїх основних службових обов'язків. Для підвищення ефективності і зручності користування радіомережами використовують системи ідентифікації абонентів та груп (системи групового виклику), що дозволяють викликати групи абонентів (конкретного абонента). Принцип роботи подібних систем полягає у введенні в випромінений передавачем сигнал додаткового одинарного чи групового тонально-модульованого сигналу.

Такі сигнали (сигнали вибіркового виклику) являють собою набори додаткових сигналів, що передаються під час сеансу зв'язку. Дані сигнали формуються спеціальним блоком (кодером) в передавачі та дешифруються на стороні прийому.

Сигнали вибіркового виклику повинні відповідати ряду специфічних вимог, легко виявлятись і розрізнятись в умовах великого рівня шумів і завад, не погіршувати якість прийому мовних повідомлень тощо.

Залежно від області частот, яка використовується, виділяють два класи сигналів вибіркового виклику – тональні і підтональні (субтональні). Для кожного класу сигналів розрізняють аналогові і цифрові системи, що реалізують сигнали вибіркового виклику.

При побудові сучасних конвенціональних систем радіозв'язку для ідентифікації абонентів і груп найчастіше використовуються спеціальні пристрої кодування/декодування, так звані *шумоподавлювачі*. Найширше розповсюдження отримали тональні (CTCSS), цифрові (DCS) і кодові (DTMF) шумоподавлювачі або їхні комбінації.

Найпростішою є система з *тональним викликом*, що застосовувалася в деяких застарілих радіостанціях, які і досі використовуються аварійно-рятувальними підрозділами МНС України і на даний час (радіостанції «Льон», «Маяк»). Диспетчер (або абонент) перед викличним повідомленням (натиснувши тангенту) короткочасно натискає клавішу тонального виклику і далі голосом викликає потрібного абонента (наприклад, називаючи його позивний). При натисканні клавіші тонального виклику в ефір випромінюється несуча частота, модульована звуковим тоном, наприклад 1200 Гц. Для всіх радіостанцій системи цей тон служить командою відкривання ключа шумопридушувача на весь час поки натиснута тангента радіостанції, що викликає. Всі абоненти чують виклик, і абонент якого викликають після закінчення виклику відповідає, знявши мікрофон з кріплення. Зняття мікрофона виключає умову наявності тону, далі шумопридушувач працює як звичайно і відповідно зв'язок проводиться звично. Оскільки абоненти клавішу тонального виклику при зв'язку більше не натискають, інші абоненти (якщо вони не зняли мікрофон з кріплення) цю розмову не чують. В такій системі груповий

зв’язок створюється природнім шляхом, тобто абонент, що викликає, просто перераховує всіх хто повинен ввійти в групу і всі вони знімають мікрофони з кріплення. Така система частково зменшує перешкоджаючу дію роботи радіомережі, але абоненти вимушені прослуховувати всі виклики.

Сигнали тональних систем займають смугу частот, що співпадає зі смугою мовного сигналу (звичайно 300-3400 Гц), тому вони передаються короткочасно на початку повідомлення. Перевагою таких систем є можливість формування великого адресного простору. Разом з тим, при нестійкому каналі зв’язку момент передачі тонального вибіркового виклику може співпасти з замиранням сигналу в приймачі, і все повідомлення буде пропущене. Таким чином, недоліком даного виду сигналізації є відносно невисока надійність встановлення каналу зв’язку, особливо в міських умовах роботи мережі.

Такі найпростіші системи реагують на появу несучої частоти в каналі зв’язку. Вони певною мірою полегшують життя користувачу, але мають значний недолік: абонент буде чути всі виклики і розмови на даному каналі, тобто буде постійно відволікатись від справ. Це й обумовило появу досконаліших систем шумоподавлення, які реагують лише на спеціальну, призначену для даного користувача чи групи користувачів службову інформацію.

Тональний шумоподавлювач (CTCSS). Принцип ідентифікації за допомогою CTCSS полягає в тому, що до корисного сигналу «домішується» тон певної звукової частоти, так званий субтон (українською – пілот-тон). Приймач радіостанції буде активізуватися («відкриватися») лише в тому випадку, якщо в прийнятому сигналі присутній субтон, на який радіостанція настроєна. Приклад зв'язку з використанням тонального шумоподавлювача показаний на рис. 5.2.

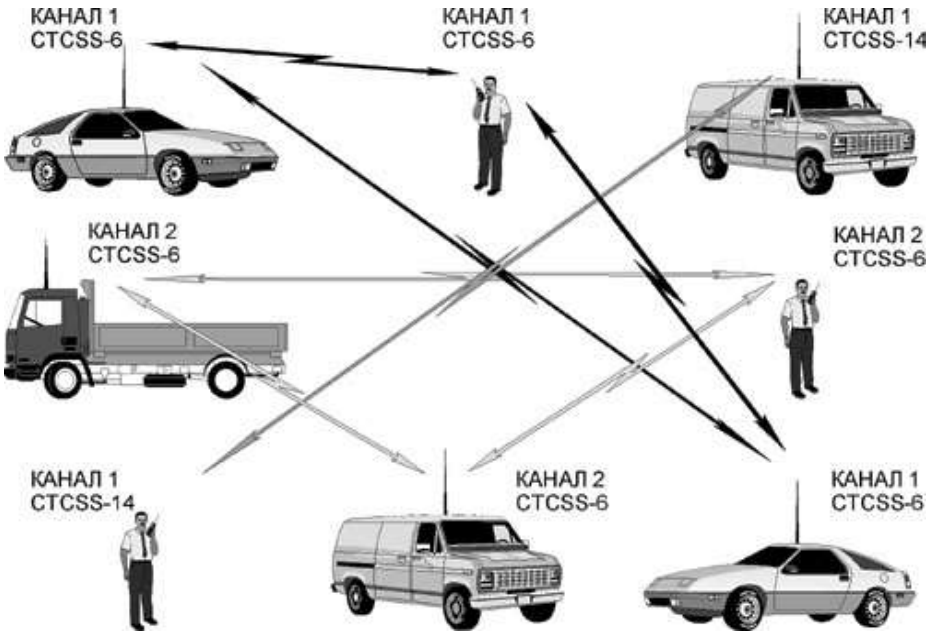

Рис. 5.2. Приклад зв'язку з використанням тонального шумоподавлювача

Як видно з рис.5.2, зв'язок з використанням CTCSS можливий лише між абонентами, у яких збігаються частотний канал (частота) і субтон тонального шумоподавлювача.

Подібні системи вимагають наявності в радіостанції пристрою, що формує й аналізує CTCSS тони. Цей пристрій може бути виконаний у вигляді незалежного модуля, що вбудовується в радіостанцію, або бути частиною схеми. Звичайно CTCSS модуль може формувати 38-50 тонів у кожному частотному каналі радіостанції. Використання CTCSS дозволяє організовувати досить розвинені системи радіозв'язку із груповими (рідше індивідуальними) викликами. У деяких випадках (особливо в районах зі складною електромагнітною обстановкою) буде корисним вмонтувати (активізувати) CTCSS навіть у простих симплексних системах зв'язку без ідентифікації. Це дозволить частково захистити систему від перешкод і до деякого ступеню від нелегальних абонентів. Наприклад, ретранслятор системи не буде «відкриватися» на сигнали, які не містять необхідного CTCSS тону.

Частоти пілотів-тонів лежать у діапазоні нижче 300 Гц (звичайно 67–250 Гц) і при прийомі не чутні в гучномовці радіостанції, тому що вирізаються спеціальними фільтрами (рис. 5.3). Тому їх безперервно передають протягом всього сеансу зв’язку, що дозволяє більш надійно встановлювати і контролювати канал, особливо при нестійкому зв’язку. Недоліком підтональних систем вибіркового виклику є зменшення долі модуляції несучого коливання, що належить інформаційному повідомленню, а також обмежений простір через вузьку смугу частот.

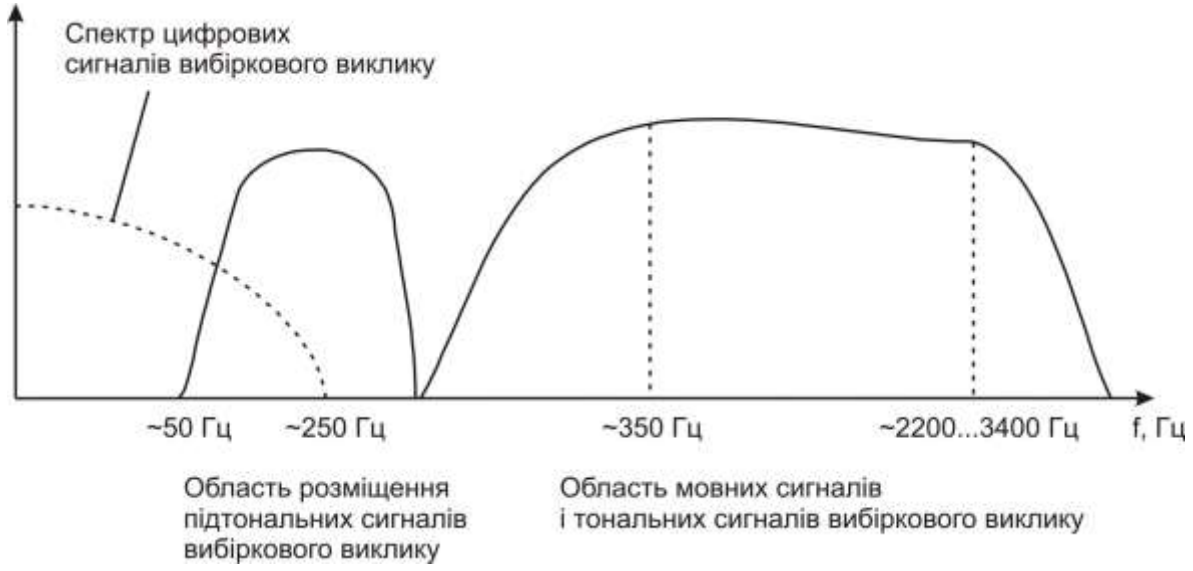

Рис.5.3. Границі розміщення сигналів вибіркового виклику

Варто враховувати, що використання пілотів-тонів не дозволяє розширити ємність системи (кількість абонентів). Все одно в один момент часу, на одному частотному каналі може проводитися тільки один сеанс зв'язку (абонент-абонент, абонент-група, група-група). Це пов'язане з тим,

що радіостанція не може одночасно приймати два сигнали, з однаковою частотою, навіть якщо в них різні тони. Тому ємність системи не залежить від методу й складності ідентифікації, а обмежена пропускною здатністю системи. Одна частота (дуплексна пара частот) – один сеанс зв'язку (незаперечна догма в аналогових мережах). Це характерно для будь-яких систем зв'язку, поза залежністю від методів організації доступу й ідентифікації.

Цифровий шумоподавлювач (DCS). Для ідентифікації абонента або групи абонентів використовується спеціальна цифрова посилка перед початком повідомлення. При передачі (натисканні клавіші PTT), радіостанція автоматично формує цифрову посилку на робочій частоті, що відповідає абонентові (групі абонентів), якому адресоване повідомлення. Приймач активізується тільки в тому випадку, якщо він настроєний на прийом даного коду, інші приймачі, що працюють на тій же частоті, будуть неактивні. Організація ідентифікації практично аналогічна використанню CTCSS, з всіма достоїнствами й недоліками останньої.

Можлива кількість цифрових комбінацій теоретично нескінченна, хоча стандартними є 104 коди.

Кодовий шумоподавлювач (DTMF – Dual-tone multifrequency). Для ідентифікації абонента або групи абонентів використовується спеціальна тональна посилка перед початком повідомлення, так звана DTMF послідовність. Кожному символу на клавіатурі радіостанції відповідає звуковий тон певної частоти (за принципом тонального набору в сучасних телефонних мережах). Коли натискається клавіша на клавіатурі радіостанції, формується звуковий тон, що потім передається в ефір на частоті передачі. Приймач активізується тільки в тому випадку, якщо він настроєний на включення при прийомі даного коду, інші приймачі, що працюють на тій же частоті, будуть неактивні. Для організації зв'язку за допомогою DTMF радіостанція повинна бути оснащена клавіатурою й модулем DTMF.

Найпоширеніший метод ідентифікації. Зокрема без DTMF неможлива організація телефонних викликів. Найчастіше використовується разом з CTCSS й DCS. Крім ідентифікації абонентів, застосовується для доступу до зовнішніх пристроїв, підключених до системи зв'язку. Наприклад, телефонні інтерфейси, пристрої дистанційного керування, контролери тощо.

Параметри даного сигналу стандартизовані ГОСТ 25554-82, алфавіт DTMF обмежений десятковими числами і додатковими символами A, B, C, D, *, #.

Додаткові символи дозволяють вводити розширений набір кодів. Кожному елементові алфавіту поставлені у відповідність дві з восьми частот. При цьому частоти розбиті на дві групи по чотири частоти:

- нижня група – 697 Гц, 770 Гц, 852 Гц, 941 Гц;
- верхня група – 1209 Гц, 1336 Гц, 1477 Гц, 1633 Гц.

Кожен символ DTMF кодується сумою двох гармонічних коливань з нижньої і верхньої групи частот. Відповідність між символом і комбінацією частот представлена в *таблиці 5.1*. Час двохчастотного сигналу повинен бути не менше 40 мс, а час паузи не менше 25 мс. Стабільність генерованих частот – не менше ±1,5%.

Таблиця 5.1. Відповідність між символом і комбінацією частот DTMF [3]

Частота, Гц	Частота, Гц			
	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

В мережах радіозв’язку з фіксованим закріпленням каналів сигнали DTMF використовуються для розділення незалежних груп абонентів, вибіркового виклику, дистанційної ініціалізації радіопристроїв, наприклад, радіоретрансляторів, набору номера АТС при зв’язку з абонентами телефонної мережі тощо. Користувач набирає код DTMF шляхом натискання певних клавіш на клавіатурі радіостанції в режимі передачі сигналу. Це створює певні незручності, наразі, додатково займається радіоканал на час набору номера, радіостанція повинна мати клавіатуру тощо. На сьогоднішній час деякі радіостанції дозволяють попередньо запрограмувати декілька номерів у пам’ять і автоматично викликати їх натисканням однієї кнопки.

Перевагою сигналу DTMF є його сумісність з тональною системою сигналізації сучасних АТС і провідного обладнання, що дозволяє досить просто організувати взаємодію телефонних мереж і мереж радіозв’язку з фіксованим закріпленням каналів.

Слід відзначити, що, оскільки, початково даний сигнал призначався для використання у провідних телефонних мережах, його параметри не повністю відповідають вимогам вибіркового виклику для радіомереж. Наразі, модуляція несучої одночасно двома гармонічними коливаннями пред’являє підвищені вимоги до лінійності тракту модуляції-демодуляції радіостанції. При цьому також зменшується її потужність випромінювання, що надходить на кожне коливання, яке призводить до зниження завадостійкості сигналу.

Інші. При всій розмаїтості методів ідентифікації (DQT, PL, Select 5, CCIR, EEA, EIA, ZVEI тощо), практично всі вони зводяться до трьох основних форматів CTCSS, DCS й DTMF, які відрізняються тривалістю посилок, їхньою частотою, формою сигналів тощо.

Таблиця 5.2. Використання різних типів методів ідентифікації [3]

	Метод ідентифікації*
Розбивання на групи всередині системи зв'язку	CTCSS або/й DCS
Індивідуальний виклик	DTMF (+ CTCSS або/й DCS)
Виклик групи	DTMF (+ CTCSS або/й DCS)
Виклик у телефонну мережу	DTMF (+ CTCSS або/й DCS)
Доступ до пристроїв керування**	DTMF (+ CTCSS або/й DCS)

** Методи ідентифікації можуть використатися в сполученнях один з одним. Наприклад, доступ у телефон здійснюється DTMF послідовністю, але для додаткового захисту можна встановити перевірку CTCSS й/або DCS тону.*
*** До пристроїв керування відносяться ретранслятори, контролери, механізми й прилади, керовані по радіоканалу (телеметрія).*

Входження в зв’язок при використанні багатотональних систем індивідуального/групового виклику відбувається таким чином: на клавіатурі набирається номер абонента, що викликається, і посилається виклик (наприклад, натисканням «зірочки»). Сигнал виклику «дзвінок» звучить при цьому лише на радіостанції, що викликається, решта радіостанцій на нього не реагують і подальшу розмову абонентів не чують. Для групового зв’язку в кожну радіостанцію крім індивідуального записують ще й груповий номер. Всі радіостанції однієї групи мають однаковий груповий номер. Для виклику групи абонент, що викликає, набирає номер цієї групи і всі станції групи подають сигнал виклику чи просто вмикають сигнал приймача, при цьому всі абоненти чують голос того хто викликає групу.

5.4. Методи захисту інформації в системах конвенціонального радіозв'язку

Кожний, хто користується будь-якими засобами зв'язку, бажає обмежити можливість доступу сторонніх людей до переданої інформації. Надійний захист інформації може бути забезпечений у системах цифрового радіозв'язку, які дозволяють використання криптографічних методів захисту інформації. Криптографічні алгоритми використовуються в ряді цифрових стандартів стільникового зв'язку, які одержали широке розповсюдження, забезпечуючи досить високий ступінь захисту інформації від несанкціонованого доступу.

У вітчизняних системах конвенціонального та транкового радіозв'язку цифрові технології поки ще не знайшли настільки широкого застосування. У порівнянні з аналоговими радіостанціями вартість цифрових радіо засобів помітно вища. Переважна більшість вітчизняних користувачів професійних систем рухомого радіозв’язку використовує парк аналогових станцій.

Проте, необхідність обмеження доступу до службової інформації диктується специфікою діяльності певної категорії користувачів

радіосистем. Зокрема, згідно проекту Настанови із організації зв’язку та інформаційних систем в МНС України, який сьогодні регулює питання організації зв’язку в підрозділах ОРС ЦЗ, регламентуються обмеження несанкціонованого доступу до схем організації зв'язку, переданої інформації та апаратури зв'язку. Оптимальним вирішенням цього завдання при використанні звичайних аналогових радіостанцій є використання аналогових скремблерів, що дозволяє забезпечити нерозбірливість переданої інформації при прослуховуванні її сторонніми особами за допомогою скануючих приймачів.

Класифікація [12].

Під *аналоговим скремблюванням* мається на увазі перетворення вихідного мовного сигналу з метою мінімізації ознак мовного повідомлення, у результаті якого цей сигнал стає нерозбірливим і невпізнанним. При цьому він займає таку ж смугу частот спектра, як і вихідний сигнал. Необхідною властивістю такого перетворення є можливість зворотного перетворення для відновлення мовного сигналу на прийомній стороні.

Технічні засоби, що забезпечують захист інформації аналоговими методами, називаються *скремблерами*. Іноді їх називають також *маскіраторами* мови. Як правило, у сигналі, закритому за допомогою аналогового скремблера, все-таки зберігаються окремі ознаки відкритого мовного повідомлення.

В цілому, аналогові методи захисту інформації забезпечують менший ступінь закриття мовних сигналів у порівнянні із цифровими, однак при практичній реалізації вони, як правило, більш прості, дешеві, а також характеризуються досить високою якістю відновленого мовного сигналу.

При скремблюванні можливе перетворення мовного сигналу по трьом параметрам: амплітуді, частоті й часу. Однак у системах рухомого радіозв'язку практичне застосування знайшли в основному частотні й часові перетворення сигналу, а також їхні комбінації. Можливі перешкоди в радіоканалі істотно ускладнюють точне відновлення амплітуди мовного сигналу, у зв'язку із цим амплітудні перетворення при скремблюванні практично не застосовуються.

При *частотних перетвореннях сигналу* в засобах рухомого радіозв'язку найчастіше використовуються наступні види скремблювання:

- частотна інверсія сигналу (перетворення спектру сигналу за допомогою гетеродина й фільтра);
- розбивання смуги частот мовного сигналу на декілька піддіапазонів і частотна інверсія спектра в кожному відносно середньої частоти піддіапазону;
- розбивання смуги частоти мовного сигналу на декілька піддіапазонів й їхні частотні перестановки.

При *часових перетвореннях* здійснюється розбивання сигналу на мовні сегменти і їх перестановки в часі. При цьому, в основному, використовуються два способи закриття:

– інверсія за часом сегментів мовлення;

– часові перестановки сегментів мовного сигналу.

Комбіновані методи перетворення сигналу припускають використання одночасно декількох різних способів скремблювання (як частотних, так і часових), число яких обмежується, як правило, можливостями технічної реалізації аналогових скремблерів.

Основні характеристики.

Основними технічними характеристиками аналогових скремблерів є рівень закриття інформації, залишкова розбірливість й якість відновлення сигналу.

Найбільш важливою характеристикою скремблера для користувача, який вимагає забезпечення захисту інформації у своїх каналах зв'язку, є *рівень закриття інформації*. Слід зазначити, що, якщо для складних цифрових систем передачі мови й даних поняття рівня закриття строго регламентується й визначається криптографічною стійкістю інформації, то для аналогових скремблерів (особливо в системах рухомого радіозв'язку) дане поняття носить умовний характер, тому що до теперішнього часу на цей з цього питання не вироблено чітких стандартів або правил.

У ряді випадків як критерії рівня закриття інформації при порівнянні різних засобів рухомого радіозв'язку з аналоговим скремблюванням можна використати кількість ключових параметрів і кількість можливих ключів скремблера.

Під *ключовим параметром аналогового скремблера* звичайно розуміють який-небудь параметр перетворення мовного сигналу, значення якого необхідно знати для здійснення зворотного перетворення сигналу на прийомній стороні.

Ключем аналогового скремблера (за аналогією з цифровими системами шифрування), як правило, називають конкретний секретний стан деяких параметрів перетворення мовного сигналу. *Кількість ключів* скремблера визначається безліччю можливих значень ключа. Для скремблерів з одним ключовим параметром вона визначається числом можливих станів цього параметра, для скремблерів з декількома ключовими параметрами – кількістю можливих комбінацій значень цих параметрів (як правило, добутком чисел станів усіх ключових параметрів).

Якість відновлення сигналу визначається спотвореннями сигналу при його частотних або часових перетвореннях. Фактично, ця характеристика відбиває розбірливість й можливість розпізнання відновленої мови. Прийнятною або комерційною якістю відновленої на прийомному кінці мови вважається таке, коли слухач без зусиль може визначити голос мовця й зміст повідомлення, яке промовляється.

Найкращу якість відновлення сигналу мають частотні інвертори, які практично не погіршують розбірливість й можливість розпізнання мови при правильній реалізації. Більш складні методи частотних перетворень можуть вносити деякі спотвореннями в мовний сигнал. Реалізація високої

якості відновлення мови при часових перетвореннях вимагає досить складної обробки.

Під *залишковою розбірливістю* розуміють відсоток відновлених фрагментів скрембльованого мовного сигналу при прослуховуванні переговорів за допомогою звичайних УКХ-приймачів або радіостанцій, не оснащених аналогічним скремблером (часто вимоги до залишкової розбірливості задаються як максимально припустимий клас розбірливості мови за ГОСТ 16600-72).

Слід зазначити, що переважна більшість відомих аналогових мовних скремблерів в тому чи іншому ступені залишає залишкову розбірливість. У мовному сигналі захищеному скремблером, який прослуховується, зберігається інформація про темп мови, уловлюються паузи. При нескладних способах захисту досвідчений оператор може розібрати (залежно від наявності відомостей про тематику переговорів, що ведуться) від 10 до 50 % переданої інформації.

Частотні перетворення.

При *частотній інверсії* перетворення спектра мовного сигналу еквівалентне повороту частотної смуги сигналу навколо деякої середньої частоти F_i. Принцип даного перетворення сигналу показаний на рис. 5.4: а) – вихідний спектр сигналу, б) – спектр сигналу після інверсії.

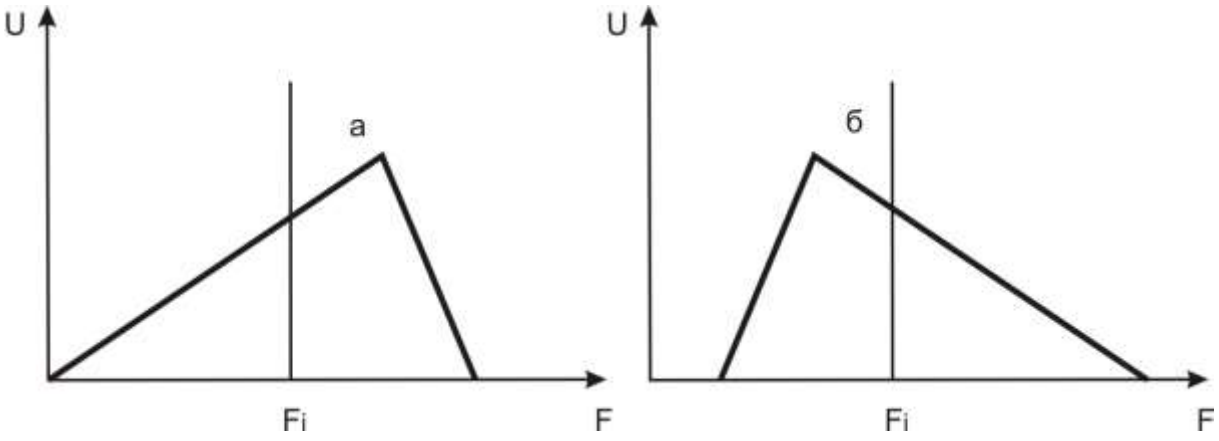

Рис. 5.4. Принцип роботи частотного інвертора мовного сигналу

Більш складний у порівнянні з частотною інверсією спосіб перетворення сигналу забезпечує скремблер з *розбиванням смуг мовного сигналу на піддіапазони із частотною інверсією сигналу в кожному піддіапазоні* (смугово-здвижний інвертор). Звичайно використовується розбивання смуги на 2 піддіапазони. Принцип такого частотного перетворення для 2-х піддіапазонів показаний на рис. 5.5, де а) – вихідний спектр сигналу; б) – спектр сигналу після перетворення, F_p – частота розбивки спектра сигналу; F_{i1}, F_{i2} – частоти інверсії 1-го та 2-го піддіапазонів.

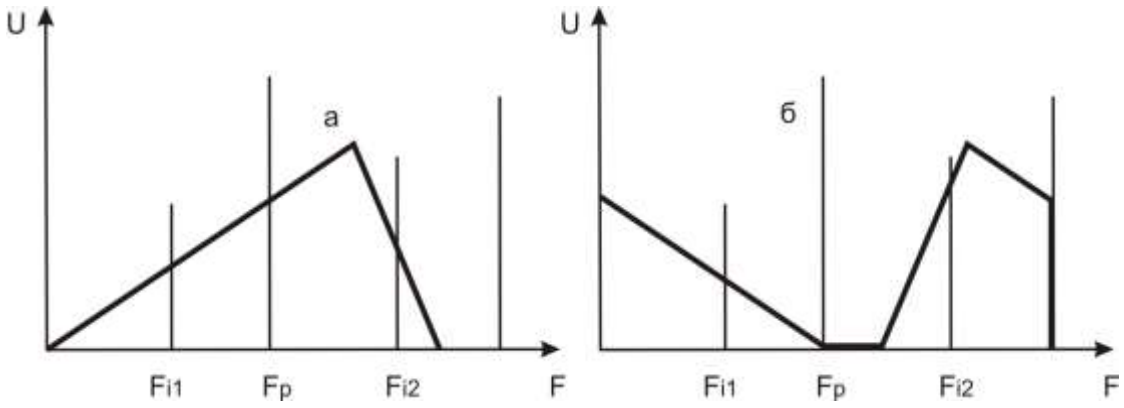

Рис. 5.5. Принцип роботи смугово-здвижного інвертора мовного сигналу при розбиванні спектру сигналу на 2 піддіапазони

Смугові скремблери використовують спосіб *розбивання смуги мовного сигналу на декілька піддіапазонів із частотними перестановками цих піддіапазонів*. Принцип роботи смугового скремблера з розбиванням спектру сигналу на 4 смуги показаний на рис. 5.6.

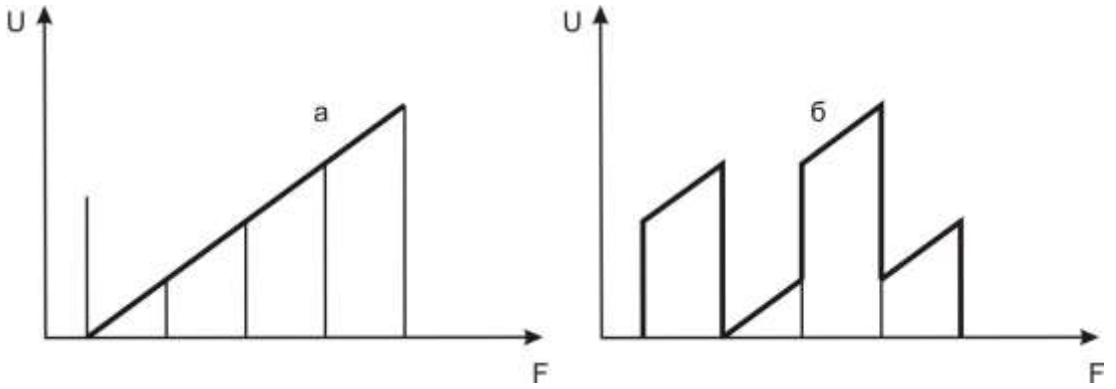

Рис. 5.6. Принцип роботи 4-х смугового скремблера

Смуговий скремблер може бути реалізований на основі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). В такому скремблері на передавальній стороні здійснюється пряме ШПФ, частотна перестановка смуг, а потім – зворотнє ШПФ. На прийомній стороні здійснюються аналогічні перетворення зі зворотною частотною перестановкою смуг. У скремблерах із ШПФ можливо досягти високого ступеня захисту інформації за рахунок збільшення кількості смуг, що перемішуються, однак на практиці цей метод скремблювання в рухомому радіозв'язку застосовується рідко в зв'язку зі складностями технічної реалізації. Крім цього, скремблери з ШПФ вносять у канал зв'язку часову затримку.

Часові перетворення.

Найпростішим видом часового перетворення є *часова інверсія,* при якій вихідний сигнал ділиться на послідовність часових сегментів і кожний з них передається інверсно в часі – з кінця на початок. Принцип роботи часового інвертора показаний на рис. 4.7.

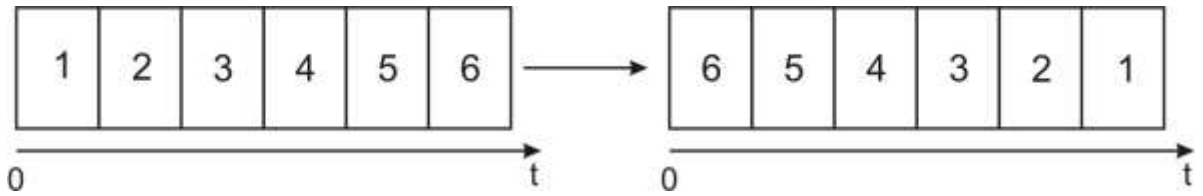

Рис. 5.7. Принцип роботи часового інвертора

У *скремблері з часовими перестановками* мовний сигнал ділиться на часові кадри, кожний з яких у свою чергу поділяється на сегменти, а потім сегменти мовного сигналу піддаються перестановці. Принцип роботи такого скремблера *з фіксованим вікном* і числом часових сегментів у кадрі, рівному 6, показаний на рис. 5.8.

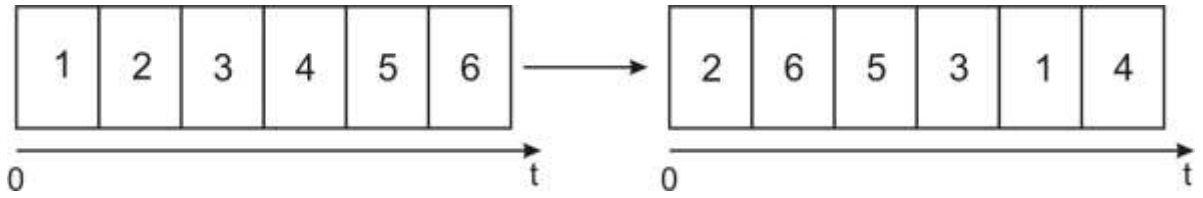

Рис. 5.8. Принцип роботи скремблера з часовими перестановками

Ролінгові скремблери.

Всі розглянуті вище скремблери припускають фіксовані параметри перетворення сигналу (фіксовані ключі) протягом передачі мовного повідомлення й тому називаються *статичними*.

Додаткове підвищення рівня закриття інформації може бути забезпечене *зміною параметрів перетворення сигналу в часі.* Такі скремблери називаються *динамічними*, а в сучасній практиці їх прийнято позначати терміном *ролінгові* скремблери (з англ. *rolling*).

Динамічні скремблери, як правило, істотно дорожчі скремблерів з фіксованими параметрами перетворення сигналів, суттєво впливають на характеристики радіо засобів і вимагають початкової синхронізації. Однак їхнє застосування дійсно ускладнює можливості перехоплення переговорів, особливо в реальному масштабі часу.

Це пояснюється тим, що зміна ключових параметрів у часі теоретично призводить до різкого збільшення кількості ключів, під якими для ролінгових скремблерів звичайно розуміють деяке значення, що визначає порядок зміни параметрів перетворення сигналу. Наприклад, ключем може бути початкове значення генератора псевдовипадкової послідовності, відповідно до якої змінюється певний ключовий параметр.

Часові перетворення сигналу в поєднанні зі зміною ключових параметрів у часі досить складні для реалізації й вимагають відносно тривалої синхронізації, тому вони поки що не знайшли свого застосування в ролінгових скремблерах. Для способів частотного перетворення сигналу змінюваними ключовими параметрами можуть бути частота інверсії (для частотного інвертора), частота розбивання смуги сигналу (для смугово-здвижного інвертора), комбінація частотної перестановки піддіапазонів сигналу (для смугового скремблера). Більшість відомих моделей

ролінгових скремблерів використовують найбільш простий принцип спектрального перетворення – частотний інвертор зі зміною частоти інверсії сигналу в часі.

Відмінність скремблерів є в числі частот інверсії, швидкості їхньої зміни й кількості ключів, що визначають тривалість перебору можливих комбінацій змінюваних параметрів без їхнього повторення.

Порівняння.

Звичайно користувача найбільше цікавить питання, який скремблер забезпечить найкращий захист інформації. Варто сказати, що представлені аналогові скремблери не можуть забезпечити гарантовану стійкість інформації, тому їх не можна розглядати як засоби криптографічного захисту інформації (ЗКЗІ). Мова може йти лише про утруднення прослуховування ворогом або зловмисником переговорів, що ведуться за допомогою радіозасобів, оснащених скремблерами, у реальному масштабі часу. Як вже було сказано, деяке уявлення про ступінь закриття інформації може дати кількість ключових параметрів і кількість ключів. Причому варто розглядати ці параметри в сукупності, при рівній кількості ключів перевагу мають скремблери з більшою кількістю ключових параметрів. Розглянемо із цього погляду представлені види скремблерів.

Для *частотного інвертора* єдиним ключовим параметром є значення частоти інверсії сигналу. Розмірність цього параметра, тобто число можливих значень частот інверсії (число ключів) з відчутними спотвореннями, що виникають при прослуховуванні на сусідній частоті, не перевищує 20-30. Для перехоплення переговорів, що ведуться за допомогою радіозасобів, оснащених частотним інвертором, досить мати аналогічну радіостанцію або скануючий приймач із можливістю підбору частоти інверсії.

У *смугово-здвижних інверторах* в якості основного ключового параметра виступає частота розбивання смуги мовного сигналу F_p, розмірність якої порівнянна з розмірністю ключового параметра частотного інвертора. Якщо частота розбивання є єдиним ключовим параметром, то дані способи аналогового скремблювання забезпечують закриття мовної інформації, порівнянне із частотною інверсією. У випадку коли можуть змінюватися й частоти інверсії в кожній зі смуг, число ключів, відповідно й рівень закриття інформації, збільшуються.

У *смугових скремблерах* ключовими параметрами системи є число частотних смуг і кодова комбінація їхньої перестановки. Реальне число смуг не перевищує 4-х, тому число можливих комбінацій – 24 (одна з них не є перестановкою).

Скремблери з часовими перестановками мають кілька ключових параметрів: тривалість сегмента мови, тривалість тимчасового відрізка й правило перестановки тимчасових відрізків у сегменті. Різні сполучення значень цих параметрів можуть дати можливість реалізації декількох сотень ключів.

Ролінгові скремблери надають можливість використання в мережі радіозв'язку такої кількості ключових комбінацій, що може вимірятися мільйонами або навіть мільярдами. При цьому рівень захисту визначається кількістю градацій параметра сигналу, довжиною ключа, тобто числом можливих комбінацій параметра, швидкістю зміни параметра.

Однак підвищення ступеня закриття інформації в набагато більшому ступені залежить від кількості градацій ключового параметра (наприклад, кількості частот інверсії сигналу), ніж від довжини послідовності їхнього перебору.

Слід зазначити, що при низькій швидкості зміни частоти інверсії (наприклад, 1 раз у секунду) ще зберігається можливість розуміння певної частини переданої інформації при її прослуховуванні за допомогою радіостанції, оснащеної скремблером з фіксованою частотою інверсії. Однак при збільшенні швидкості до 5-10 разів у секунду можливість такого розуміння різко знижується. Необхідність подальшого збільшення швидкості зміни параметра перетворення викликає деякі сумніви.

Перехоплення повідомлень у реальному масштабі часу в каналах зв'язку, захищених за допомогою скремблерів з параметрами перетворення, змінюваними в часі, можливе при застосуванні спеціальних технічних засобів, що дозволяють спочатку визначити ключову послідовність (тобто правила зміни параметрів перетворення сигналу), а потім під лаштуватися під знайдену ключову послідовність. Разом з тим, це встаткування повинне бути значно складніше в порівнянні із засобами перехоплення переговорів абонентів, радіостанції яких оснащені скремблерами з фіксованими параметрами.

Практичні питання.

Як правило, розроблювачі й постачальники скремблерів не надають докладної інформації по принципу скремблювання й, особливо, за значеннями ключових параметрів. Така поведінка правильна й представляє, по суті справи, організаційний захід для підвищення ступеня конфіденційності переговорів клієнтів. Однак для користувачів це створює деякі складності при виборі конкретного технічного рішення по захисту інформації в мережах радіозв'язку. У зв'язку із цим хотілося б зупинитися на декількох питаннях, на які варто звернути увагу при придбанні засобів аналогового скремблювання.

Насамперед, доцільно провести мінімальні випробування радіозасобів із установленими скремблерами для оцінки залишкової розбірливості сигналу при прослуховуванні переговорів за допомогою таких же радіостанцій, але не оснащених цими скремблерами. Цілком можливо, що для деяких ключових комбінацій буде зберігатися висока залишкова розбірливість, тому необхідно виключити ці комбінації при практичному використанні.

Необхідно також оцінити якість відновлення мовного сигналу при роботі з радіостанціями, оснащеними скремблерами, шляхом порівняння відкритого й закритого каналів. Справа в тому, що, бажаючи збільшити

ступінь захисту інформації, розроблювачі йдуть на різні хитрощі, що призводять до додаткових спотворень спектру або інших параметрів сигналу.

Вплив скремблерів на параметри радіостанцій проявляється також у погіршенні їхньої чутливості за рахунок зменшення співвідношення сигнал/шум на вході приймача. Для деяких скремблерів можливе зниження дальності зв'язку в порівнянні з лінією радіозв'язку, організованої на відкритому каналі. Тому доцільно провести порівняльні випробування на дальність й оцінити можливі втрати при використанні радіостанцій зі скремблерами.

При перетвореннях сигналу, пов'язаних зі зміною будь-яких параметрів перетворення в часі (використовується в скремблерах з часовими перестановками й у ролінгових скремблерах), потрібний деякий часовий інтервал для синхронізації таймерних пристроїв передавальної й приймальної сторони. Це змушує оператора витримувати паузу між натисканням тангенти «передача» на радіостанції й початком мови, що вимагає певної дисципліни при проведенні сеансів зв'язку. Бажано оцінити, чи прийнятна подібна затримка для ваших умов використання радіозасобів.

Для користувачів засобів УКХ радіозв'язку вкрай важливий рівень технічного виконання скремблерів. Так як конструктивно найчастіше скремблери являють собою малогабаритні мікроелектронні вузли, які встановлюються всередині корпусу радіостанції, найкраще вибирати скремблюючі пристрої з мінімальними габаритами. Природно, що мінімізація габаритів дозволяє розширити застосовність скремблерів, тому що забезпечується можливість їхньої установки в більшу кількість радіозасобів. Для користувачів, що бажають забезпечити захист інформації для вже наявних радіостанцій, цілком може підійти варіант із зовнішнім підключенням скремблеру.

Варто розуміти, що установка скремблерів в радіостанції може призвести до певних обмежень на використання інших модулів або вбудованих функцій радіостанцій, таких як тональна (DTMF) або підтональна (CTCSS) сигналізація. Часто це відбувається через неможливість одночасного конструктивного розміщення всередині станції, однак іноді такі обмеження можуть пояснюватися несумісними з DTMF або CTCSS спектральними або часовими перетвореннями сигналу.

При встановленні скремблерів бажано звертати увагу на додатковий струм живлення, що вносять ці модулі. Значний струм живлення може впливати на тривалість роботи станцій без заміни акумулятора.

Зручність використання скремблерів, багато в чому, залежить від тих засобів, які передбачені для установки ключа. У цьому випадку, вибір доцільно здійснювати, виходячи з умов експлуатації радіозасобів. Для одних користувачів необхідна оперативна заміна ключа із клавіатури безпосередньо в процесі роботи, для інших – більш важливим є вимога по

незмінності ключа й неможливості переустановити його без використання спеціальних програматорів.

5.5. Реалізація систем конвенціонального радіозв'язку

Прямий зв'язок (direct mode).

Найпростіший метод побудови системи зв'язку. Характерні особливості – обмежений радіус дії, простота організації, мінімум витрат.

Найбільш часто такі радіомережі використовують будівельники, служби охорони локальних об'єктів, групи телеоператорів, організатори масових заходів тощо. У таких радіомережах не використовуються ретранслятори, тому вони мають невелику зону дії й, як правило, застосовуються на невеликих площах, у будинку або групі будинків розміщених один біля одного, невеликому селищі. Тобто там, де вимоги по дальності мінімальні й обмежені радіусом дії радіостанцій.

Для роботи системи необхідно одна частота. Залежно від типу застосовуваних станцій можливі два різновиди мереж:

- радіомережі без індивідуального виклику, що працюють за принципом «один говорить – всі чують»;
- радіомережі з індивідуальним і груповим викликом, у яких можлива робота на одній частоті декількох груп користувачів з використанням CTCSS, DCS або DTMF.

Диспетчерські системи.

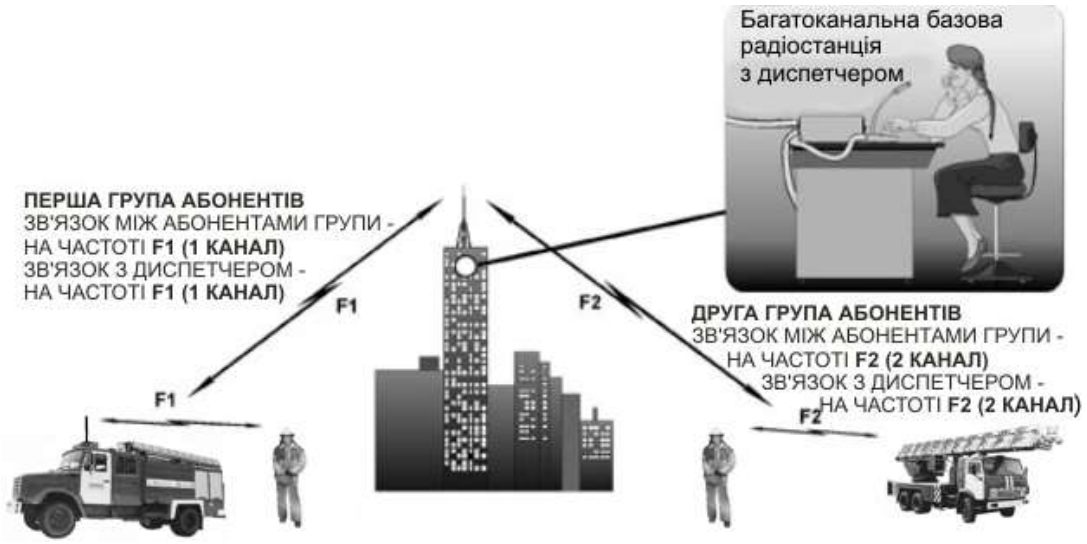

Рис. 5.9. Організація диспетчерського радіозв'язку

Слово «диспетчерські» у початковому змісті слова, припускає наявність людини (диспетчера) при організації переговорів. Абонент із мобільної, носимої, або стаціонарної радіостанції здійснює виклик диспетчерського пункту на певній частоті, потім диспетчер передає повідомлення іншому абонентові на тій же або на іншій частоті. Завдання

диспетчера полягає в тому, щоб «ретранслювати» сигнал й/або перерозподіляти виклики по частотним каналам.

Наприклад: одна група абонентів працює на частоті 1 (перший канал), а інша група на частоті 2 (другий канал). У цьому випадку, якщо виникає потреба в передачі повідомлення між абонентами різних груп, зв'язок неможливий. При використанні диспетчерської (багатоканальної) радіостанції, прийом інформації від 1-ї групи здійснюється на одному каналі, потім диспетчер перемикається на частотний канал 2-ї групи й передає повідомлення в ефір.

При такій системі зв'язку можна використовувати прості радіостанції з мінімумом каналів й одну багатоканальну для диспетчера.

Якщо диспетчер потрібний лише для збільшення дальності зв'язку (без функції керування), то буде логічно використати ретранслятор.

Системи з використанням диспетчерського пункту найбільш часто використовуються міліцією, пожежною охороною, службою швидкої допомоги, де на диспетчера покладаються функції керування.

Системи зв'язку з ретрансляторами.

Крім своєї основної функції (збільшення дальності), ретранслятори дозволяють створювати складні системи зв'язку. Хоча сам по собі ретранслятор звичайно лише приймає й передає сигнал, але саме це відкриває широкі можливості керування. За допомогою ретранслятора сигнали всіх абонентських радіостанцій «збираються» в одному місці. Це значить, що їх можна аналізувати після прийому й змінювати перед передачею. Це здійснюється за допомогою спеціальних контролерів, що підключають до ретранслятора.

Контролери – досить складні електронні пристрої, що виконують більшість функцій по ідентифікації абонентів, обмеженню доступу до системи, об'єднанню в рамках єдиної мережі декількох систем, стикування з телефонною мережею й багато чого іншого.

Звичайне створення мережі з конкретними завданнями полягає в підборі необхідного контролера. В наш час випускаються контролери для вирішення практично всіх завдань у радіозв'язку. До речі, організація мереж з автоматичним вибором вільного каналу (транкових мереж) також зводиться до підключення до ретрансляторів спеціальних транкових контролерів.

Підключення до телефонної мережі.

Досить часто при побудові систем зв'язку існує необхідність з'єднання з телефонною мережею, міською або відомчою. Одним з методів вирішення цього завдання може бути застосування телефонних інтерфейсів.

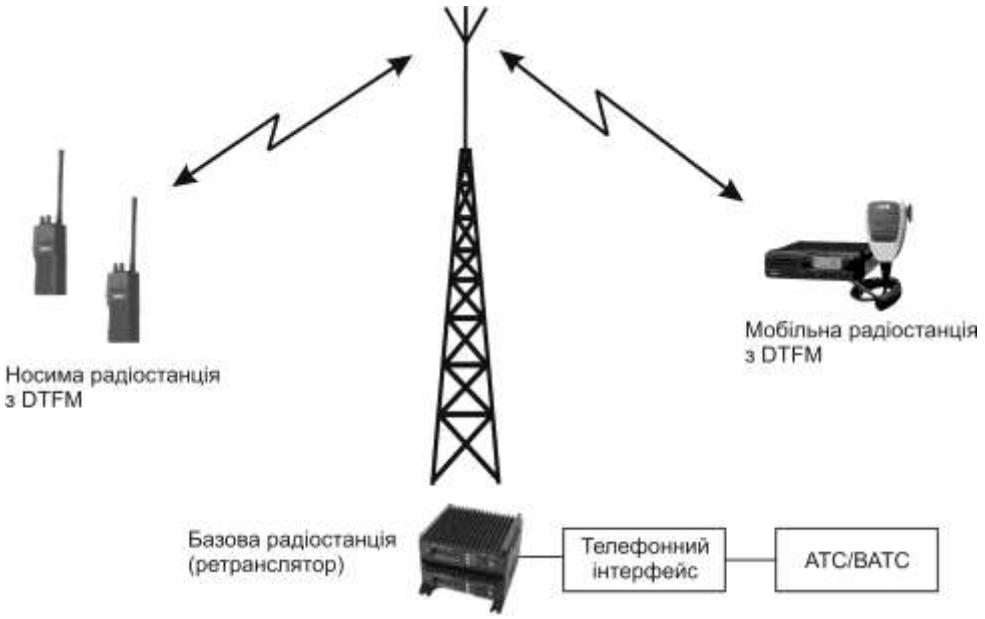

Рис. 5.10. Підключення системи радіозв'язку до телефонної мережі

Принцип роботи інтерфейсу полягає в тому, що між телефонною лінією й радіостанцією (як правило, стаціонарною) підключається пристрій, що перетворює сигнали телефонної лінії в зрозумілий для радіостанції вигляд. А сигнали радіостанції у вигляд і форму необхідну для здійснення викликів абонентів телефонної мережі. Таким чином, власникові абонентської радіостанції досить набрати код доступу до інтерфейсу (DTMF набором), а потім потрібний телефонний номер. Для того щоб викликати радіоабонента з телефонного апарата, потрібно набрати телефонний номер, до якого підключений інтерфейс і потім донабрати номер необхідної радіостанції.

До переваг даного методу стикування з телефонною лінією, варто віднести відносну дешевизну реалізації, простоту підключення, можливість використання практично в будь-яких системах радіозв'язку з будь-яким радіоустаткуванням. До недоліків – легкий доступ до системи. Будь-яка радіостанція, обладнана DTMF-клавіатурою, може вийти на телефонний інтерфейс. Підслухати й розшифрувати пароль доступу при певних навичках і наявності відповідного встаткування – досить проста справа.

Найпоширеніші моделі телефонних інтерфейсів дозволяють при одному базовому пристрої викликати донабором однієї цифри (від 0 до 9) до десяти віддалених абонентів (рухомих радіостанцій), а віддаленій (мобільній) станції – до 10 базових. Існують і більш складні пристрої, що підтримують до 100 і більше користувачів.

У більшості контролерів ретрансляторів доступ до телефонної мережі є стандартною функцією.

Системи з охопленням великих територій (багатозонові системи).

Застосування ретрансляторів, встановлених в одному місці, не завжди дозволяє вирішити проблему охоплення великих територій. У таких випадках створюють багатозонові системи зв'язку.

Подібну організацію можна розглядати як сукупність однозонових систем, об'єднаних в одну загальну мережу. За допомогою спеціальних контролерів забезпечується робота абонентів у різних зонах. Дозволяються частотні конфлікти (коли абонент перебуває в зоні дії двох і більше ретрансляторів), забезпечується ідентифікація, з'єднання з телефонною мережею тощо.

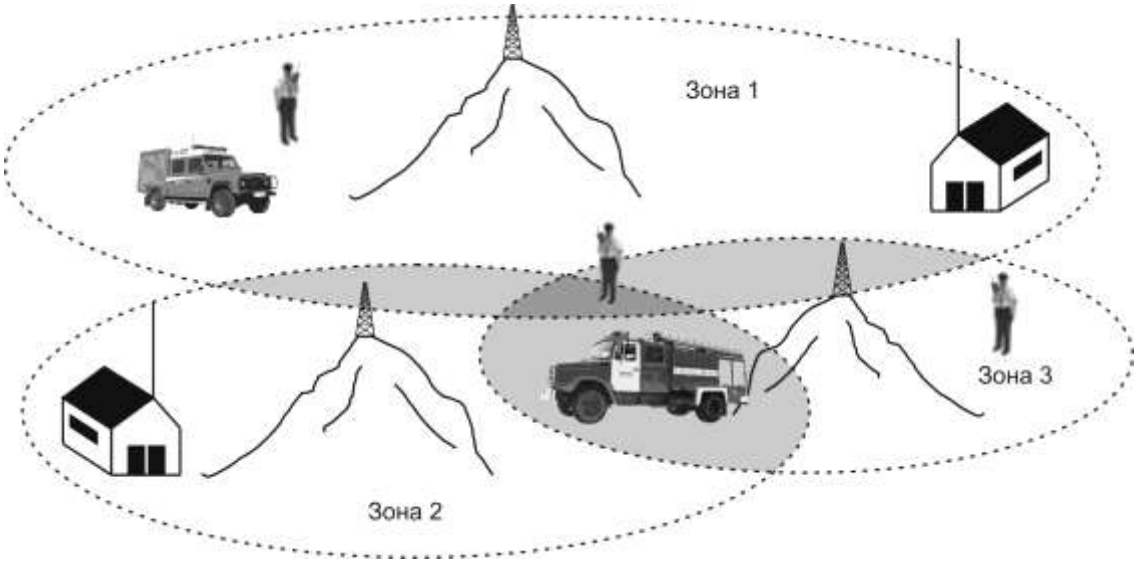

Рис. 5.11. Багатозонова система радіозв'язку

Найбільше поширення одержали транкові багатозонові системи зв'язку на основі протоколів MPT 1327 й TETRA. Вони надають абонентам високий рівень сервісу (індивідуальний виклик, динамічні групи, телефонія, черги викликів, передача даних по радіоканалам), але складні в побудові, дорогі й стають рентабельними при великій кількості абонентів (від декількох сотень до декількох тисяч).

У випадках, коли число абонентів невелике (від десятків до сотень) і вони територіально розосереджені, а також немає потреби у високому рівні сервісу (промислові підприємства, гірські розробки, газо- і нафтопроводи, залізниця, об'єкти водопостачання й тощо) можна використовувати конвенціональні системи радіозв'язку в багатозоновій побудові.

До достоїнств таких систем варто віднести можливість використання практично будь-яких радіостанцій, оснащених CTCSS або DCS. Це дозволяє включати в мережу як уже наявне встаткування на даний частотний діапазон, так і легко розширювати систему надалі. У багатозонових системах звичайно вирішена проблема переміщення абонентів між зонами (роумінг), виклик радіостанцій, що перебувають у

різних зонах, поділ абонентів на групи, з'єднання з іншими мережами зв'язку, у тому числі телефонною.

Наприклад, контролери M47MR, виробництва американської компанії Zetron, дозволяють створювати витягнуті в лінію багатокористувацькі системи зв'язку з можливістю з'єднання з телефонною мережею. Контролер підключається до ретранслятора й управляє його роботою. Всі контролери з'єднуються послідовно з використанням 4-х провідних виділених ліній або інших аналогових каналів зв'язку (радіочастотні, провідні, радіорелейні). У кожній зоні через ретранслятор можуть працювати кілька груп користувачів. Радіостанції кожної групи програмуються своїм тоном CTCSS. Можливе з'єднання радіостанцій з іншими зонами, для чого на DTMF клавіатурі радіостанції набирається номер викликуваної зони. За допомогою DTMF також можливий індивідуальний виклик конкретної радіостанції.

Дистанційне керування стаціонарною станцією.

Досить часто неможливо розташувати антену досить високо й при цьому дотриматися прийнятної довжини фідерної лінії до прийомопередавача. У таких випадках для організації найкращого радіопокриття зони обслуговування радіомережі виникає необхідність використання пульта дистанційного керування. Одним із прикладів вирішення даної проблеми є використання комплектів дистанційного керування серії С100 фірми MOTOROLA. Існує два варіанти організації дистанційного керування.

Варіант 1. Локальне дистанційне керування. Застосовується тоді, коли керована станція віддалена від диспетчерського пульта на відстань до 300 м. Пульт С100 LOCAL підключається безпосередньо до аксесуарного роз'єму радіостанції. Керування здійснюється по шестипровідному кабелю.

Рис. 5.12. Локальне дистанційне керування

Переваги: велика дальність дистанційного керування, можливість перемикання каналів.

Недоліки: необхідність використання адаптера, висока вартість у порівнянні з локальним варіантом.

Варіант 2. Тональне дистанційне керування. Застосовується, коли керована станція віддалена від диспетчерського пульта на відстань більше

300 м. (до декількох кілометрів). Керування радіостанцією здійснюється тональними сигналами по виділеній двохпровідній лінії. Для декодування тональних сигналів керування й перетворення їх у сигнали керування радіостанцією використається тональний адаптер дистанційного керування.

Рис. 5.13. Тональне дистанційне керування

Переваги: велика дальність дистанційного керування, можливість перемикання каналів.

Недоліки: необхідність використання адаптера, висока вартість у порівнянні з локальним варіантом.

Головний недолік використання пультів дистанційного керування – висока вартість. Справа в тому, що фінансові витрати на установку пультів порівнянні з витратами на найпростіший ретранслятор.

РОЗДІЛ 6. СИСТЕМИ ТРАНКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

6.1. Системи транкового радіозв'язку з децентралізованим каналом управління. Транкова система радіозв'язку протоколу SmarTrunk

До транкових систем з децентралізованим керуванням ми відносимо системи, де процедура пошуку вільного каналу реалізується за рахунок абонентських радіостанцій, які безупинно послідовно сканують робочі канали транкової системи в пошуках викличного сигналу від базової станції (БС) або вільного каналу, на якому можна було б викликати БС.

Однієї з перших транкових систем з децентралізованим керуванням була вітчизняна система «Алтай», що дотепер використовується в діапазоні 330 МГц.

Але найбільшу популярність у класі транкових систем з децентралізованим керуванням отримали системи із протоколом керування SmarTrunk, що був розроблений в 1992 році американською фірмою Selectone Corporation (нині SmarTrunk Systems, Inc.). За короткий строк від дня своєї появи технологія SmarTrunk стала світовим стандартом для недорогих радіотелефонних транкових систем.

На початку система використовувала добре відомий у радіозв'язку й телефонії аналоговий метод доступу DTMF. При всій простоті й легкості реалізації він виявився не зовсім прийнятним для транкових систем. Причина, в основному, була в тому, що розшифрувати й повторити DTMF послідовність можна навіть на слух, не говорячи вже про використання для декодування спеціальних (досить дешевих) приладів. Природно це відразу обернулося рядом проблем, основна з яких полягала в тому, що було важко захистити систему від нелегальних користувачів.

Наступна реалізація системи, представлена в 1994 році, де метод керування був замінений цифровим сигналінгом BPSK, одержала назву SmarTrunk II. Споживачі відразу відзначили переваги систем SmarTrunk II, які при досить низькій вартості встаткування мають досить високі функціональні можливості.

До теперішнього часу SmarTrunk II є абсолютним лідером на ринку СНД в області недорогих однозонових транкових систем. За даними компанії SmarTrunk Systems, число абонентів систем SmarTrunk II перевищує 400 тисяч.

Основні експлуатаційні характеристики (табл. 6.1**)**

Технологія SmarTrunk звичайно застосовується для створення відносно недорогих транкових систем у діапазонах частот 146-174 МГц й 403-470 МГц, хоча відомі й приклади створення систем SmarTrunk у діапазоні 33-48 МГц. У цей час фірма SmarTrunk Systems докладає зусиль для впровадження протоколу SmarTrunk у діапазоні частот 330 МГц (300-344 МГц), виділеному у свій час в Україні для транкових систем «Алтай», а також у діапазоні 800 МГц.

Рис. 6.1. Транковий контролер ST-853

Кількість радіоканалів SmarTrunk визначається, виходячи з кількості абонентів у системі й планованого трафіку. У складі однієї системи може бути використано від двох до 16 дуплексних радіоканалів, що може забезпечити одночасне обслуговування від 50 до 1000 абонентів.

Максимальна кількість абонентів у системах SmarTrunk раніше визначалося обсягом баз даних контролерів ST-850 або ST-852 й обмежувалося цифрою 1100.

У сучасних контролерах ST-853 (рис. 6.1) обсяг бази даних розширений до 4096 записів, що дозволяє реєструвати абонентів не тільки основної зони обслуговування, але й заздалегідь передбачити реєстрацію абонентів SmarTrunk, що тимчасово прибувають із інших населених пунктів.

Цифровий протокол сигналізації, застосований у системах SmarTrunk II, забезпечує більшу дальність зв'язку, підвищений захист від несанкціонованого доступу й конфіденційність переговорів. Передбачається дистанційне відключення абонентських радіостанцій з диспетчерського пункту у випадку їхнього викрадання, а також для запобігання доступу в систему нелегальних користувачів.

Таблиця 6.1. Основні характеристики SmarTrunk II [12]

Кількість зон	однозонова
Ємність системи, абонентів	до 4096
Кількість каналів	1…16
Кількість рівнів пріоритету	10
Програмовані обмеження для абонентів:	
- заборона вводу певних цифр	+
- обмеження сеансу зв’язку	від 30 с до 60 хв
Час з'єднання, с	0,8+0,2N (N – кількість каналів)

Для додаткового захисту від перешкод і несанкціонованого доступу в SmarTrunk може використовуватися система шумоподавлення з безперервними тонально-кодованими сигналами CTCSS (Continues Tone Ceded Squelch System).

Індикація зайнятості каналу в SmarTrunk здійснюється за наявності несучої або за наявності несучої й пілот-тону. Система SmarTrunk дозволяє організувати:

1. радіозв'язок між рухомими абонентами в індивідуальному або груповому режимі (без виходу в телефонну мережу);

2. пріоритетні виклики з примусовим перериванням сеансу зв’язку (між абонентами з більш низьким пріоритетом);
3. зв'язок між рухомими абонентами й абонентами АТС або ВАТС.

Для абонентів системи гарантується приватність зв'язку, тобто неможливість перервати або підслухати телефонну розмову або радіозв'язок, що ведеться в індивідуальному режимі.

В SmarTrunk можуть бути організовані кілька типів викликів: індивідуальний, груповий, загальносистемний, а також екстрений. Сучасні системи SmarTrunk II забезпечують до 100 рівнів пріоритету абонентів, причому високо пріоритетним абонентам робочі канали надаються по їхній першій вимозі.

Системи SmarTrunk передбачають можливість обліку тривалості сеансів зв'язку й формування рахунків за використаний ефірний час.

Склад і структура системи SmarTrunk

Транкові системи SmarTrunk складаються з базових станцій й абонентських радіостанцій. До складу кожної базової станції входять транкові контролери, ретранслятори, фільтруюче встаткування (дуплексні фільтри, комбайнери тощо) і антен-фідерні пристрої. Транкові контролери, властиво, і реалізують всі основні алгоритми роботи SmarTrunk, а також виконують функції інтерфейсу телефонного каналу.

Як абонентські пристрої в SmarTrunk використовуються звичайні напівдуплексні або дуплексні ЧМ радіостанції різних виробників, оснащені додатковими логічними модулями.

Привабливою рисою систем SmarTrunk є можливість їх поступового модульного нарощування. Базова станція може спочатку бути двох- або трьохканальною і поступово розвиватися до 16 каналів.

Структурна схема базового встаткування 4-канальної системи SmarTrunk II з контролерами ST-853 наведена на рис.6.2.

У цьому випадку застосована класична схема з використанням однієї передавальної й однієї приймальної антени й, відповідно, пристрою складання радіосигналів передавачів (комбайнера) і пристрою поділу радіосигналів для приймачів (розподільної панелі).

Транкові контролери ST-853

Центральним елементом системи SmarTrunk є транковий контролер, підключений до ретранслятора робочого каналу. Він відповідає за завантаження свого каналу, виробляє всі керуючі сигнали, визначає, чи може радіоабонент користуватися даним каналом, які його привілеї, 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 або зв'язані один з одним, у сучасних системах SmarTrunk II контролери ST-853 зв'язані загальною шиною даних, що працює в реальному масштабі часу. Наявність загальної шини

даних дозволяє виключити втрати викликів, які мали місце в колишніх версіях систем, запобігає дробленню груп зв'язку при групових викликах.

Керуючий комп'ютер підключається до одному з контролерів ST-853 базової станції по стандартному роз'єму RS-232. Зв'язок з іншими контролерами тієї ж базової станції здійснюється без додаткових перемикань по загальній шині даних.

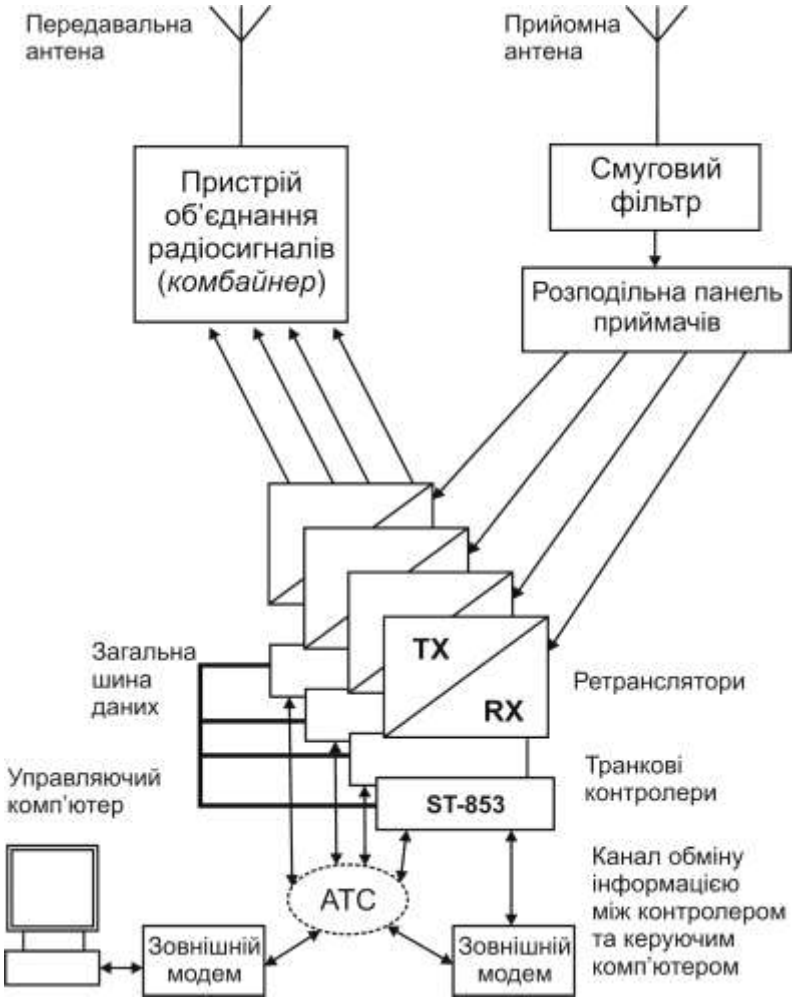

Рис. 6.2. Структурна схема базової станції SmarTrunk II

Комп'ютер може підключатися до ST-853 як безпосередньо, так і дистанційно, через високошвидкісний зовнішній модем (саме цей варіант зображений на рис. 6.2). Дистанційне керування контролерами базової станції звичайно здійснюється через телефонну мережу з використанням другого аналогічного зовнішнього модему, підключеного до керуючого комп'ютера. Фірма SmarTrunk Systems рекомендує використовувати як зовнішні модеми модель Sportster виробництва US Robotics.

Бази даних

Кожен транковий контролер SmarTrunk містить дві бази даних – про абонентів транкової системи й про сеанси зв'язку, що мали місце на відповідному робочому каналі.

У базі даних абонентів утримуються додаткові номери й системні коди тих, хто може користуватися даним радіоканалом, і основні обмеження для кожного абонента, такі як максимальна дозволена тривалість сеансу зв'язку, дозвіл або заборона на використання телефонних ліній, на вихід у міжміську мережу тощо.

Обсяг цієї бази даних у контролері ST-853 доведений до 4096 абонентів й 320 тисяч різних системних кодів. Це зроблено з метою забезпечення «адміністративного роумінгу», що дає можливість абонентам SmarTrunk користуватися послугами декількох різних систем, розташованих у різних населених пунктах.

Первісний зміст бази даних абонентів формується за допомогою комп'ютера, причому в сучасних системах SmarTrunk II це робиться без тривалого відключення базової станції. При формуванні або виправленнях бази даних система припиняє обслуговування абонентів лише на короткий час, необхідне для завантаження інформації в один з контролерів ST-853. Дані по абонентах будуть потім автоматично перезавантажені в усі інші контролери базової станції через загальну шину даних. Такий підхід дозволяє менш чим за хвилину завантажити дані про 4000 абонентів в усі контролери 16-канальної базової станції.

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. Вміст бази даних про сеанси зв'язку необхідний для обліку абонентської плати й тарифікації. На підставі цих даних готуються рахунки за користування послугами зв'язку.

Удосконалені алгоритми передачі даних дозволили істотно зменшити час, необхідний для вивантаження даних про сеанси зв'язку, і виключити помилки та спотворення. Вивантаження даних здійснюється через один з контролерів ST-853, що послідовно опитують всі інші контролери базової станції, використовуючи загальну шину даних. При цьому робота системи в цілому не переривається. На час вивантаження даних для абонентів недоступний тільки один з контролерів, той, з якого в цей момент зчитується інформація.

Вихід у міські АТС

Кожен контролер допускає підключення до нього до двох абонентських телефонних ліній. Звичайно один з виходів контролера підключається до міської АТС, а інший – до місцевої АТС, або до супутникової лінії зв'язку тощо.

Привілеї в частині виходу в телефонні мережі задаються в базі даних абонентів і включають дозволи або заборони користуватися лініями №1 та №2, заборони на набір певних комбінацій цифр (наприклад, заборона на набір першої цифри «8» тобто заборона міжміських дзвінків) тощо.

З метою забезпечення кожному абонентові системи SmarTrunk прямого міського номеру в складі базових апаратур повинний бути спеціальний пристрій - конвертер двохпроводніх абонентських ліній в 3-провідні сполучні лінії. При цьому оператор системи SmarTrunk повинен орендувати на місцевій АТС відповідну номерну ємність.

Організація зв'язку

Зв'язок між рухомими абонентами в системі SmarTrunk організується в наступний спосіб. Після включення живлення кожна абонентська радіостанція починає послідовно переглядати (сканувати) всі закладені в неї радіоканали в пошуках викличного сигналу. При виявленні свого викличного коду вона припиняє сканування й подає звуковий сигнал, сповіщаючи власника про надходження виклику. Після цього починається діалог між абонентами.

При необхідності викликати якого-небудь із абонентів мережі по радіоканалу або вийти в міську телефонну мережу потрібно набрати на клавіатурі номер радіоабонента або телефонний номер, а також маршрутний код виклику (два символи, що вказують системі, який вид виклику необхідний). Вся ця інформація потім передається в ефір одним пакетом. В диспетчерському режимі для зв'язку зі своєю групою досить нажати на тангенту.

Абонентська радіостанція послідовно сканує доступні радіоканали й, знайшовши вільну частоту, забезпечує зв'язок з ретранслятором базової станції. Відразу ж після цього здійснюється набір міського телефонного номера або передається в ефір додатковий номер рухомого абонента. Після відповіді абонента можна вести розмова. Щоб подзвонити рухомому абонентові з міського телефону, потрібно набрати телефонний номер одного з ретрансляторів системи й після звукового сигналу з'єднання набрати додатковий номер потрібного абонента (бажано в тональному режимі). Після відповіді можна вести звичайну телефонну розмову.

Якщо абонент не відповідає, або якщо в нього виключена радіостанція, той хто дзвонить почує сигнал «зайнято». Контролери ST-853 забезпечують різні по тривалості сигнали «зайнято», що дозволяють зрозуміти, чи зайнятий потрібний абонент, або він недоступний (перебуває за межами зони обслуговування, не включив свою радіостанцію тощо).

Якщо система SmarTrunk має кілька місць розташування базових станцій і місце розташування викликуваного абонента заздалегідь невідомо, у випадку сигналу недоступності можна спробувати знайти його в зоні дії інших ретрансляторів.

Процедура встановлення зв'язку

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

Базова станція посилає в ефір цифровий «кадр виклику», структура якого наведена рис. 6.3.

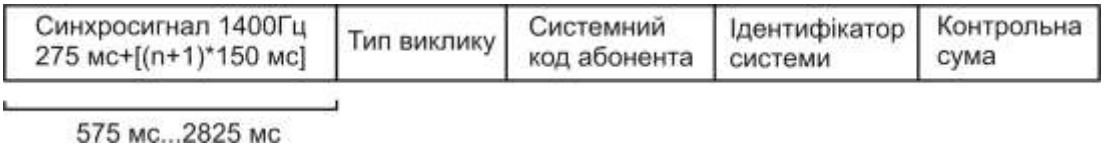

Рис. 6.3. Структура кадру виклику, який формує базова станція

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

Синхросигнал змушує всі абонентські радіостанції, що прийняли його, зупинити сканування на час до одержання решти «кадру виклику». Після цього на каналі залишається тільки радіостанція, що має потрібний системний код абонента, а інші продовжують сканування.

Ця радіостанція посилає на базову станцію відповідний пакет даних, утримуючий її системний код, і подає мобільному абонентові звуковий сигнал про виклик, що надійшов. Абонент повинен відреагувати натисканням клавіші * (зірочка) на клавіатурі радіостанції, у результаті чого та передає в ефір цифровий «кадр відповіді», і з'єднання вважається встановленим. Далі два абоненти системи розпочинають переговори в напівдуплексному або дуплексному режимі.

По закінченні переговорів мобільний абонент повинен нажати клавішу # (ґрати), у результаті чого його радіостанція передасть в ефір цифровий «кадр відбою» і продовжить сканування каналів.

Якщо ініціатором виклику в системі SmarTrunk II є абонентська радіостанція, вона намагається знайти вільний радіоканал (за відсутності на ньому несучої або пілот-тону) і передає цифровий «кадр запиту», що має структуру наведену на рис. 6.4.

Рис. 6.4. Структура кадру запиту, який формує абонентська станція

Базова станція, прийнявши «кадр запиту» від абонентської радіостанції, передає у відповідь «кадр прийняття запиту», що підтверджує встановлення зв'язку, а далі все відбувається, як було описано вище для викликів, ініційованих базовою станцією.

6.2. Системи транкового радіозв’язку з розподіленим каналом управління. Транкова система протоколу LTR

Наприкінці сімдесятих років фірмою E.F.Johnson була розроблена специфікація на однозонову транкову систему, що отримала популярність

як протокол LTR (Logic Trunked Radio). Однієї з основних цілей, що поставила перед собою фірма E.F.Johnson, була необхідність досягнення максимальної пропускної здатності для систем з невеликою кількістю радіочастотних каналів. Розроблювачі протоколу LTR відмовилися від традиційного виділеного каналу керування. Замість цього, смуга частот кожного з каналів трафіку розбиваються на два піддіапазони – до 300 Гц і вище 300 Гц. Смуга частот до 300 Гц використовується для передачі потоку даних логічного каналу керування (піднесуча частота 150 Гц, швидкість передачі даних – 300 біт/с). Діапазон від 300 Гц використовується для передачі аналогових мовних сигналів. Таким чином, всі частотні канали транкової системи протоколу LTR використовуються для передачі трафіку. Це рішення дозволяє, наприклад, у випадку трьохканальної системи одержати збільшення пропускної здатності на 50% в порівнянні із системою, що використає виділений канал керування.

Через те, що в системі відсутній канал керування на окремій частоті, абонентська радіостанція не може перейти в режим передачі доти, поки не звільниться хоча б один канал. У радіостанції блокується клавіша «передача» і вона не може передати повідомлення базовій станції. Отже, система «не знає», що абонент намагається одержати доступ.

При звільненні одного з каналів, абонентом, який першим одержить доступ, буде той, хто першим зробить спробу зв'язку. Тобто у всіх абонентів однаковий рівень пріоритету доступу до системи (не плутати із пріоритетами доступу до сеансів зв'язку, де їх може бути декілька).

У системах LTR, при зайнятості всіх каналів, радіостанція може тільки приймати керуючу інформацію, але не може послати повідомлення базі. У порівнянні із системами з виділеним каналом керування, це створює ряд обмежень у реалізації деяких функцій. Наприклад, організації черг викликів – одній з найбільш важливих можливостей МРТ 1327 (виділений керуючий канал), що дозволяє підвищити оперативність з'єднання й збільшити кількість абонентів на канал.

Протокол LTR передбачає наявність до 20 ретрансляторів у системі. На базовій станції системи LTR немає єдиного пристрою керування у звичному розумінні, замість нього до складу кожного ретранслятора уведений логічний блок (рис. 6.5). Ці блоки зв'язані між собою. У логічний блок кожного ретранслятора може бути введено до 250 групових ідентифікаційних кодів. Протокол LTR не розрізняє групових й індивідуальних адрес, тому для присвоєння абонентові індивідуального коду необхідно створити групу, що складається з одного абонента. Таким чином, повна адресна ємність двадцятиканальної системи LTR становить 5000 груп або абонентів.

У системі є засоби доступу до телефонної мережі загального користування (ТМЗК). Час встановлення з'єднання в системах протоколу LTR не перевищує 0,3 с.

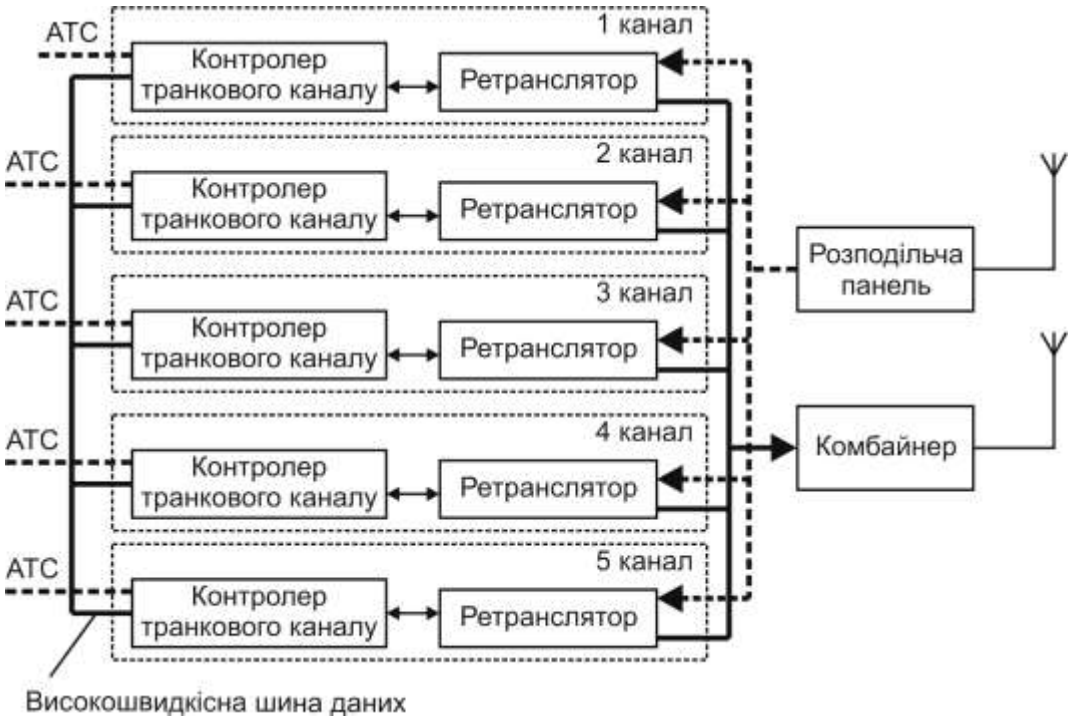

Рис. 6.5. Структурна схема побудови системи LTR [3]

Система протоколу LTR може працювати в режимі транку передачі або транку повідомлень залежно від типу проведеного сеансу зв'язку. Під час зв'язку між радіоабонентами використовується транк передачі, а при зв'язку з абонентами телефонної мережі транк повідомлень.

Режим «транку передач» є режимом при якому втримання каналу зв'язку здійснюється тільки на час натискання тангенти, причому при кожному черговому натисканні буде відбуватися зміна робочого каналу. Цей режим дозволяє значно збільшити пропускну здатність системи за рахунок більш ефективного використання пауз між репліками абонентів. Крім того зміна каналів випадковим чином у процесі сеансу зв'язку робить практично безнадійним прослуховування в ефірі закінченого діалогу радіоабонентів, причому цей ефект досягається без застосування спеціальних засобів криптографічного захисту.

Різноманітні виробники обладнання LTR пропонують рішення практично для всіх можливих діапазонів частот – 146-174 МГц, 403-406 МГц, 412-427 МГц , 442-447 МГц, 450-470 МГц, 470-486 МГц, 815-820/ 860-865 МГц. Крім того, виконання даної системи можливе в діапазоні «Low Band».

Обробка викликів у системі протоколу LTR

Найважливіша частина протоколу LTR відноситься до алгоритмів роботи абонентського й базового устаткування в процесі обробки викликів. Перш ніж носима або мобільна абонентська станція одержить право передавати трафік, повинна відбутися процедура обміну службовими даними (handshake).

Коли користувач натискає клавішу «Передача» PTT (Push To Talk), логічний пристрій керування радіостанції перевіряє наявні поточні дані від ретранслятора й визначає, чи є вільний ретранслятор. Якщо такий виявляється, радіостанція передає йому пакет службової інформації, що складається з номеру опорного каналу, власного ідентифікаційного номеру й інших відомостей. Коли ретранслятор одержує це повідомлення, процедура встановлення з'єднання закінчується, і радіостанція, яка викликає може розпочати передачу мови.

Якщо виклик адресований абонентській радіостанції, вона, насамперед, одержує свій ідентифікаційний номер у складі повідомлення, що приходить від ретранслятора. Потім ця станція перемикається на той канал, що використовується викличною станцією (якщо це не опорний канал). Після цього включається мовний прийомний тракт абонентської станції. Процедура з'єднання займає приблизно 300 мс.

У протоколі LTR використовується поняття *опорного каналу (Home channel).* Будь-який канал трафіку може бути опорним для певної сукупності радіостанцій. І навпаки, кожній абонентській радіостанції обов'язково повинен бути призначений опорний канал. Таким чином, повний ідентифікатор у системі LTR складається із двох частин – номеру опорного каналу й номеру групи (див. нижче). Всі абонентські станції постійно обробляють повідомлення в каналі керування, що надходять через їхній опорний ретранслятор – як у режимі очікування виклику, так і після кожної передачі. Службові повідомлення, що надходять по опорному каналу, інформують носиму або мобільну станцію про наступне:

- до якого ретранслятора звертатися для чергового виклику (інформація про поточний вільний ретранслятор);
- до якого ретранслятора звертатися для відповіді на виклик, що надійшов.

Службова інформація в логічному каналі керування передається у вигляді пакетів. Довжина пакетів становить 40 біт.

Всі ретранслятори системи LTR зв'язані спеціальною шиною даних. Для організації передачі інформації по шині даних логічний блок одного з ретрансляторів призначається провідним, інші одержують статус ведених. Провідний ретранслятор формує синхроімпульси, що утворюють кадр із 21 часового інтервалу. З них двадцять надаються для ретрансляторів, а двадцять перший – для пристрою контролю ідентифікаційних номерів (Validator). Кожен ретранслятор у відведеному йому часовому інтервалі передає по внутрішній шині даних всім іншим ретрансляторам свій статус, а саме:

- вільний – не використовується абонентською станцією в даний момент;
- зайнятий – використовується в даний момент конкретною (указується її груповий ідентифікаційний номер) абонентською станцією.

Кожен ретранслятор переглядає вміст всіх 20 полів на шині даних. Якщо він виявляє, що виклик групи, для якої він сам є опорним, обслуговується іншим ретранслятором, то він відразу ж передає цій групі повідомлення, що вказує, на який ретранслятор повинні перестроїтися радіостанції для одержання виклику.

Груповий ідентифікаційний номер, або номер групи вказує, до якої групи відноситься дана абонентська станція. Радіостанції можуть бути зв'язані ода з одною тільки в тому випадку, якщо в них збігаються номера групи й опорного каналу.

Кожній радіостанції може бути призначено один або кілька групових ідентифікаційних номерів (у рамках однієї системи):

- номер може бути оперативно обраний перемикачем (селектором) номера групи безпосередньо в самій радіостанції;
- номер може бути визначений функцією сканування груп – у цьому випадку скануються всі запрограмовані ідентифікаційні номери.

У кожному каналі системи може бути призначено до 250 групових ідентифікаційних номерів (від 1 до 250). Як правило, тим абонентам, для яких можуть надійти виклики із ТМЗК, призначаються два групових номери: перший для роботи в радіогрупі (такий же номер привласнюється іншим членам групи), другий – насправді індивідуальний номер для прийому телефонних викликів. Це також означає, що *абонентська ємність* системи LTR, що не використовує вихід у ТМЗК, не обмежена – сукупність номера опорного ретранслятора й групового номера може бути привласнена як завгодно великій сукупності радіостанцій. Кожному груповому ідентифікаційному номеру може бути призначений параметр «тип»:

- Диспетчер: виклики між радіостанціями; виклики між радіостанцією й диспетчерською станцією;
- Інтерконект: для виходу в телефонну мережу загального користування; виклики можуть бути як вхідними, так і вихідними.

Тип групового ідентифікаційного номера «Диспетчер» може бути використаний для організації наступних видів викликів:

- Виклик усіх (широкомовний виклик всіх груп);
- Груповий виклик (виклик всіх абонентських станцій однієї групи);
- Виклик підгрупи;
- Індивідуальний виклик.

Пакети службової інформації

Протокол LTR передбачає передачу в *напрямку від абонентської радіостанції до ретранслятора* пакетів наступних типів: запити на надання каналу зв'язку (REQ), а також повідомлення про закінчення передачі (EOT).

Запит REQ

Структура запиту показана на рис. 6.6. Цей запит відправляється однократно перед наданням каналу зв'язку (у процесі встановлення з'єднання). При встановленому з'єднанні такі запити відправляються по логічному каналі керування безупинно. Пакет запиту REQ містить наступні поля:

1. *Синхропослідовність.* Два перших біти синхропослідовності призначені для включення прийомного пристрою. Інші біти використовуються для визначення початку службового повідомлення й для тактової синхронізації.

Рис.6.6. Структура запросу REQ

2. *Код зони.* Може бути «0» або «1». Використовується в багатозонових системах для запобігання конфліктним ситуаціям, коли станція, що не відноситься до даної зони, перебуває в її радіусі покриття. Якщо контролер викликуваного ретранслятора виявить код зони, що не збігається із заданим, то така спроба з'єднання відкидається.
3. *Використовуваний ретранслятор.* Номер ретранслятора, якому передається повідомлення.
4. *Опорний ретранслятор.* Номер опорного ретранслятора.
5. Груповий ідентифікаційний номер радіостанції, яка викликається.
6. *Контрольний символ.* Тут передається код вимикання радіостанції після закінчення передачі (31).
7. *Біти перевірки на парність.* Службове повідомлення перевіряється на предмет помилок. Якщо помилки виявляються, то повідомлення ігнорується.

Кінець передачі (EOT)

Структура повідомлення про закінчення передачі (End Of Transmission) показана на рис. 6.7.

Рис. 6.7. Структура повідомлення EOT у каналі «абонент-ретранслятор»

Повідомлення EOT передається однократно: коли абонентська станція припиняє передачу (відпущена клавіша PTT). Після цього ретранслятор відправляє повідомлення EOT всім станціям, що брали участь у переговорах.

У напрямку від ретранслятора до абонентів протокол LTR передбачає передачу наступних пакетів таких типів: групові виклики

(COL), повідомлення про припинення передачі (EOT), повідомлення очікування (IDLE).

Груповий виклик (COL) Структура повідомлення про груповий виклик показана на рис. 6.8.

Синхро-послідовність	Код зони	Використовуваний ретранслятор	Опорний ретранслятор	Груповий номер радіостанції, яка викликається	Вільний ретранслятор	Біти перевірки на парність

Рис. 6.8. Структура повідомлення COL

Повідомлення типу COL передаються безупинно, поки ретранслятор обслуговує виклик. Призначення цих повідомлень полягає в наступному:

1. Відповісти на запит абонентської станції на з'єднання з ретранслятором.
2. Зібрати разом всі станції з однаковим кодом зони, опорним каналом й ідентифікаційним номером і підключити їх до ретранслятора станції, яка викликає (поле 3).
3. Передати інформацію про вільний ретранслятор – вміст поля 6 повідомлення вказує станціям, який ретранслятор вільний для виклику. Якщо в цьому полі «00», то це означає, що всі ретранслятори зайняті.

Кінець **передачі (EOT)** Структура повідомлення EOT показана на рис. 6.9.

Синхро-послідовність	Код зони	Код завершення передачі (31)	Опорний ретранслятор	Груповий номер радіостанції, яка викликається	Контрольний символ (31)	Біти перевірки на парність

Рис. 6.9. Структура повідомлення EOT у каналі «ретранслятор-абонент»

Повідомлення типу EOT відправляється ретранслятором однократно після того, як ретранслятор декодує повідомлення EOT від радіостанції. Як результат, всі приймальні станції закінчують прийом і повертаються до своїх опорних ретрансляторів (якщо вони працювали з іншим ретранслятором).

Повідомлення очікування (IDLE)

Структура повідомлення IDLE показана на рис. 6.10.

Синхро-послідовність	Код зони	Номер ретранслятора	Номер ретранслятора	255	Номер ретранслятора	Біти перевірки на парність

Рис. 6.10. Структура повідомлення IDLE

Повідомлення IDLE передається кожні 10 секунд (якщо ретранслятор не зайнятий), щоб повідомити абонентським станціям, які щойно прибули в зону дії ретранслятора, що їхній опорний ретранслятор вільний.

6.2.1. Приклади організації систем зв’язку

Найбільш проста схема організації зв'язку.

У радіостанціях всіх членів робочої групи програмується один ідентифікатор, як для прийому так і на передачу. Причому використовується один ідентифікатор на всю групу користувачів, незалежно від їхньої кількості.

Подібна реалізація системи практично ідентична «звичайній» системі зв'язку, за винятком того, що абоненти використовують транковий метод доступу (тобто всі канали автоматично «рівнодоступні»). Ця реалізація дозволяє обслужити набагато більшу кількість абонентів у порівнянні з аналогічною системою, де абоненти повинні вибирати вільний канал самостійно.

Приклад схеми зв'язку для парку аварійно-рятувальної (спеціальної) техніки (ВАРІАНТ 1).

У найбільш простому варіанті дана схема вимагає два ідентифікатори незалежно від кількості абонентів.

Ідентифікатор 1 програмується:

- Як, той що передається у радіостанції диспетчера;
- Як прийомний у всіх автомобільних радіостанціях (з найбільшим пріоритетом).

Ідентифікатор 2 програмується:

- Як, той що передається в автомобільних радіостанціях;
- Як прийомний у радіостанції диспетчера.

При роботі диспетчер приймає інформацію від будь-якого водія та всі водії приймають повідомлення диспетчера. Водії не можуть зв'язуватися між собою.

Приклад схеми зв'язку для парку аварійно-рятувальної (спеціальної) техніки (ВАРІАНТ 2).

Інша реалізація може бути більш складною. Вона забезпечує ті ж функції, що й попередня схема, але додатково дозволяє диспетчерові зв'язуватися з кожним з водіїв персонально:

- Перший ідентифікатор програмується в кожній автомобільній радіостанції як на передачу, так і на прийом. При цьому номери повинні бути унікальними для кожної радіостанції й становити зростаючу послідовність без проміжків (для створення блоку прийомних ідентифікаторів).
- Другий ідентифікатор програмується в якості другого прийомного у всіх автомобільних радіостанціях і використовується для загального виклику автомобілів диспетчером. (Номер не повинен входити в блок згадуваних ідентифікаторів).
- У радіостанції диспетчера програмується відповідне число «груп» (по одній на кожен автомобіль). Їх можна назвати «персональними групами», тому що по суті, ця «група» складається з одного

абонента (вона ж ідентифікатор певної автомобільної радіостанції). У кожній «персональній групі» у якості пріоритетного прийомного й передавального ідентифікатора програмується ідентифікатор конкретного автомобіля.

- Додатково в диспетчерській радіостанції програмується окрема «група» для загального виклику. В ній у якості передавального ідентифікатора записується окремий номер, а прийомний може бути будь-яким або взагалі відсутнім.
- У диспетчерській радіостанції програмується блок прийомних ідентифікаторів нижчого пріоритету. Цей блок відповідає переліку всіх ідентифікаторів автомобільних радіостанцій.

Робота даної схеми.

Якщо диспетчер вибирає «групу» загального виклику, то його повідомлення буде передаватися всім водіям одночасно. Це обумовлено тим, що переданий ідентифікатор диспетчерської станції збігається із другим прийомним ідентифікатором всіх автомобільних станцій.

Диспетчер, у свою чергу, також буде чути відповідь кожного з водіїв. У силу того, що всі їхні передані ідентифікатори лежать у межах блоку прийомних ідентифікаторів (нижчого пріоритету), запрограмованих у диспетчерській радіостанції.

Якщо диспетчер вибере «групу», що відповідає конкретному автомобілю, то його почує тільки водій конкретної машини. Це пов'язано з тим, що переданий ідентифікатор диспетчера (у цьому випадку) збігається тільки з першим прийомним ідентифікатором даної автомобільної радіостанції.

У процесі персонального зв'язку з конкретним водієм, диспетчер почує виклики (у паузах) інших водіїв. Але викликаний ним автомобіль буде мати пріоритет у бесіді. Це пов'язане з тим, що блоковий прийомний ідентифікатор має більше низький пріоритет у порівнянні із пріоритетом персонального ідентифікатора, що належить обраній машині.

6.2.2. Побудова багатозонових мереж LTR

Рис. 6.11. Транковий контролер протоколу LTR Zetron M459

Протокол LTR одержав широку популярність завдяки своїй орієнтації на невеликі й недорогі системи, а також завдяки тому, що фірма E.F.Johnson не зробила цей протокол закритим. Навпаки, вона приклала всі

зусилля до прийняття протоколу LTR як промисловий стандарт де-факто. Крім фірми E.F.Johnson (а тепер – фірми Transcrypt International) базове встаткування для систем, що відповідають протоколу LTR, випускають також фірми Kenwood System Group й Zetron.

На сьогоднішній день у світі вже встановлене значне число однозонових систем стандарту LTR, оператори яких не хотіли б втратити капіталовкладення при переході до багатозонової архітектури. Найбільш очевидним способом переходу від розрізнених систем LTR до єдиної багатозонової мережі є установка радіомережевого термінала RNT (комутатора), що входить до складу апаратур системи Multi-Net фірми Transcrypt. У цьому випадку подальший розвиток такої системи піде по шляху перетворення в систему Multi-Net. Цей шлях недешевий, і тому неприйнятний для багатьох операторів. Деякі фірми пропонують власні розробки, що дозволяють інтегрувати окремі системи LTR. Так, фірма Zetron розробила спеціалізований цифровий комутатор типу FASTNet (модель 2540), що дозволяє організувати багатозонову мережу з окремих систем LTR. FASTNet дозволяє використати як розподілену, так і централізовану міжзональну комутацію. Комутатори базових станцій можуть бути об'єднані лише за допомогою виділених ліній зв'язку. У такій багатозоновій системі підтримується автоматичний роумінг. Комутатор FASTNet забезпечує наступні функціональні можливості:

- групові й загальні виклики в декількох зонах;
- автоматична реєстрація абонентських станцій при міжзональному переході;
- автоматична маршрутизація викликів;
- перепризначення викликів;
- з'єднання із ТМЗК у будь-якій зоні.

Комутатор 2540 розроблений за принципом блочно-модульної архітектури. Основним модулем комутатора є центральний процесор, реалізований на багатозадачному ЦПП. Програмне забезпечення процесора дозволяє перекласти на нього багато функцій, що раніше вимагали апаратної підтримки. Програмне забезпечення побудоване також за модульним принципом. Три основні модулі називаються Call Router, Call Saver й Call Networker.

Модуль Call Router керує маршрутизацією всіх видів викликів по сполучним лініям, декодує сигнали імпульсного набору ТМЗК, а також сигнали DTMF й MF. Комутатор може одночасно маршрутизувати до 40 каналів. При використанні прямої вхідної нумерації (DID) є можливість відображення DID-номерів в будь-яку групу будь-якої зони системи. Всі виклики обробляються й маршрутизуються по найкоротшому маршруту. У процесі маршрутизації виклику можливе застосування голосових підказок.
Модуль Call Saver забезпечує зберігання голосових повідомлень. Ці повідомлення можуть адресуватися більш ніж 3000 користувачів, причому

одночасно можуть обслуговуватися до 16 абонентів. Забезпечується передача повідомлення про наявність голосового повідомлення.

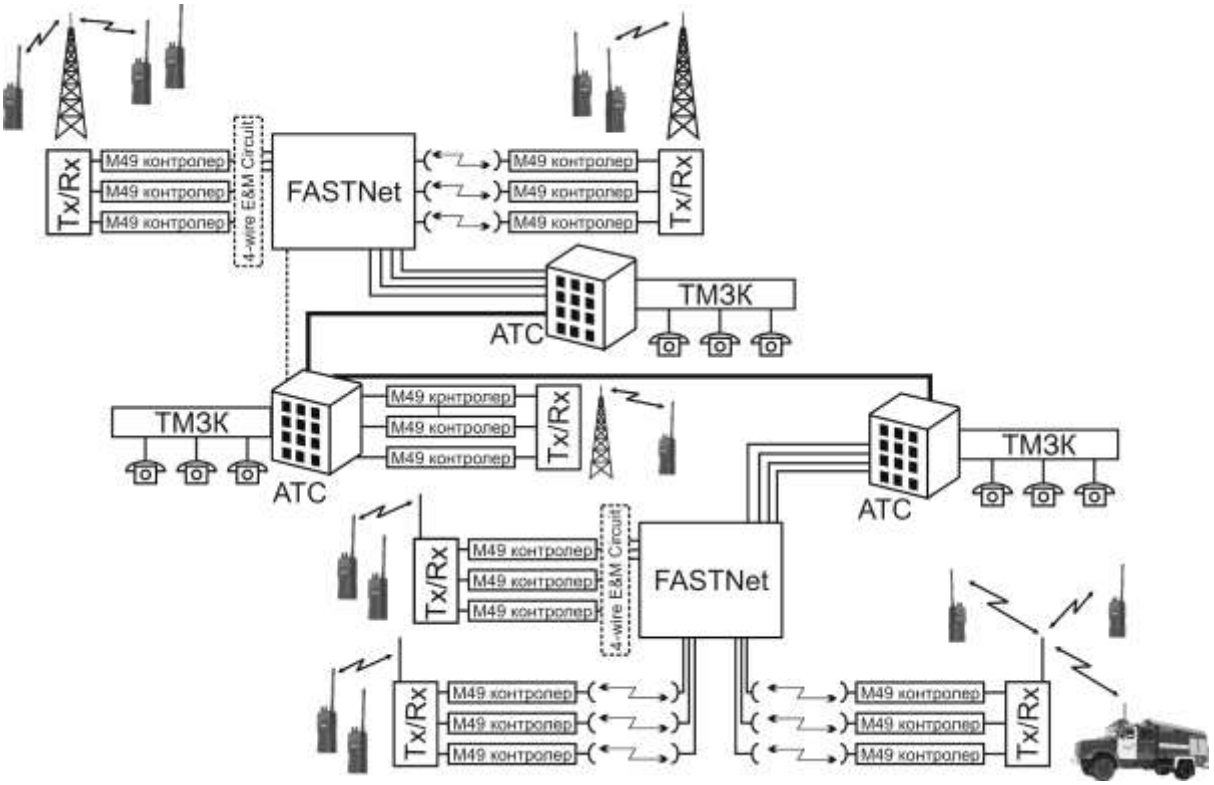

Рис. 6.12. Багатозонова мережа LTR на базі комутаторів FASTNet з використанням комутуючих ліній ТМЗК

Модуль Call Networker керує мережними функціями багатозонової системи. Він забезпечує роумінг, диспетчерські багатозонові виклики, багатозонові виклики із ТМЗК, загальний виклик у всіх зонах.

Підключення комутатора FASTNet до ВАТС або ТМЗК може бути здійснене по виділеним 2-х провідним та 4-х провідним лініям. Може бути використаний принцип DID. Приклад побудови складної багатозонової мережі з розподіленою міжзональною комутацією показаний на рис. 6.12.

Таким чином, застосування комутатора фірми Zetron не лише перетворює кілька LTR-систем у єдину мережу, але й дозволяє надати абонентам більш широкий спектр телекомунікаційних послуг, включаючи дуплексний зв'язок.

6.2.3. Розширення протоколу LTR

У більш пізніх реалізаціях транкових систем з розподіленим керуванням розширені можливості. Наприклад, зняті обмеження по кількості ідентифікаційних номерів, спрощена система індивідуальних викликів, реалізовані багатозонові конфігурації. Але, на жаль, для

використання розширених функцій потрібні радіостанції, спеціально розроблені для цих протоколів.

Найбільш відомими розширеннями є системи PassPort фірми Trident Micro Systems й ESAS фірми Uniden.

Система PassPort NTS компанії Trident Micro Systems

Дана система дозволяє організацію виділеного каналу керування аналогічно системам МРТ 1327. Керуючий канал не обов'язковий, але рекомендується для багатозонових систем з метою спрощення процедури реєстрації абонентів. При цьому даний канал може використовуватися для голосового обміну в той час, коли всі інші канали системи зайняті.

Абонентське встаткування для систем на базі PassPort може включати як звичайні LTR радіостанції, так і спеціально розроблені радіостанції протоколу PassPort. Але при використанні «звичайних» LTR радіостанцій розширені можливості будуть недоступні.

При повній сумісності із протоколом LTR, система PassPort надає ряд додаткових можливостей:

- До 60 000 ідентифікаторів у системі (для LTR абонентів зберігається обмеження в 250 ідентифікаторів на канал);
- Міжзоновий роумінг;
- Автоматичне включення в сеанс зв'язку членів групи, що перебувають у момент виклику в різних зонах;
- Захист від несанкціонованого доступу до системи з використанням унікального електронного серійного номеру радіостанції, запрограмованого виготовлювачем (тільки для радіостанцій протоколу PassPort);
- Автоматичне відновлення інформації про «домашню» систему й доступні для роумінгу системи для радіостанцій протоколу PassPort;
- Перепрограмування ідентифікаторів в абонентських станціях по ефіру;
- Автоматична реєстрація в системі при включенні живлення радіостанції й при переході абонента із зони в зону, як у межах «своєї» мережі, так й у мережах, з якими існує угода про обслуговування абонентів (для LTR радіостанцій необхідно однократно натиснути на клавішу передачі для виконання реєстрації);
- Автоматичне скасування реєстрації при вимиканні живлення радіостанції (тільки для радіостанцій протоколу PassPort);
- Інтеграція в єдину мережу абонентів, що використовують устаткування різних частотних діапазонів, а також можливість включення в систему нетранкових каналів;
- Доступ абонентів нетранкових каналів до тих же телефонних ліній, до яких підключено транкове встаткування;

- Система голосового оповіщення з можливістю індивідуального програмування мови повідомлень для кожного користувача системи;
- Переадресація викликів у випадку зайнятості або недоступності абонента;
- Оповіщення абонента, у процесі ведення сеансу зв'язку, про надходження ще одного виклику;
- Підтримка голосової пошти.

Система ESAS компанії Uniden

Компанія Uniden America Corporation пропонує варіанти як однозоновий (FAST), так і багатозоновий (ESAS) варіанти транкових систем власної розробки.

Багатозоновий варіант ESAS уперше був представлений в 1993 році й, поряд із системами фірми E.F.Johnson й Trident, одержав поширення в США та країнах Латинської Америки.

Як і PassPort, системи фірми Uniden повністю сумісні із протоколом LTR й, відповідно, підтримують роботу абонентського встаткування LTR.

З особливостей системи ESAS слід зазначити можливість розширення:

- до 1 000 000 ідентифікаторів (абонентів) у системі;
- до 16 000 груп у зоні;
- до 128 зон у системі;
- до 63 каналів в одній базовій станції.

Як і більшість транкових систем LTR, працює в «традиційному» діапазоні частот 800 МГц.

6.3. Системи транкового радіозв’язку з виділеним каналом управління. Транкова система протоколу MPT1327

Системи транкового радіозв'язку на основі протоколу MPT 1327 відносяться, мабуть, до найпоширеніших і розвинених в світі. Десятки виробників базового встаткування, сотні моделей радіостанцій, різні варіанти реалізації, розвинена технічна підтримка, докладне документування, міжнародне визнання – це далеко не повний перелік аргументів на користь MPT 1327.

Розробка стандарту MPT 1327 була покликана створити єдиний протокол обміну інформацією в транкових системах радіозв'язку. Розроблювачем устаткування для перших систем MPT 1327 була фірма Fylde Microsystems (у цей час є одним з лідерів у виробництві мережного встаткування MPT 1327 – контролерів, комутаторів, інтерфейсів тощо; по ліцензії Fylde устаткування випускається багатьма виробниками, наприклад, Motorola, Tait Electronics). Пізніше був утворений консорціум компаній-розроблювачів, до якого крім Fylde увійшли: Tait Electronics, Philips, Motorola й Marconi.

Уперше проект стандарту MPT 1327 був опублікований Департаментом Торгівлі й Промисловості Великої Британії (Department of Trade and Industry) в 1986 році, а вже в жовтні 1986 року була пущена в експлуатацію перша система MPT 1327. Ця однозонова п’ятиканальна система в діапазоні УКХ була встановлена на телекомунікаційній вежі в Лондоні. В системі використовувалося мережне встаткування виробництва Fylde Microsystems і ретранслятори фірми Tait Electronics. Примітно те, що система була запущена в експлуатацію майже за рік до офіційного затвердження стандарту MPT 1327 в 1987 році.

Спроба створити єдиний стандарт, що задовольняє вимогам рухомого зв'язку, виявилася досить успішною. Мінімум обмежень і відкритість MPT 1327 стали дуже привабливими як для виробників устаткування, так і компаній, що пропонують послуги зв'язку. Приголомшуючий успіх випробувань перших транкових систем на основі MPT 1327 дозволив практично відразу одержати визнання провідних світових виробників транкового встаткування й технологій.

Виробники оперативно відреагували на потреби ринку й приступили до розробок і виробництва встаткування для нового протоколу. Постачальники послуг зв'язку також досить швидко відзначили зручність і сумісність стандарту, адже це дозволяло сподіватися на розробку широкого спектра абонентського й базового встаткування різних вартісних категорій.

Можна сміло стверджувати, що в області комунікацій немає такої фірми-виробника, яка б не внесла вклад у розробку або виробництво устаткування для систем MPT 1327.

Системи на основі MPT 1327 працюють і продовжують створюватися в усьому світі за винятком, мабуть, США, де історично склалося, що домінуюче положення займають транкові системи на основі LTR.

У наш час базове встаткування для таких систем випускають фірми Fylde Microsystems, Tait, Nokia, Rohde & Schwarz, Motorola, Simoco, Key, Zetron та інші. Ще більше компаній, виробляють абонентські радіостанції стандарту MPT 1327. Це позитивно позначається на цінах, тому в цей час стандарт є найбільш ефективним у комерційному плані для побудови транкових систем.

Слід зазначити, що стандарт MPT 1327 не накладає жодних обмежень на інфраструктуру самої мережі. Конкретна система не обов'язково повинна реалізовувати всі функції, передбачені в стандарті, вона може надавати лише необхідний мінімальний набір, що задовольняє вимогам замовника. Це забезпечує можливість створення на базі специфікацій даного стандарту широкого спектра прикладних систем. Розходження в устаткуванні різних виробників, як правило, визначаються саме повнотою реалізації стандарту.

6.3.1. Коротка характеристика стандарту

Стандарт MPT 1327 описує систему сигналізації при взаємодії абонентського й базового встаткування в мережі транкового зв'язку. Він забезпечує сумісність устаткування різних виробників. Його доповнюють наступні протоколи:

MPT 1343 – регламентує систему нумерації й інтерфейс між абонентом й абонентським устаткуванням;

MPT 1347 – описує параметри радіоінтерфейсу;

MAP 27 – визначає порядок взаємодії між абонентським устаткуванням і пристроями передачі даних.

Транкові системи протоколу MPT 1327 відносяться до систем з виділеним каналом керування. Це значить, що обмін керуючою інформацією між базовим устаткуванням й абонентськими радіостанціями здійснюється по окремому каналі. Через це, на додаток до наявних голосових каналів, у системі повинен бути один додатковий канал по якому відбувається обмін керуючою інформацією (у різних джерелах його називають виділений, керуючий або контрольний).

Як керуючий застосовується один з каналів базової станції. Інші канали є робочими та призначені для обміну мовною й цифровою інформацією між абонентами. Таким чином, навіть базова станція, що містить один голосовий канал, реально містить два радіоканали – один мовний, інший керуючий.

Хоча в системі й повинен бути керуючий канал, під час особливо великого завантаження системи є можливість переводити його в режим обробки голосових повідомлень (із втратою деяких функцій). Для цього не потрібні додаткові апаратні засоби.

Якщо в окремій базовій станції відбудеться збій каналу керування, то керуючим автоматично стає інший радіоканал системи, що гарантує безперервність обслуговування. Це буде відбуватися доти, поки є хоча б один працюючий канал.

Оскільки звичайно транкові мережі мають тенденцію до розширення (збільшення абонентів, розширення зони охоплення тощо), то встаткування для побудови систем, як правило, має модульну конструкцію. У мінімальному складі мережа може містити всього одну базову станцію з мінімум двома каналами. Надалі вона може поступово зростати до масштабів цілої держави (більшість величезних загальнонаціональних транкових мереж починалися з однієї або декількох базових станцій).

Модульна побудова дозволяє створювати системи будь-яких розмірів і легко їх модифікувати в майбутньому. Модульність також дозволяє легко заміняти пристрої, що вийшли з ладу, без зупинки функціонування мережі.

Системи MPT 1327 з самого початку орієнтовані на багатозонову конфігурацію. У багатозонових транкових системах обробка

індивідуальних викликів незалежна в кожній зоні. Базова станція зони продовжує обробляти запити навіть у тому випадку, якщо відбувся обрив міжзонального зв'язку (хоча стануть неможливі міжзональні виклики).

У більшості реалізацій систем МРТ 1327 немає особливих обмежень по створенню мереж як завгодно великої величини. Мережа на базі МРТ 1327 може обслуговувати до 1000000 абонентів і складатися з 1024 зон по 24 канали в кожній.

6.3.2. Основні характеристики системи

Діапазони частот

Системи стандарту МРТ 1327 на початку працювали в діапазоні 177-207 МГц. Стандарт МРТ 1343 визначав у цьому діапазоні прив'язку номерів каналів до певних номіналів частот. Однак досить швидко почали випускатися системи, що працюють і в інших діапазонах. Нумерація каналів і дуплексний рознос у цих діапазонах не були стандартизовані й визначалися оператором системи.

З огляду на те, що базове встаткування поставляється, як правило, під замовлення конкретного оператора й може бути укомплектоване для роботи в будь-якому діапазоні частот, основним фактором, що впливає на вибір діапазону, стають характеристики абонентських станцій. У цей час абонентське встаткування випускається для роботи на частотах 136-174, 240-270, 300-540 й 800-870 МГц.

При виборі номіналів частот необхідно враховувати можливі схеми побудови антенно-фідерних систем базових станцій. Так, застосування фільтрів на об'ємних резонаторах вимагає досить великого розносу між каналами однієї базової станції (не менш 200 кГц), а використання діаграмоутворюючих схем на гібридних суматорах дозволяє не лише використати близько розміщені канали, але й істотно зменшує розміри апаратури. Однак таке рішення може виявитися неприйнятним через значні втрати потужності.

Ще одним фактором, що впливає на вибір номіналів частот і нумерацію каналів, може стати необхідність забезпечення роботи абонентського встаткування в інших транкових системах. Операторам варто заздалегідь визначати партнерів в інших регіонах й обговорювати з ними технічні аспекти майбутньої взаємодії.

Архітектура мережі

Існує два принципово відмінних типи побудови багатозонових мереж транкового зв'язку.

Один з них використовує принцип центральної комутації. У системах такого типу працює один комутатор, що здійснює всі міжбазові з'єднання, а також підключення до ТМЗК та до відомчих телефонних мереж. Базові станції виконують лише функції формування протоколу радіоінтерфейсу й складаються із прийомопередавачів і контролерів радіоканалів. У найпростішому випадку кожен радіоканал підключається до комутатора по

окремій виділеній лінії зв'язку. З огляду на те, що в системах технологічного радіозв'язку значна частина з'єднань здійснюється між абонентами, розташованими в межах зони обслуговування однієї базової станції, до складу кожної з них може бути введений міні-комутатор, що дозволяє виконувати підключення обмеженого числа міжбазових ліній зв'язку до кожного з радіоканалів.

Інший варіант організації багатозонових мереж використовує принцип розподіленої комутації. У системах такого типу кожна базова станція має власний комутатор, що здійснює комутацію радіоканалів, лінії сполучення з телефонними мережами й міжбазових сполучних ліній у будь-яких комбінаціях. Наявність такого універсального комутатора дозволяє виконувати транзитні з'єднання через базову станцію, що в свою чергу дає можливість будувати мережі довільної архітектури (у тому числі кільцевої).

У цей час багато систем використовують комбіновану архітектуру: кілька комутаторів об'єднуються в мережу, до кожного з них підключається одна або кілька базових станцій. Деякі базові станції складаються тільки із прийомопередавачів. Вони підключаються по окремій сполучній лінії до центру комутації, у який входить контролер радіоканалів всіх базових станцій, що підключаються. Така побудова системи дозволяє зменшити її вартість і спростити обслуговування устаткування.

Основними факторами, що впливають на вибір архітектури створюваної мережі, є географічне положення місць розміщення центрів комутації й базових станцій, наявність або можливість організації ліній міжбазового зв'язку й точок доступу до телефонних мереж, а також розподіл абонентів й основні напрямки абонентського трафіку.

Різні варіанти мережної архітектури мають свої переваги й недоліки. Системи із центральною комутацією використовують прості й недорогі базові станції, однак вони погано масштабуються. Системи з розподіленою комутацією, навпаки, дозволяють створювати великі, територіально розподілені мережі, але вони можуть зажадати значних витрат як на встаткування, так і на створення транспортної мережі.

Вибір мережної архітектури – це важливе стратегічне рішення. Від нього залежить вартість системи транкового зв'язку, якість і надійність її функціонування.

База даних абонентів

Абонентська база даних містить відомості про зареєстрованих абонентів системи, їхні права доступу, а також про місце останньої реєстрації абонента. З огляду на те, що інформація, що тримається в базі даних, необхідна для здійснення виклику, система повинна забезпечувати доступ до неї в найкоротший час. Принципи ведення бази даних і синхронізації її копій розрізняються в системах різних виробників і залежать від архітектури мережі.

Системи, що використають принцип центральної комутації, мають, як правило, одну основну базу даних, що міститься в комутаторі. В окремих випадках вона може дублюватися на всі базові станції для забезпечення зв'язку між радіоабонентами при несправності ліній зв'язку з комутатором.

У системах з розподіленою комутацією копія бази даних абонентів може утримуватися в кожній базовій станції. Існує кілька варіантів ведення баз даних у системах такого типу, серед яких можна виділити наступні:

- змінені відомості вносяться в одну з баз і по черзі поширюються по інших базових станціях;
- всі бази даних організовані по ієрархічному принципу. Зміни, внесені в одну з баз, спочатку передаються базі більш високого рівня, а потім поширюються по всім підлеглих базам даних;

При одержанні нових відомостей про абонента зміни вносяться тільки в одну з баз (в основну базу системи або «домашню» базу абонента), після чого вони автоматично передаються в усі інші бази даних.

Міжбазові з'єднання

Ці з'єднання встановлюються для передачі голосового трафіку між базовими станціями (або базовою станцією й комутатором), а також для обміну керуючою й службовою інформацією. Більшість систем у якості міжбазових сполучних ліній використовують виділені канали тональної частоти, що працюють у чотирьохпровідному режимі. Системи, що мають цифровий комутатор, часто застосовують для міжбазового зв'язку потоки E1 (2 Мбіт/с).

У системах стандарту МРТ 1327 передача керуючої інформації здійснюється, як правило, по виділеному каналу міжбазового зв'язку. Швидкість передачі визначається виробником устаткування й може становити від 2400 до 19200 біт/с. Для передачі даних може використовуватися зовнішній модем, що підключається через виділений порт RS-232, або вбудований модем комутатора.

Підключення до телефонних мереж

Стандарти МРТ 1327 і МРТ 1343 передбачають підключення до міських і відомчих телефонних мереж. Ця функція не є обов'язковою, проте вона реалізована у всіх абонентських станціях, що виготовляються, і в тому або іншому ступені підтримується базовим устаткуванням систем транкового зв'язку. Найбільш досконалі системи дозволяють підключатися до необмеженої кількості телефонних мереж, маршрутизуючи виклики по довжині набраного номеру і його першій цифрі.

Підключення транкових систем до телефонних мереж може виконуватися різними способами. Один з них – підключення по двохпровідним абонентським лініям – підтримують майже всі системи. Виклик радіоабонента при такому підключенні здійснюється тільки в режимі тонального набору, який відсутній у телефонних апаратах з дисковим номеронабирачем. Тому використання цього способу в нашій країні недоцільне.

Іншим способом підключення, позбавленим цього недоліку, є використання сполучних ліній, що дозволяє включати радіоабонентів у план нумерації АТС, до якої підключено базову станцію. При цьому кожному радіоабоненту привласнюється прямий номер міської або відомчої телефонної мережі.

Багато систем із цифровим комутатором для підключення до міської або відомчої телефонної мережі можуть використовувати потік E1. Серед інших способів зв'язку з телефонними мережами, застосовуваних у системах транкового зв'язку, можна відзначити чотирьохпровідний інтерфейс E&M, а також цифровий інтерфейс ISDN.

Основні характеристики транкових систем на основі протоколу MPT 1327:

- можливість побудови багатозонових систем з великою кількістю базових станцій, що дозволяє охоплювати зв'язком значні території;
- час з'єднання менш 0,5 с при викликах всередині однієї зони та 1-2,5 с при міжзонових;
- широкий вибір абонентського й базового встаткування різних виробників;
- відсутність твердих вимог до частотного діапазону;
- стандартизація компонентів, що спрощує й знижує вартість експлуатації, обслуговування, розвитку й об'єднання окремих систем у більші мережі;
- можливість економічної (без використання голосових каналів) передачі коротких повідомлень, що досить важливо для реалізації функцій аварійного оповіщення й навігації;
- перевірка легальності абонента по електронному серійному номеру радіостанції (ESN – унікальний номер, записуваний у схему радіостанції при виготовленні);
- роумінг (обслуговування абонентів при їхньому переміщенні між зонами);
- виклики абонентів у різних зонах, у тому числі й групові;
- постановка виклику в чергу при зайнятості всіх каналів або абонента, який викликається (при звільненні каналу або абонента запит активізується автоматично);
- можливість передачі даних як по керуючому каналу (короткі блоки), так і по голосових каналах (дані довільної довжини);
- перенаправлення виклику іншому радіо- або телефонному абонентові;
- зв'язок з телефонною мережею;
- можливість обслуговування дуплексних радіостанцій;
- висока «життєстійкість» при виході з ладу окремих пристроїв;
- підключення до сеансу зв'язку, що проходить, інших абонентів;

– динамічне перегруповування (оперативне об'єднання абонентів у групи);
– передача цифрових даних по голосовим каналам;
– зв'язок зі спеціалізованими пристроями (диспетчерськими терміналами), підключеними до базових станцій по провідним лініям зв'язку.

6.3.3. Загальні принципи роботи

Керуюча інформація передається по контрольному каналу в цифровому виді, а обмін мовними повідомленнями по робочим каналам здійснюється в аналоговому. Хоча існують і повністю цифрові системи, реалізовані на базі протоколу MPT 1327, наприклад система ACCESSNET-D компанії Rohde & Schwarz.

Обмін керуючими даними здійснюється зі швидкістю 1200 біт/с з використанням швидкої частотної маніпуляції (FFSK). Час в каналі управління розбито на слоти довжиною 128 біт кожний (рис. 6.13). Повідомлення являють собою пакети, що складаються зі слів даних довжиною 64 біт (48 біт інформації й 16 біт контролю).

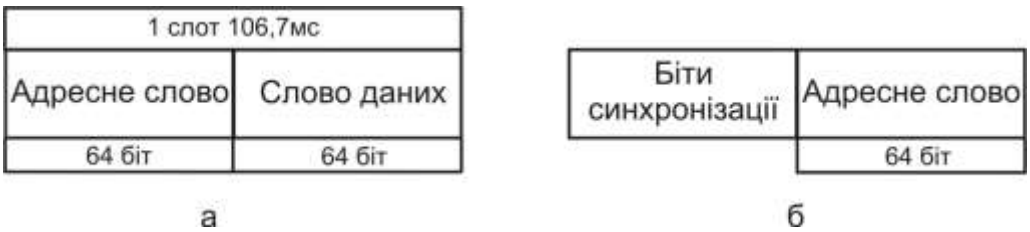

Рис. 6.13. Схематичне зображення пакетів даних системи радіозв'язку протоколу MPT1327 в напрямку: а) канал управління (КУ) – абонентський термінал (АТ); б) АТ-КУ

Кожен пакет містить:
– синхронізуючу послідовність – сигнали синхронізації устаткування базових станцій й абонентів;
– адресне слово – характер повідомлення й «адресат»;
– одне або більше слів даних – безпосередньо інформація (реєстрація, виклики, команди переходу тощо).

Після включення або входу в зону обслуговування транкової системи абонентська радіостанція розпочинає пошук керуючого каналу із заданими параметрами (частотний діапазон, «своя» або «чужа» система). При виявленні «свого» керуючого каналу радіостанція реєструється в базовій станції.

Для цього вона надсилає реєстраційний запит (Registration Request) – слово даних на керуючому каналі. При позитивній відповіді базової станції абонент переходить у режим готовності до роботи й може приймати або посилати запити системі. У свою чергу система «знає», у якій зоні мережі перебуває абонент.

Радіостанція аналізує потік даних на керуючому каналі доти, поки якість прийому не стане незадовільною (наприклад, внаслідок виходу із зони обслуговування), після чого вона повторює цикл пошуку керуючого каналу та реєстрації. Це дозволяє радіостанції постійно перебуває в режимі готовності до викликів.

У деяких системах абонентські радіостанції не надсилають запит базі автоматично, а стежать за адресованими їм посилками на керуючому каналі. Реєстрація станцій здійснюється тільки під час одержання виклику або при посилці запиту. Це дозволяє в певній мері знижувати енергоспоживання радіостанції, що особливо важливо для портативних радіостанцій, що працюють від акумулятора. Причина економії в тому, що радіостанція не здійснює реєстрацію (вихід на передачу) при кожному включенні або вході в зону обслуговування.

У який момент надсилати запит базовій станції на реєстрацію – після включення або при подачі/прийомі запиту в стандарті MPT 1327 не визначено і залежить від конкретної реалізації системи.

Абонентські радіостанції постійно аналізують пакети даних керуючого каналу й, при виявленні власної адреси виконують дії, описані в словах даних. У даних, адресованих радіостанції, міститься інформація про тип виклику, виділений канал зв'язку, дозволену тривалість розмови тощо.

Протягом сеансу зв'язку абонентська радіостанція продовжує аналізувати дані контрольного каналу, через що базова станція має можливість управляти радіостанцією (наприклад, послати статусне повідомлення або підключити до сеансу додаткових абонентів).

Якщо в процесі здійснення виклику в системі немає вільного каналу або зайнята викликувана радіостанція, то абонент «ставиться» у чергу. Як тільки з'явиться можливість, такий виклик буде обслужений автоматично.

Щоб запобігти використанню мережі дублікатами радіостанцій, передбачена перевірка їх за електронним серійним номером ESN (Electronic Serial Number). Цей унікальний номер записується в кожну радіостанцію при виготовленні.

6.3.4. Нумерація абонентів MPT1343

Визначення «флотів» (підрозділів)

Прийнято, що всі абоненти певної організації поєднуються в підрозділи, так звані «флоти». Наприклад, автомобільні радіостанції аварійно-рятувальних підрозділів можна об'єднати в один «флот», швидку допомогу – в інший, міліцію – в третій тощо. Вимоги специфікації MPT 1343 дозволяють поєднувати різних абонентів в один «флот» незалежно чи вони є рухливими чи стаціонарними. Кожна радіостанція повинна бути приписана до одного або декількох «флотів». Абонентам, що належать до одного «флоту», може бути заборонено або дозволено викликати абонентів іншого «флоту».

Звіти по використанню системи звичайно створюються незалежно для кожного «флоту».

Використання «флотів» спрощує здійснення викликів між абонентами всередині одного «флоту».

Визначення груп

Абоненти мережі можуть поєднуватися в різні групи як у межах одного «флоту», так і між ними. Об'єднання в групи абонентів з різних «флотів» зручно, коли необхідна взаємодія різних підрозділів у процесі роботи (наприклад, підрозділи ОРС ЦЗ, міліція та швидка допомога). Такі групи можуть створюватися на час проведення рятувальних заходів або аварійних робіт.

На рис. 6.14 показаний приклад груп. Деякі «флоти» можуть містити одну загальну групу, інші – кілька груп.

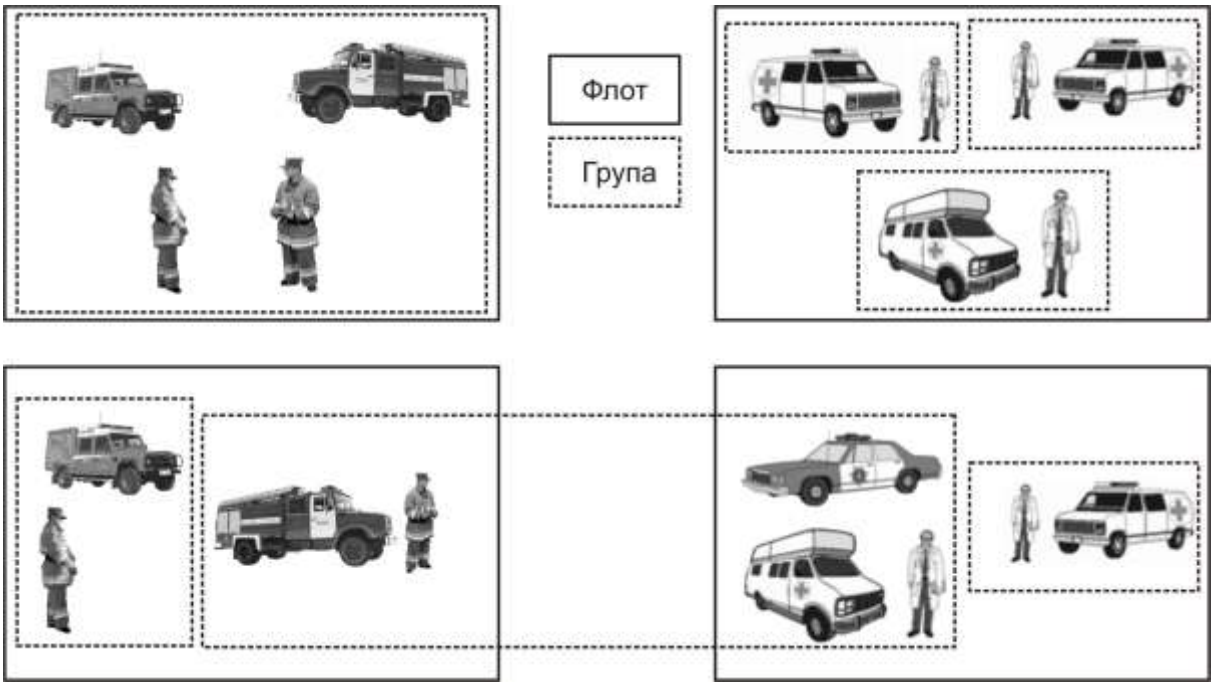

Рис. 6.14. Поділ абонентів системи МРТ 1327 на флоти та групи

Поділ на групи дає можливість здійснення групових і віщальних викликів. При груповому сеансі зв'язку абонент може говорити з усіма абонентами даної групи. При віщальному виклику, абонент викликає групу абонентів, щоб тільки передавати їм інформацію. При цьому вони не можуть відповідати.

Система нумерації викладена в специфікації МРТ 1343, відповідно до якої всі абоненти радіомережі діляться на «флоти», у межах якого всім радіостанціям привласнюється однаковий номер «флоту». Крім номера «флоту», кожна радіостанція має власний ідентифікаційний номер. В «флоті», з максимум 70 радіостанціями, це буде двозначний номер, в «флоті» з 700 радіостанціями – тризначний.

У системі нумерації MPT 1343, ідентифікаційні номери для кожної радіостанції складаються:

- Префікс, значення від 200 до 327 – вказує на номер мережі;
- Номер «флоту», значення від 2001 до 4999;
- Індивідуальний номер пристрою, значення від 20 до 89, або від 200 до 899, залежно від розміру «флоту».

Кожна радіостанція може також мати певну кількість необов'язкових групових номерів, для здійснення групових викликів:

- Номер «міжфлотової» групи, діапазон від 5000 до 6050;
- Номер групи, діапазон від 90 до 99, або від 900 до 998.

Щоб викликати радіостанцію в «своєму» «флоті», досить просто ввести її трьох або двозначний номер. Наприклад, щоб викликати абонента 211 2222 33, досить увести 33.

Щоб викликати абонента з іншого «флоту», що має такий же префікс, уводиться номер «флоту» і номер абонента. Наприклад, щоб викликати в 2314 «флоті» абонента 33, треба набрати 2314 33.

Якщо потрібно викликати абонента з іншого «флоту» з іншим префіксом, треба буде набрати повний номер, визначений в MPT 1343. Наприклад: 207 2001 33.

6.3.5. Можливості передачі даних в MPT1327

Є три типи фіксованих даних, які передаються по керуючому каналі (підтримуються без додаткових пристроїв або програм):

- Статусні повідомлення;
- Короткі повідомлення (Short Data Message);
- Розширені повідомлення (Extended Data Messages).

Крім того можлива передача даних необмеженої довжини по робочим каналам відповідно до MAP 27 (протокол передачі даних у системах MPT).

SST й MST використовуються, щоб відправляти будь-які короткі повідомлення (текст, телеметричні дані тощо) по мовним каналам.

Статусні повідомлення

Статусні повідомлення – визначені числові коди (повідомлення), які передаються по каналу керування в цифровому виді. У системах MPT 1327 є можливість визначати до 30 числових повідомлень статусу. Крім того, є два визначених за замовчуванням (передбачено стандартом): 0 – «подзвони мені» (call me back) і 31 – «скасування прохання подзвонити мені» (cancel the call me back request).

Звичайно використовуються такі повідомлення, як «чекаю наступного завдання» або «маю потребу в докладній інформації».

Статусні повідомлення містять лише число (як в цифрових пейджерах), тому абоненти повинні бути сповіщені про те, як трактувати те або інше значення.

У багатьох моделях радіостанцій, оснащених алфавітно-цифровим дисплеєм, статусне повідомлення може декодуватися та виводитися в текстовому виді.

Короткі повідомлення

Використовуються для обміну алфавітно-цифровими повідомленнями між абонентами системи. Також можуть використатися для зв'язку між комп'ютерами, устаткуванням GPS, пристроями телеметрії (датчики, аварійні системи, дистанційне керування).

Максимальне число символів, що міститься в одній посилці залежить від формату повідомлення (табл. 6.2).

Таблиця 6.2. Число символів в посилці(короткі повідомлення)

Формат даних	Довжина посилки
Двійкові дані	184 біта
Двійково-десяткові дані	44 символи
Телексні дані	35 символів
7-бітовий ASCII	25 символів

Розширені повідомлення

Дозволяють передавати до чотирьох коротких повідомлень в одному пакеті. Максимальне число символів, що міститься в одній посилці залежно від формату повідомлення (табл. 6.3).

Таблиця 6.3. Число символів в посилці(розширені повідомлення)

Формат даних	Довжина посилки
Двійкові дані	736 біта
Двійково-десяткові дані	184 символи
Телексні дані	140 символів
7-бітовий ASCII	100 символів

Дані довільної довжини

Звичайно обмін даними довільної довжини потрібний в різних комп'ютерних додатках (передача файлів, модемний зв'язок, електронна пошта, Інтернет). Для передачі даних радіостанція повинна бути оснащена спеціальним інтерфейсом, за допомогою якого можливе підключення до радіостанції терміналів даних (звичайного комп'ютера тощо).

Методи й протокол обміну даними довільної довжини обговорені в документі MAP 27. Там же визначений інтерфейс між абонентськими радіостанціями й терміналами даних.

Зв'язок здійснюється на голосовому каналі й не може бути перерваний іншими запитами.

6.3.6. Послуги, які надаються системами на основі MPT1327

(деякі функції можуть незначно відрізняться в різних реалізаціях)

Таблиця 6.4. Основні послуги систем MPT1327 [3]

Функція	Опис
1	2
Індивідуальні виклики	Зв'язок між двома абонентами. Доступні пріоритети.
Групові виклики	Зв'язок між одним абонентом, який викликає і групою викликуваних абонентів. Доступні пріоритети.
Віщальні групові виклики	Групові виклики, де викликувані абоненти можуть тільки слухати повідомлення без можливості відповідати. Доступні пріоритети.
Приєднання до виклику	Можливість підключення до сеансу зв'язку, який проходить, інших абонентів приналежній даній групі.
Перенаправлення виклику	Виклик може бути перенаправлено іншому радіоабоненту, групі абонентів або на телефонний номер.
Пріоритетні виклики	Виклики, що мають пріоритетне право доступу до системи. Є три рівні: нормальний, високий й аварійний. У випадку наявної черги викликів (зайнятості всіх доступних каналів), абонент із високим пріоритетом ставиться в чергу першим.
Аварійні виклики (тривога)	Виклики з максимальним пріоритетом. Дозволяють перервати сеанс зв'язку, який проходить, при зайнятості всіх каналів системи.
Заборона викликів	Заборона доступу абонента до мережі. Може застосовуватися для відключення за несплату або у випадку втрати радіостанції. Надалі абонент може бути знову підключений до системи.
Динамічне перегруповування	Абоненти з різних груп можуть оперативно об'єднуватися в загальну групу. Потрібне при проведенні надзвичайних заходів.
Міжсайтові виклики, включаючи групові	Роумінг й автоматична маршрутизація запитів між різними зонами системи.
Перевірка електронного серійного номера радіостанції	Перевірка легальності абонента по заводському електронному серійному номеру.
Зв'язок з лінійними диспетчерами	Зв'язок з диспетчерськими пультами, підключеними до системи по лініях провідного зв'язку.
Зв'язок з міською телефонною мережею	Вхідні й вихідні виклики із МТС.
Зв'язок з відомчою АТС	Вхідні й вихідні виклики з ВАТС.
Короткий набір телефонних номерів	Система короткої нумерації для викликів МТС визначається оператором мережі. Дозволяє викликати телефонних абонентів по вкорочених номерах або по алфавітно-цифрових іменах (швидкий набір).
Заборона набору певних телефонних номерів	Заборона уведення певних початкових цифр телефонних номерів. Наприклад, для заборони виходу в міжміську мережу.
Статусні повідомлення	Доступні 30 користувацьких й 2 встановлених за замовчуванням повідомлення статусу (стану).
Короткі дані	Дані довжиною до 184 біт довільного формату можуть передаватися по каналу керування.
Розширені дані	Обмін даними, що включають до чотирьох коротких повідомлень в одному пакеті по каналу керування.
Обмін даними необмеженої довжини	Передача файлів, електронної пошти, доступ в Internet тощо.
Черга викликів	Запит, при зайнятості всіх каналів або викликуваного абонента, поміщається в чергу. При звільненні каналу або абонента запит обслуговується автоматично. Забезпечує різке підвищення ефективності при роботі в транкових системах MPT 1327.
Індикація номера абонента, який викликає	Дозволяє відображати номер абонента, який викликає, на дисплеї радіостанції. Залежить від реалізації системи й від моделі радіостанції.
Обмеження доступу до каналів	Виділення деяких каналів для використання тільки певними групами абонентів.

Продовження таблиці 6.4. Основні послуги систем MPT1327

1	2
Таймер тривалості сеансу зв'язку	Встановлюється дозволена тривалість сеансу зв'язку для кожного абонента (звичайно від 30 сек до 13 хв). У більшості реалізацій систем час, що залишився до кінця сеансу, відображається на дисплеї радіостанції.
Динамічна зміна тривалості виклику	Обмеження максимальної тривалості сеансу зв'язку залежно від завантаження системи.
Підвищена тривалість виклику	Для спеціальних застосувань (наприклад, передача даних) може бути встановлена максимальна тривалість сеансу зв'язку до 18 годин (система Fylde).
Реєстрація викликів	Всі здійснювані в системі запити реєструються й можуть надалі використовуватися для підготовки рахунків.
Статистика викликів	Реєструється статистика завантаження робочих (голосових) каналів протягом 24-годинного періоду (згідно MPT 1318).
Зміна параметрів абонентів залежно від часу	Зміна параметрів доступу до системи залежно від часу доби. Дозволяє динамічно змінювати навантаження на систему.
Переведення каналу керування в голосовий	Переведення керуючого каналу в режим обробки мовних повідомлень під час особливо високого завантаження системи.
Циклічна зміна каналу керування	Періодичне перепризначення керуючих функцій різним каналам. На ділянках з низьким завантаженням або зонах з електроживленням від автономних джерел дозволяє каналам працювати в режимі завантаження менше 100%. Наприклад вдень від сонячної батареї, а вночі від акумулятора.
Система індикації аварії передавачів, контролерів, інтерфейсу	Дистанційний контроль й індикація стану встаткування базової станції на керуючому терміналі системи.
Дистанційне керування встаткуванням базової станції	Вимикання/включення каналів з головного керуючого термінала системи.
Дистанційний контроль базової станції	Моніторинг роботи базової станції на керуючому терміналі системи.
Вибір кращого сигналу	У зонах, що перекриваються сусідніми базовими станціями, дозволяє радіостанціям вибирати для реєстрації ту зону, де рівень сигналу вищий.

6.4. Цифрові види транкового радіозв’язку

6.4.1.Основні характеристики цифрових транкових систем

Системи транкового радіозв'язку, що представляють собою радіально-зонові системи рухомого УКХ-радіозв'язку з реалізованою можливістю автоматичного розподілу каналів зв'язку ретрансляторів між абонентами, є класом систем рухомого зв'язку, орієнтованих, насамперед, на створення різних відомчих і корпоративних мереж зв'язку, у яких передбачається активне застосування режиму зв'язку абонентів у групі. Вони широко використовуються силовими й правоохоронними структурами, підрозділами аварійно-рятувальних служб, службами суспільної безпеки різних країн для забезпечення зв'язку рухомих абонентів між собою, зі стаціонарними абонентами й абонентами телефонної мережі.

Існує велика кількість різних стандартів транкових систем рухомого радіозв'язку загального користування, які відрізняються одна від одної методом передачі мовної інформації (аналогові і цифрові), типом багатостанційного доступу (FDMA – із частотним поділом каналів, TDMA – з часовим поділом каналів або CDMA – з кодовим поділом каналів), способом пошуку та призначення каналу (з децентралізованим і

централізованим керуванням), типом каналу керування (виділеним або розподіленим) і іншими характеристиками.

У цей час й у світі, і в Україні досить поширені аналогові транкові системи радіозв'язку, такі як SmarTrunk, системи протоколу MPT1327 (ACCESSNET, ACTIONET тощо), системи фірми Motorola (Startsite, Smartnet, Smartzone), системи з розподіленим каналом керування (LTR й Multi-Net фірми E.F.Johnson Co та ESAS фірми Uniden). Найбільше поширення одержали системи MPT1327, що пояснюється значними перевагами даного стандарту в порівнянні з іншими аналоговими системами.

Варто сказати, що і в Україні більшість великих транкових мереж побудовано на базі устаткування стандарту MPT1327. Керівники компаній, що займаються поставками устаткування й системною інтеграцією в області професійного радіозв'язку, відзначають, що більшість завдань оперативного мовного зв'язку, які стоять перед їхніми замовниками досить ефективно вирішується за допомогою аналогових систем стандарту MPT1327.

Цифрові стандарти транкового радіозв'язку поки не одержали такого широкого поширення в Україні, але вже зараз можна говорити про їх активне й успішне впровадження.

Разом з тим, коло користувачів цифрових транкових систем постійно розширюється. В Україні також з'являються великі замовники систем професійного радіозв'язку, вимоги яких обумовлюють перехід до цифрових технологій. У першу чергу, це великі відомства й корпорації, такі як НАК «Нафтогаз України», Мінтранс тощо, а також силові структури та правоохоронні органи.

Необхідність переходу обумовлюється рядом переваг цифрового транку перед аналоговими системами, такими як більша спектральна ефективність за рахунок застосування складних видів модуляції сигналу й низькошвидкісних алгоритмів мовоперетворення, підвищена ємність систем зв'язку, вирівнювання якості мовного обміну по всій зоні обслуговування базової станції за рахунок застосування цифрових сигналів у поєднанні із завадостійким кодуванням. Розвиток світового ринку систем транкового радіозв'язку сьогодні характеризується широким впровадженням цифрових технологій. Провідні світові виробники встаткування транкових систем повідомляють про перехід до цифрових стандартів радіозв'язку, передбачаючи при цьому або випуск принципово нового обладнання, або адаптацію аналогових систем до цифрового зв'язку.

Цифрові транкові системи в порівнянні з аналоговими мають ряд переваг за рахунок реалізації вимог по підвищеній оперативності й безпеці зв'язку, надання широких можливостей по передачі даних, більш широкому спектру послуг зв'язку (включаючи специфічні послуги зв'язку для реалізації спеціальних вимог служб суспільної безпеки), можливостей організації взаємодії абонентів різних мереж [12].

1. Висока оперативність зв'язку. Насамперед, ця вимога означає мінімально можливий час встановлення каналу зв'язку (час доступу) при різних видах з'єднань (індивідуальних, групових, з абонентами телефонних мереж тощо). У конвенціональних системах зв'язку при передачі цифрової інформації вимагається часова синхронізації передавача й приймача, для встановлення каналу зв'язку потрібний більший час, ніж в аналоговій системі. Однак для транкових систем радіозв'язку, де інформаційний обмін, в основному, здійснюється через базові станції, цифровий режим порівняний за часом доступу з аналоговим (і в аналогових, і в цифрових системах радіозв'язку, як правило, канал керування реалізується на основі цифрових сигналів).

Крім цього, у системах цифрового транкового радіозв'язку більш просто реалізуються різні режими зв'язку, що підвищують його оперативність, такі як *режим безпосереднього (прямий) зв'язку* між рухомими абонентами (без використання базової станції), *режим відкритого каналу* (виділення й закріплення частотних ресурсів мережі за певною групою абонентів для ведення ними надалі переговорів без виконання будь-якої установчої процедури, у т.ч. без затримки), режими аварійних і пріоритетних викликів тощо.

Цифрові системи транкового радіозв'язку краще пристосовані до різних режимів передачі даних, що надає, наприклад, співробітникам правоохоронних органів і служб суспільної безпеки широкі можливості оперативного одержання відомостей із централізованих баз даних, передачі необхідної інформації, включаючи зображення з місця події, організації централізованих диспетчерських систем місцевизначення рухомих об'єктів на основі супутникових радіонавігаційних систем. Дані системи дозволяють споживачам нафтогазового комплексу використовувати їх як транспорт не тільки для передачі голосового зв'язку, але й для передачі телеметрії й телекерування.

2. Передача даних. Цифрові системи транкового радіозв'язку краще пристосовані до різних режимів передачі даних, що надає абонентам цифрових мереж широкі можливості оперативного одержання відомостей із централізованих баз даних, передачі необхідної інформації, включаючи зображення, організації централізованих диспетчерських систем місцевизначення рухомих об'єктів на основі супутникових радіонавігаційних систем. Швидкість передачі даних у цифрових системах значно вища, ніж в аналогових.

У більшості систем радіозв'язку на основі цифрових стандартів реалізуються послуги передачі коротких і статусних повідомлень, персонального радіовиклику, факсимільного зв'язку, доступу до фіксованих мереж зв'язку (у т.ч. працюючих на основі протоколів TCP/IP).

3. Безпека зв'язку. Включає в себе вимоги по забезпеченню таємності переговорів (виключення можливості добування інформації з каналів зв'язку будь-кому, окрім санкціонованого одержувача) і захисту від несанкціонованого доступу до системи (виключення можливості

захоплення керування системою й спроб вивести її з ладу, захист від «двійників» тощо). Як правило, основними механізмами забезпечення безпеки зв'язку є шифрування та аутентифікація абонентів.

Природно, що в системах цифрового радіозв'язку в порівнянні з аналоговими системами набагато легше забезпечити безпеку зв'язку. Навіть без застосування спеціальних заходів по закриттю інформації цифрові системи забезпечують підвищений рівень захисту переговорів (аналогові скануючі приймачі непридатні для прослуховування переговорів у системах цифрового радіозв'язку). Крім того, деякі стандарти цифрового радіозв'язку передбачають можливість наскрізного шифрування інформації, що дозволяє використовувати оригінальні (тобто розроблені самим користувачем) алгоритми закриття мови.

Цифрові системи транкового радіозв'язку дозволяють використовувати різноманітні механізми аутентифікації абонентів: різні ідентифікаційні ключі й SIM-карти, складні алгоритми аутентифікації, що використовують шифрування тощо.

4. Послуги зв'язку. Цифрові транкові системи реалізують сучасний рівень сервісного обслуговування абонентів мереж зв'язку, надаючи можливості автоматичної реєстрації абонентів, роумінгу, керування потоком даних, різних режимів пріоритетного виклику, переадресації виклику тощо.

Поряд зі стандартними функціями мережного обслуговування за заявками аварійно-рятувальних служб та правоохоронних органів у стандарти цифрового транкового радіозв'язку часто включають вимоги по наявності специфічних послуг зв'язку: режиму виклику, що надходить тільки із санкції диспетчера системи; режиму динамічної модифікації груп користувачів; режиму дистанційного включення радіостанцій для акустичного прослуховування обстановки тощо.

5. Можливість взаємодії. Цифрові системи радіозв'язку, які мають гнучку структуру адресації абонентів, надають широкі можливості як для створення різних віртуальних мереж у рамках однієї системи, так і для організації при необхідності взаємодії абонентів різних мереж зв'язку. Для служб суспільної безпеки особливо актуальним є вимога по забезпеченню можливості взаємодії підрозділів різних відомств для координації спільних дій при надзвичайних ситуаціях: стихійних лихах, терористичних актах тощо.

До найбільш популярних, таких які отримали міжнародне визнання, стандартів цифрового транкового радіозв'язку, на основі яких у багатьох країнах розгорнуті системи зв'язку, відносяться:

- **EDACS**, розроблений фірмою Ericsson;
- **TETRA**, розроблений Європейським інститутом стандартів зв'язку;
- **APCO 25**, розроблений Асоціацією офіційних представників служб зв'язку органів суспільної безпеки;
- **Tetrapol**, розроблений фірмою Matra Communication (Франція);

– **iDEN,** розроблений фірмою Motorola (США).

Всі ці стандарти (табл. 6.5) відповідають сучасним вимогам до систем транкового радіозв'язку. Вони дозволяють створювати різні конфігурації мереж зв'язку: від найпростіших локальних однозонових систем до складних багатозонових систем регіонального або національного рівня. Системи на основі даних стандартів забезпечують різні режими передачі мови (індивідуальний зв'язок, груповий зв'язок, широкомовний виклик тощо) і даних (передача пакетів з комутацією, передача даних з комутацією мереж, короткі повідомлення тощо), а також можливість організації зв'язку з різними системами по стандартним інтерфейсам (із цифровою мережею з інтеграцією послуг, з телефонною мережею загального користування, з відомчими АТС тощо). У системах радіозв'язку зазначених стандартів застосовуються сучасні способи мовоперетворення, поєднані з ефективними методами завадостійкого кодування інформації. Виробники радіозасобів забезпечують їхню відповідність стандартам MIL STD 810 по різним кліматичним і механічним впливам.

6.4.2. Принципи роботи цифрових систем радіозв’язку

У цифрових системах весь обмін мовними повідомленнями й даними здійснюється лише в цифровому виді. Це дозволяє здійснювати передачу інформації в більш вузькому частотному каналі (12,5 і навіть 6,25 кГц) без зниження якості. В зв’язку з тим, що при передачі цифрових даних використовуються тільки дві частоти (для 1 й 0), то в ідеалі можливе створення системи зв'язку із шириною каналу в декілька герц. На сьогоднішній день досягнута величина смуги радіоканалу 6,25 кГц. Причому в межах цієї смуги передається як оцифрована звукова інформація (мова), так і інформація, яка початково є цифровою (телеметрія, комп'ютерні дані, Інтернет).

Звукова інформація (голос) перетворюється в цифровий формат (рис. 6.15), модулюється високочастотним сигналом (рис. 6.16) і передається в ефір за традиційними фізичними законами. Якщо вихідна інформація надходить вже в цифровому виді (термінал даних, комп'ютер, мережа цифрового зв'язку, Інтернет тощо), то перетворення не потрібно. Для запобігання втрат інформації при передачі в ефірі використовуються різноманітні алгоритми корекції помилок.

Процес оцифрування й кодування голосу здійснюється спеціальним пристроєм – вокодером. Саме від нього залежить алгоритм кодування. Різні системи цифрового зв'язку ґрунтуються на різних вокодерах. Саме вокодером забезпечується сумісність (або не сумісність) різних систем цифрового зв'язку. Наприклад, у системах APCO 25 використовується вокодер IMBE, а в EDACS – Aegis.

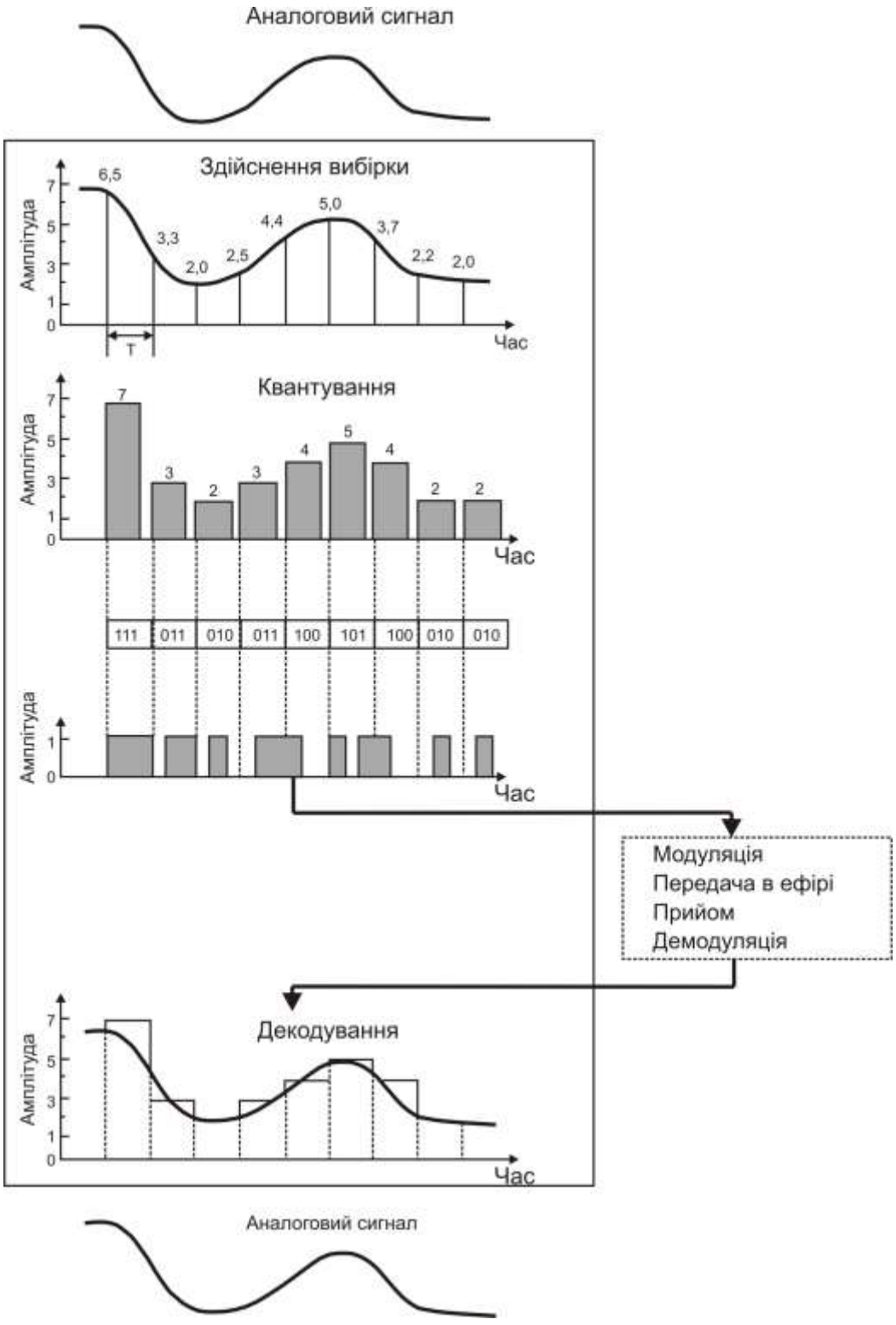

Рис. 6.15. Аналого-цифрове й цифро-аналогове перетворення [3]

Процес аналогово-цифрового перетворення в загальному випадку включає процедуру квантування (дискретизації безперервної величини за часом, рівню або по обох параметрах одночасно) і кодування. При квантуванні безперервна величина перетворюється в послідовність її миттєвих значень, виділених за певним законом, яка в сукупності відображає (із заздалегідь установленою помилкою) вихідну величину.

При кодуванні виділені в процесі квантування миттєві значення вихідної величини виміряються, і результати фіксуються у вигляді цифрового (у цьому випадку двійкового) коду. При потраплянні в приймач, цифровий сигнал декодується та, за допомогою процедури цифро-аналогового перетворення, відновлюється вихідний аналоговий сигнал.

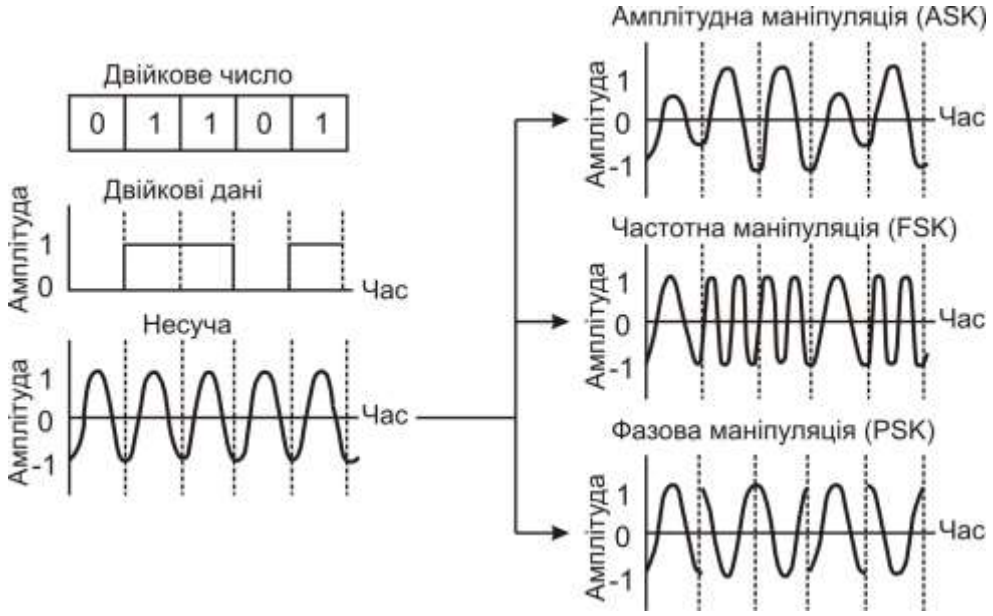

Рис. 6.16. Методи модуляції цифрового сигналу [3]

Найчастіше використовуються три методи модуляції (звичайно метод модуляції цифрового сигналу називають *маніпуляцією*) цифрового сигналу. Цифровий сигнал, що представляє потік двійкових символів 0 та 1 накладається на несучу – аналоговий високочастотний сигнал постійної амплітуди та частоти.

При амплітудній маніпуляції (ASK amplitude-shift keying), модулюєма хвиля змінює амплітуду сигналу (наприклад, з високого рівня на низький) відповідно до двійкової інформації.

При частотній маніпуляції (FSK frequency-shift keying), потік бітів представлений змінами між двома частотами.

При фазовій маніпуляції (PSK phase-shift keying), амплітуда й частота залишаються постійними, а потік бітів представлений змінами фази модульованого сигналу.

Фундаментальною відмінністю аналогових систем зв'язку від цифрових є лише метод підготовки та кодування вихідної інформації. Високочастотна частина радіостанцій, відповідальна за прийом і передачу радіохвиль, залишається практично ідентичної у всіх видах радіозв'язку. Причому ситуація не змінюється вже понад 100 років, з часів демонстрації першої системи зв'язку в 1895 році.

Якщо в аналогових системах вихідна інформація практично без змін передається в ефір (у вигляді високочастотної електромагнітної енергії), то в цифрових системах по ефіру передається тільки двійковий код.

Найбільш важливими перевагами цифрових систем зв'язку перед аналоговими є:

- більш висока якість передачі мови (хоча з'являється деяка «металізація» мови);
- відсутність «ефірних» перешкод;
- більша захищеність від сторонніх сигналів;
- стабільна якість зв'язку у всій зоні покриття (і різке зниження на границях зони);
- інтегровані можливості по передачі даних і більш високі швидкості обміну даними;
- розширені можливості шифрування без втрат якості й зменшення зони покриття.

Таблиця 6.5. Цифрові транкові системи

Система	APCO 25	TETRA	TETRAPOL	EDACS (Aegis)	ACCESNET–D	iDEN
Виробник	APCO	ETSI	Matra	Ericcson	Rohde & Schwarz	Motorola
Виробники базового встаткування	декілька	декілька	декілька	Ericcson	Rohde & Schwarz	Motorola
Виробники абонентського встаткування	декілька	декілька	декілька	Ericcson, Maxon	немає даних	Motorola
Міжнародний статус	так	так	ні	ні	ні	ні
Протокол	Відкритий	Відкритий	Відкритий	Фірмовий	Фірмовий	Фірмовий
Ширина каналу, кГц	12,5; 6,25	25 (4) *	12,5; 10	25	12,5	25 (6) **
Метод доступу	FDMA	TDMA	FDMA	FDMA	FDMA	TDMA

***** *TETRA – до 4 робочих каналів у смузі 25 кГц*
****** *iDEN – до 6 робочих каналів у смузі 25 кГц*

6.4.3. Методи доступу FDMA та TDMA в цифрових системах зв’язку

Існування двох типів цифрових транкових систем визнається міжнародними організаціями з 1990 року. Розходження в методах доступу істотно впливає як на фізичні характеристики, так і на реалізацію систем.

1. FDMA (Frequency Division Multiple Access) – множинний доступ із частотним поділом. Для кожного сеансу зв'язку виділяється окремий частотний радіоканал.
2. TDMA (Time Division Multiple Access) – множинний доступ з часовим поділом. Кілька одночасних сеансів зв'язку розділяються за часом і поєднуються в один радіоканал.

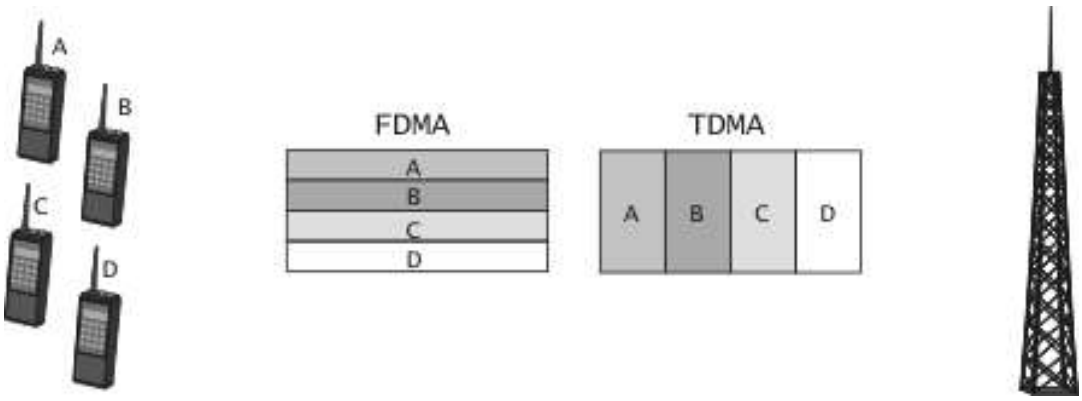

Рис. 6.17. Методи доступу в цифрових транкових системах

Основним принципом створення багатозонових систем є досягнення максимально можливої зони покриття окремою базовою станцією. Це, по-перше, дозволяє зменшити вартість системи за рахунок меншої кількості базових станцій (зон), а по-друге, більш раціонально використати радіочастоти за рахунок використання тих самих номіналів у різних зонах.

При побудові багатозонових систем неминуче виникають так звані області перекриття, де можливий прийом сигналів різних базових станцій на одній частоті. Це змушує або зменшувати потужність базової станції (зі скороченням зони покриття), або використовувати різні номінали частот. В обох випадках це вимагає додаткових витрат.

Поняття спектральної ефективності (повторного використання частот у різних зонах) має дуже важливе значення як в аналоговому, так і в цифровому радіозв'язку. Але, якщо в аналогових системах це викликає погіршення якості у вигляді шумів і перешкод, то в цифрових – повне зникнення сигналу. Отже, при проектуванні цифрових систем, вимоги до використання радіочастот набагато вищі. Особливо з врахуванням того, що якість зв'язку в аналогових системах звичайно пропорційно погіршується при видаленні від базової станції. У цифрових системах якість зв'язку незмінна до певної відстані, після чого різко погіршується до повного зникнення.

У системах TDMA абонентські носимі станції мають вихідну потужність близько 1 Вт. Низька вихідна потужність пов'язана зі складністю технічної реалізації вихідних каскадів радіостанції. У моменти активності радіостанція багаторазово (17 разів у секунду в TETRA) перемикається з режиму передачі в режим прийому. При цьому станція повинна забезпечити досягнення максимальної потужності за певний інтервал часу, якщо цього не відбудеться, то втратиться частина цифрової інформації й неминуче порушиться синхронна робота всієї системи.

Низька вихідна потужність абонентських радіостанцій вимагає більш частого розташування базових станцій. У деяких випадках із цим недоліком можна змиритися, особливо беручи до уваги можливості по передачі даних у системах TDMA (до 28,8 кбіт/с в TETRA) і щільність

абонентів у зоні покриття мережі. Приміром, система TETRA початково проектувалася для забезпечення зв'язком щільнонаселених районів Європи, де висока щільність абонентів і, отже, менші витрати в перерахуванні на абонента.

Радіочастотний тракт радіостанцій у системах FDMA не відрізняється від аналогового зв'язку, що дозволяє створювати абонентські радіостанції потужністю до 5 Вт. Це означає, що площа покриття однієї базової станції (зони) в FDMA наближена до величини зон традиційних аналогових транкових мереж.

Хоча в системах FDMA більш скромні можливості по передачі даних (до 9,6 кбіт/с в APCO 25) і більш висока вартість устаткування, в цілому, з урахуванням кількості зон і витрат на лінії міжзонового зв'язку, мережа FDMA обійдеться як мінімум у два рази дешевше при забезпеченні зв'язком території, аналогічної TDMA.

Наприклад, американський досвід покриття зв'язком великих територій з мінімальними витратами, плюс вимоги по сумісності з наявними аналоговими мережами одержав втілення в стандарті APCO 25 (FDMA). Більшість державних і приватних організацій США обрали системи APCO 25 як основний стандарт цифрового транкового зв'язку.

6.4.4. Стійкість до інтерференції* цифрових систем

Як вже було сказано, основною характеристикою будь-якої системи зв'язку є можливість охоплення якомога більшої площі однією базовою станцією. Вартість системи прямо пропорційно залежить від кількості базових станцій (зон) необхідних для покриття заданої території плюс вартість міжзонових з'єднань. Отже, збільшення вихідної потужності базового та абонентського встаткування, розміщення антен на максимально можливій висоті дозволяє розширити зону покриття кожної базової станції та зменшити витрати. Проте, може виникнути інша проблема.

***** *Інтерференція – додавання двох або більше хвиль, при якому амплітуда результуючої хвилі залежить від різниці фаз вихідних хвиль у даній точці простору. Якщо складаються хвилі з однаковою фазою, то амплітуда результуючої хвилі буде збільшуватися, а якщо із протилежними фазами, то зменшуватися (аж до 0). У реальних умовах через відбиття хвиль від різних перешкод, у точці прийому можуть прийматися кілька хвиль зі зміщеними одна відносно іншої фазами і, отже, результуючий сигнал може змінюватися випадковим чином.*

Зони покриття кожної базової станції далекі від ідеальних кіл або шестигранників (стільників), як це прийнято зображувати на малюнках. У реальних умовах форми зон охоплення залежать від рельєфу місцевості, електромагнітних перешкод, пори року і мають досить складну форму. Як

правило, у багатьох точках виникають області перекриття двох або декількох базових станцій. При перекритті ділянок з різними частотами особливих проблем не виникає, коли ж до радіостанції потрапляють сигнали з однаковою частотою (інтерференція), те це може викликати серйозні порушення в роботі. І якщо в аналогових мережах це буде виражатися в появі перешкод, шуму або тимчасового зникнення сигналу, то в цифрових системах може повністю паралізувати роботу.

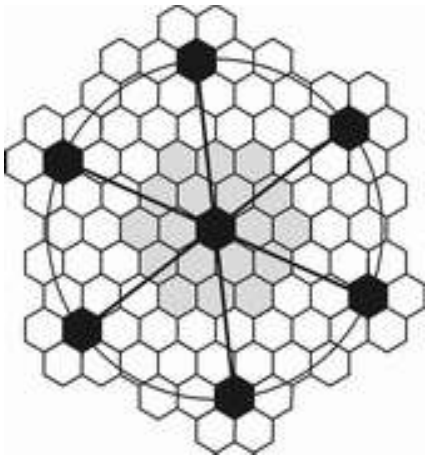

Рис. 6.18. План розподілу однакових частот у суміжних зонах

Щоб зменшити інтерференцію в областях перекриття застосовують різні набори частот у різних зонах. Чим більше номіналів частот, тим рідше вони будуть повторюватися. На рис. 6.18 зображений план розподілу однакових частот у суміжних зонах. Чорними кольорами виділені зони, у яких використовуються однакові номінали. В англомовній літературі цей процес називається «simulcast». На наведеному рисунку simulcast становить 19 (приклад simulcast для TETRA). Тобто, для створення мережі зв'язку без інтерференції потрібно 19 різних наборів частот.

Але номінали частот досить дорогі і, як правило, дефіцитні. Звичайно доводиться проектувати систему виходячи з наявних частот. Тоді для зменшення взаємних перешкод доводиться обмежувати зону покриття кожної базової станції, а це досягається зниженням потужності тощо. Виникає протиріччя, що досить складно вирішити.

У цифрових системах зв'язку стійкість до інтерференції визначають і методи оцифрування та модуляції сигналу. Наприклад, метод FDMA більш стійкий до інтерференції, ніж TDMA.

Ми не будемо проводити порівняльний аналіз різних методів оцифрування та модуляції, тому що це тема окремої книги та, ймовірно, буде цікава лише фахівцям.

Слід зазначити, що потужність абонентських радіостанцій не єдиний критерій, який визначає відмінності в зонах покриття систем TDMA та FDMA. Зони покриття також залежать ще від ряду важливих факторів

серед яких чутливість приймачів радіостанцій, типи модуляції (від якого залежить стійкість до інтерференції), географічні умови тощо.

6.4.5. Загальні відомості про стандарти цифрового транкового радіозв'язку

Система EDACS

Одним з перших стандартів цифрового транкового радіозв'язку був стандарт EDACS (Enhanced Digital Access Communication System), розроблений фірмою Ericsson (Швеція). Спочатку він передбачав лише аналогову передачу мови, однак пізніше була розроблена спеціальна цифрова модифікація системи EDACS Aegis.

Система EDACS працює відповідно до закритого фірмового протоколу, який відповідає вимогам по безпеці користування системами транкового радіозв'язку, які були розроблені рядом фірм-виробників устаткування рухомого зв'язку разом із правоохоронними органами (документ APS 16).

Цифрові системи EDACS випускалися на діапазони частот 138-174 МГц, 403-423 МГц, 450-470 МГц та 806-870 МГц із розносом частот 30, 25, та 12,5 кГц.

У системах EDACS застосовується частотний поділ каналів зв'язку (FDMA) з використанням високошвидкісного (9600 біт/с) виділеного каналу керування, який призначено для обміну цифровою інформацією між радіостанціями та пристроями керування роботою системи. Це забезпечує високу оперативність зв'язку в системі (час встановлення каналу зв'язку в однозоновій системі не перевищує 0,25 с). Швидкість передачі інформації в робочому каналі також відповідає 9600 біт/с.

Мовне кодування в системі здійснюється шляхом компресії імпульсно-кодової послідовності зі швидкістю 64 Кбіт/с, отриманої за допомогою аналого-цифрового перетворення сигналу з тактовою частотою 8 кГц і розрядністю 8 біт. Алгоритм компресії, що реалізує метод адаптивного багаторівневого кодування (розробка фірми Ericsson), забезпечує динамічну адаптацію до індивідуальних характеристик мови абонента та формує низькошвидкісну цифрову послідовність, що піддається завадостійкому кодуванню, яке доводить швидкість цифрового потоку до 9,2 Кбіт/с. Далі сформована послідовність ділиться на пакети, у кожний з яких включаються сигнали синхронізації та керування. Результуюча послідовність передається в каналі зв'язку зі швидкістю 9600 біт/с.

Основними функціями стандарту EDACS, що забезпечують специфіку служб суспільної безпеки, є різні режими виклику (груповий, індивідуальний, екстрений, статусний), динамічне керування пріоритетністю викликів (у системі може використовуватися до 8 рівнів

пріоритету), динамічна модифікація груп абонентів (перегрупування), дистанційне вимикання радіостанцій (при втраті або крадіжці радіозасобів).

Системи стандарту EDACS забезпечують можливість роботи радіозасобів як у цифровому, так і в аналоговому режимі, що дозволяє користувачам на певному етапі використовувати старий парк технічних засобів радіозв'язку.

Одним з основних завдань розробки системи було досягнення високої надійності та відмовостійкості мереж зв'язку на основі даного стандарту. Ця мета була досягнута, що підтверджується надійною та усталеною роботою систем зв'язку в різних регіонах світу. Висока надійність забезпечується реалізацією в апаратурі системи EDACS розподіленої архітектури й закладеним принципом розподіленої обробки даних. Базова станція мережі зв'язку зберігає працездатність навіть у випадку відмови всіх ретрансляторів, крім одного. Останній працездатний ретранслятор у цьому випадку у вихідному стані працює як ретранслятор каналу керування, при надходженні викликів обробляє їх, призначаючи свій власний частотний канал, після чого переходить у режим ретранслятора робочого каналу. При виході з ладу контролера базової станції система переходить в аварійний режим, при якому втрачаються деякі функції мережі, однак зберігається часткова працездатність (ретранслятори працюють автономно).

У системі EDACS можливе наскрізне шифрування інформації, однак у зв'язку із закритим протоколом доводиться застосовувати або стандартний алгоритм захисту, пропонований фірмою Ericsson, або погоджувати з нею можливість використання власних програмно-апаратних модулів, що реалізують оригінальні алгоритми, які повинні бути сумісні із системним протоколом EDACS.

На сьогоднішній день у світі розгорнута велика кількість мереж стандарту EDACS, у числі яких є багатозонові мережі зв'язку, використовувані службами суспільної безпеки різних країн. Разом з тим, у наш час фірма Ericsson не проводить робіт з удосконалювання системи EDACS, припинила поставки устаткування для розгортання нових мереж даного стандарту й лише підтримує функціонування діючих мереж.

Система TETRA

TETRA являє собою стандарт цифрового транкового радіозв'язку, який включає ряд специфікацій, розроблених Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Стандарт TETRA створювався як єдиний загальноєвропейський цифровий стандарт. Тому до квітня 1997 р. абревіатура TETRA означала Транс’європейське транкове радіо (Trans-European Trunked RAdio). Однак у зв'язку з великим інтересом, виявленим до стандарту в інших регіонах, територія його дії не обмежується лише

Європою. У цей час TETRA розшифровується як Наземне транкове радіо (TErrestrial Trunked RAdio).

TETRA – відкритий стандарт, тобто передбачається, що встаткування різних виробників буде сумісним. Доступ до специфікацій TETRA вільний для всіх зацікавлених сторін, що вступили в асоціацію «Меморандум про взаєморозуміння і сприяння стандарту TETRA» (Mo TETRA). Асоціація, в яку наприкінці 2001 р. входило більше 80 учасників, поєднує розроблювачів, виробників, випробувальні лабораторії та користувачів різних країн.

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

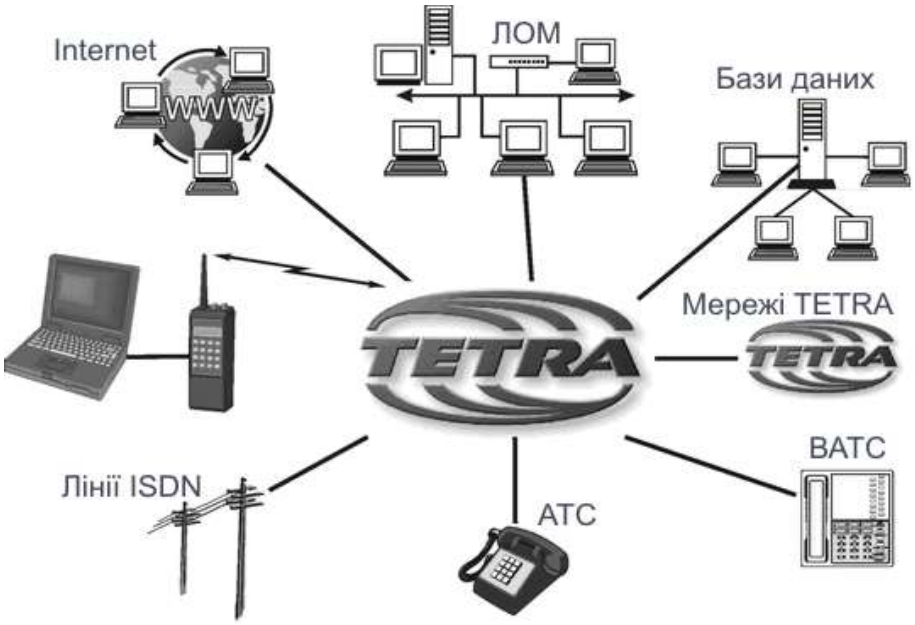

Рис. 6.19. Інтеграція мереж зв'язку TETRA

До стандарту TETRA входять специфікації бездротового інтерфейсу, інтерфейсів між мережею TETRA і цифровою мережею з інтеграцією послуг (ISDN), телефонною мережею загального користування, мережею передачі даних, відомчих АТС тощо (рис. 6.19). У стандарт включено опис всіх основних і додаткових послуг, які надаються мережами TETRA. Специфіковано також інтерфейси локального та зовнішнього централізованого керування мережею.

Рис. 6.20. Структура мультикадра TETRA

Радіоінтерфейс стандарту TETRA допускає роботу в стандартній сітці частот із кроком 25 кГц. Необхідне мінімальне дуплексне рознесення радіоканалів – 10 МГц. Для систем стандарту TETRA можуть використовуватися декілька піддіапазонів частот. В країнах Європи за службами безпеки закріплені діапазони 380-385/390-395 МГц, а для комерційних організацій передбачені діапазони 410-430/450-470 МГц. В Азії для систем TETRA використовується діапазон 806-870 МГц.

В системах стандарту TETRA V+D використовується метод доступу з часовим поділом (TDMA) каналів зв'язку. На одній фізичній частоті може бути організовано до 4 незалежних інформаційних каналів.

Повідомлення передаються мультикадрами тривалістю 1,02 с (рис. 6.20). Мультикадр містить 18 кадрів, один із яких є контрольним. Кадр має тривалість 56,67 мс і містить 4 часових інтервали (time slots). У кожному з часових інтервалів передається інформація свого часового каналу. Часовий інтервал має довжину 510 біт, з яких 432 є інформаційними (2 блоки по 216 біт).

У системах стандарту TETRA використається відносна фазова модуляція типу p/4-DQPSK (Differrential Quadrum Phase Shift Keying). Швидкість модуляції – 36 кбіт/с.

Для перетворення мови в стандарті використовується кодек з алгоритмом перетворення типу CELP (Code Excited Linear Prediction). Швидкість цифрового потоку на виході кодека становить 4,8 кбіт/с. Цифрові дані з виходу мовного кодека піддаються блоковому й розгортковому кодуванню та шифруванню, після чого формуються інформаційні канали (рис. 6.21).

Рис 6.21. Перетворення мови в стандарті Tetra

Максимальна швидкість передачі даних у кожному з робочих каналів становить 7,2 кбіт/с. З них для передачі оцифрованого та стиснутого (а при необхідності й зашифрованого) мовного сигналу використовується 4,8 кбіт/с, а інші 2,4 кбіт/с призначені для передачі коду корекції помилок.

У режимі передачі даних, для одного сеансу зв'язку (одному абонентові) може одночасно виділятися від одного до чотирьох потоків, забезпечуючи тим самим швидкість передачі даних до 28,8 кбіт/с. Така швидкість дозволяє передавати не тільки мову й текстові дані, але й графіку, працювати в Інтернет, користуватися електронною поштою й навіть обмінюватися відеоінформацією. Причому можливість підключення абонентських радіостанцій до цифрових пристроїв не вимагає додаткового встаткування.

Системи на базі TETRA мають широкі можливості по передачі захищених (зашифрованих) даних. Можуть шифруватися як голос, так і дані, причому засоби захисту інтегровані в систему і не вимагають додаткового устаткування. Від рівня шифрування значно залежить швидкість передачі (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6. Швидкість передачі даних в залежності від рівня шифрування

Передача даних	Швидкість (кбіт/с) залежно від числа виділених потоків				Можливе застосування
	1	2	3	4	
Незахищений режим	7,2	14,4	21,6	28,8	Графічна й відеоінформація, Інтернет
Захищені дані	4,8	9,6	14,4	19,2	Текст, картографічні дані
Високозахищені дані	2,4	4,8	7,2	9,6	Конфіденційна військова й службова інформація, криміналістичні дані, банківська інформація

Для захисту інформації визначено два механізми:

- На етапі «ефірного» інтерфейсу – забезпечує шифрування «траси» між кінцевими пристроями й базовою станцією.
- Наскрізне шифрування – застосовується для обміну найбільш важливими даними, де потрібне шифрування по всьому тракту передачі від одного кінцевого пристрою до іншого.

Засоби захисту радіоінтерфейсу стандарту TETRA включають механізми аутентифікації абонента й інфраструктури, забезпечення конфіденційності трафіка за допомогою 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 унікальною вимогою спеціальних груп користувачів. Наскрізне шифрування забезпечує захист мови й даних у будь-якій точці лінії зв'язку між стаціонарними й мобільними абонентами. Стандарт TETRA задає тільки інтерфейс для наскрізного шифрування, забезпечуючи тим самим можливість використання оригінальних алгоритмів захисту інформації.

Крім шифрування, у системі присутні традиційні методи захисту доступу до системи: перевірка легальності абонентів по ідентифікаційному й електронному номерам радіостанції.

Пропускна здатність одного інформаційного каналу становить 7,2 кбіт/с, а швидкість цифрового інформаційного потоку даних – 28,8 кбіт/с (при цьому загальна швидкість передачі символів у радіоканалі за рахунок додаткової службової інформації й контрольного кадру в мультикадрі відповідає швидкості модуляції й дорівнює 36 кбіт/с).

Системи стандарту TETRA можуть функціонувати в наступних режимах:

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

У режимі *транкового зв'язку* територія, яка обслуговується, перекривається зонами дії базових прийомопередавальних станцій. Стандарт TETRA дозволяє використовувати в системах як розподілений канал керування, так і організовувати його поєднання з виділеним частотним каналом керування. При роботі мережі з розподіленим каналом керування службова інформація передається або тільки в контрольному кадрі мультикадру (одному з 18), або ще в спеціально виділеному часовому каналі (одному з 4-х каналів, організованих на одній частоті). Окрім розподіленого керуючого каналу мережа зв'язку може використовувати виділений частотний канал керування, спеціально призначений для обміну службовою інформацією (при цьому реалізуються максимальні можливі послуги зв'язку).

У режимі *з відкритим каналом* група користувачів має можливість встановлювати з'єднання «один пункт-декілька пунктів» без якої-небудь установчої процедури. Будь-який абонент, приєднавшись до групи, може в будь-який момент використати цей канал. У режимі з відкритим каналом радіостанції працюють в двохчастотному симплексі.

У режимі *безпосереднього (прямого) зв'язку* між терміналами встановлюються дво- і багатоточкові з'єднання по радіоканалам, не пов'язаним з каналом керування мережею, без передачі сигналів через базові прийомопередавальні станції.

У системах стандарту TETRA мобільні станції можуть працювати в режимі «подвійного спостереження» («Dual Watch»), при якому забезпечується прийом повідомлень від абонентів, що працюють як у режимі транкового, так і прямого зв'язку.

Для збільшення зон обслуговування в стандарті TETRA передбачається можливість використання абонентських радіостанцій як ретрансляторів (рис. 6.22).

Рис. 6.22. Режими зв'язку в системі TETRA

TETRA надає користувачам ряд послуг, які включені в стандарт за заявкою Асоціації європейської поліції (Schengen Group), яка співробітничає з технічним комітетом ETSI:

- *виклик, санкціонований диспетчером* (режим, при якому виклики надходять тільки із санкції диспетчера);
- *пріоритетний доступ* (у випадку перевантаженості мережі доступні ресурси привласнюються у відповідності зі схемою пріоритетів);
- *пріоритетний виклик* (присвоєння викликів у відповідності зі схемою пріоритетів);

- *пріоритетне переривання обслуговування викликів* (переривання обслуговування викликів з низьким пріоритетом, якщо ресурси системи вичерпані);
- *вибіркове прослуховування* (перехоплення вступного виклику без впливу на роботу інших абонентів);
- *дистанційне прослуховування* (дистанційне включення абонентської радіостанції на передачу для прослуховування обстановки в абонента);
- *динамічне перегрупування* (динамічне створення, модифікація й видалення груп користувачів);
- ідентифікація сторони, яка викликає.

Рис. 6.23. Утворення віртуальних радіомереж всередині системи транкового радіозв'язку

У системах TETRA підтримується можливість використання мережі декількома незалежними організаціями, із забезпеченням загальної таємності й взаємної безпеки (рис. 6.23). Це досягається створенням так званих «віртуальних» мереж. Віртуальні мережі дозволяють розділяти загальну фізичну мережу різним організаціям і відомствам, імітуючи при цьому «персональну» систему й зберігаючи повний контроль над своїми власними комунікаційними функціями. Для кожної віртуальної мережі може застосовуватися не тільки свій власний набір параметрів системи, але й власний центр керування. Така особливість систем TETRA дозволяє здешевити розгортання мереж в разі їх експлуатації декількома користувачами (МНС, МВС, СБУ, МОЗ тощо).

Мережі TETRA розгорнуті в Європі, Північній і Південній Америці, Китаї, Південно-Східній Азії, Австралії, Африці, а також Україні і інших країнах СНД.

У цей час завершується розробка другої стадії стандарту (TETRA Release 2 (R2)), спрямованої на інтеграцію з мобільними мережами 3-го

покоління, кардинальне збільшення швидкості передачі даних, перехід від спеціалізованих SIM-карт до універсальних, подальше збільшення ефективності мереж зв'язку й розширення можливих зон обслуговування.

В Україні устаткування TETRA пропонується рядом компаній – системних інтеграторів (концерн «Alex», фірма «Ranet» та інші). Реалізовано декілька проектів мереж TETRA (на газопроводі «Ананьїв-Ізмаїл» та газопроводі-відводі м. Білгород-Дністровський).

Система APCO 25

Стандарт APCO 25 розроблений Асоціацією офіційних представників служб зв'язку органів суспільної безпеки (Association of Public safety Communications Officials-international), яка об’єднує користувачів систем зв'язку, що працюють у службах суспільної безпеки з понад 70 країн. Члени організації з 1967 року працюють над розробкою специфікацій для сучасних систем рухомого радіозв'язку, які б найкраще відповідали вимогам правоохоронних організацій і служб суспільної безпеки.

До керівного комітету також входять представники NTIA (National Telecommunications and Information Administration – Адміністрація Національної Інформації й Телекомунікацій), NCS (National Communications System – Національні Комунікаційні Системи) і DoD (Department of Defense – Департамент Оборони).

Першою значною подією в історії Асоціації була розробка наприкінці сімдесятих років першої специфікації на системи радіозв'язку – APCO 16. У рамках її вимог функціонують такі відомі системи як, EDACS (Ericsson), Clearchannel LTR (E.F. Johnson), SmartNet (Motorola) і ряд інших. Як видно з переліку, вимоги стандарту не забезпечували якої-небудь сумісності ні між системами, ні між устаткуванням.

Проект, що одержав офіційний номер 25, був покликаний усунути сформовану плутанину в стандартах, протоколах і системах, а також визначити методи побудови систем зв'язку, які б щонайкраще відповідали завданням служб суспільної безпеки.

APCO Project 25 (далі APCO 25) – перелік технічних вимог стандарту цифрового транкового радіозв'язку.

Роботи зі створення стандарту були розпочаті наприкінці 1989 р., а останні документи по встановленню стандарту були затверджені й підписані в серпні 1995 р. на міжнародній конференції й виставці APCO у Детройті. У цей час стандарт включає всі основні документи, що визначають принципи побудови радіоінтерфейсу та інших системних інтерфейсів, протоколи шифрування, методи мовного кодування тощо.

В 1996 р. було ухвалене рішення про поділ всіх специфікацій стандарту на два етапи реалізації, які були позначені як Фаза I і Фаза II. В середині 1998 р. були сформульовані функціональні й технічні вимоги до кожної з фаз стандарту, що підкреслюють нові можливості Фази II та її відмінності від Фази I.

Основними принципами та завданнями розробки стандарту APCO 25, сформульованими його розроблювачами, були вимоги:

- забезпечення плавного переходу до засобів цифрового радіозв'язку (тобто можливості спільної роботи на початковому етапі базових станцій стандарту з абонентськими аналоговими радіостанціями, використовуваними в цей час);
- створення відкритої системної архітектури для стимулювання конкуренції серед виробників устаткування;
- забезпечення можливості взаємодії різних підрозділів служб суспільної безпеки при проведенні спільних заходів.

Із завдань Проекту особливо виділяється забезпечення «дружнього» інтерфейсу з користувачами – це перша розробка, у якій зручність і простота використання встаткування закладені в стандарт.

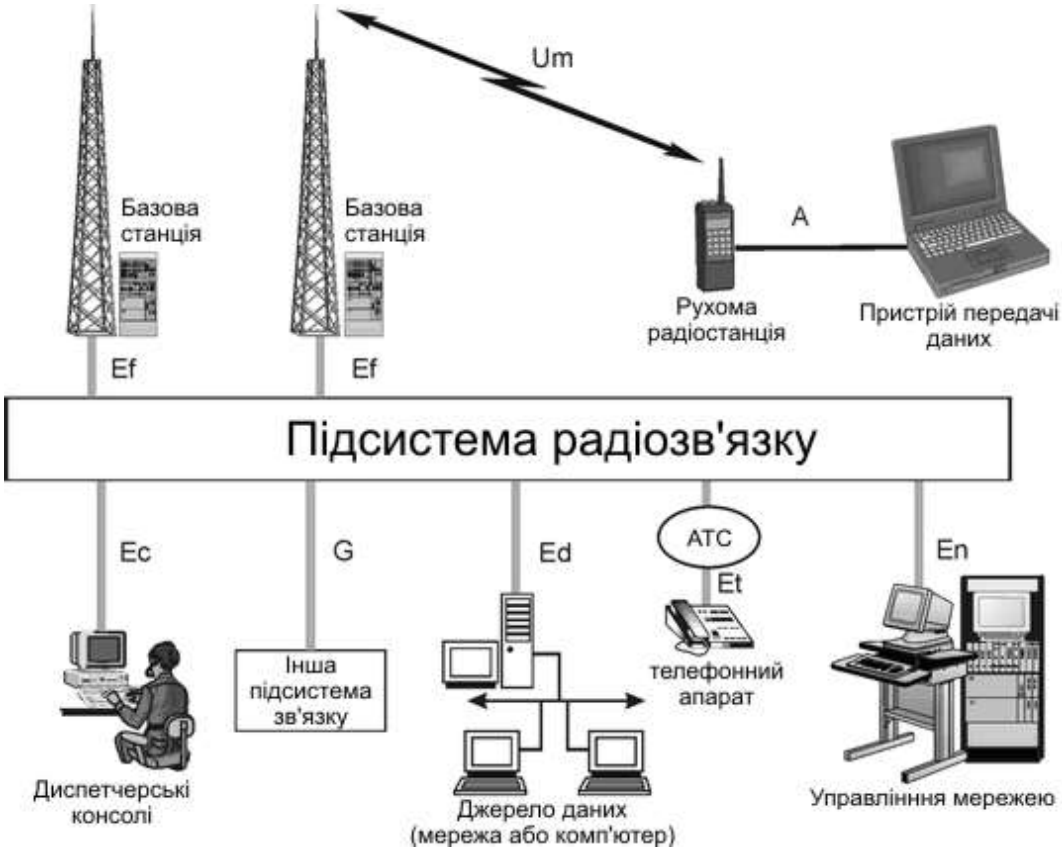

Рис. 6.24. Структура мережі APCO 25

Системна архітектура стандарту підтримує як транкові, так і звичайні (конвенціональні) системи радіозв'язку, у яких абоненти взаємодіють між собою або в режимі безпосереднього зв'язку, або через ретранслятор. Основним функціональним блоком системи стандарту APCO 25 є підсистема радіозв’язку, яку визначено як мережу зв'язку, що базується на основі однієї або декількох базових станцій (рис. 6.24). При цьому кожна базова станція повинна підтримувати *загальний радіоінтерфейс* (CRI – Common Radio Interface) і інші стандартизовані інтерфейси (рис. 6.24):

- загальний інтерфейс (Um);
- інтерфейс операторських консолей (Ec);
- інтерфейс передачі даних (Ed);
- інтерфейс зв’язку базових станцій (Ef));
- інтерфейс управління мережею (En);
- інтерфейс зв’язку з телефонною мережею (Et);
- інтерфейс міжсистемного зв’язку (G);
- інтерфейс зв’язку з портом даних (A).

Стандарт APCO 25 передбачає можливість роботи в кожному зі стандартних діапазонів частот, використовуваних системами рухомого радіозв'язку: 138-174, 406-512 або 746-869 МГц. Основний метод доступу до каналів зв'язку – частотний (TDMA), однак, за заявкою фірми Ericsson у Фазу II включена можливість використання в системах стандарту APCO 25 множинного доступу з часовим поділом каналів (FDMA).

У ході реалізації першої фази була реалізована цифрова система зв'язку, що використовує ширину частотного каналу 12,5 кГц. Друга фаза забезпечує можливість роботи в смузі 6,25 кГц. Це дозволить системам APCO 25 серйозно конкурувати із транковими мережами TETRA по спектральній ефективності (4 канали на смугу в 25 кГц). При цьому при смузі 12,5 кГц здійснюється чотирьохпозиційна частотна модуляція по методу C4FM зі швидкістю 4800 символів у секунду, а при смузі 6,25 кГц – чотирьохпозиційна фазова модуляція зі згладжуванням фази по методу CQPSK. Об’єднання зазначених методів модуляції дозволяє використати на різних фазах однакові приймачі, що доповнюються різними підсилювачами потужності (для Фази I – прості підсилювачі з високим ККД, для Фази II – підсилювачі з високою лінійністю й обмеженою шириною випромінюваного спектра). При цьому демодулятор може здійснювати обробку сигналів по кожному з методів.

Мовна інформація в радіоканалі передається кадрами по 180 мс, згрупованими по 2 кадри. Для мовного кодування в стандарті використається кодек IMBE (Improved MultiBand Excitation), що застосовується також в системі супутникового зв'язку Inmarsat. Швидкість кодування – 4400 біт/с. Після завадостійкого кодування мовної інформації швидкість інформаційного потоку збільшується до 7200 біт/с, а після формування мовних кадрів шляхом додавання службової інформації – до 9600 біт/с.

Корекція помилок підвищує стійкість до перешкод і загасання сигналу при передачі по радіоканалу й дозволяє з великою вірогідністю відновлювати вихідні дані на стороні прийому. Однак використання цього механізму приводить до збільшення обсягу переданої інформації.

Що стосується обробки даних, тут можливе використання двох механізмів. Більш простий складається в безпосередній модуляції переданого сигналу без його додаткової обробки. Інший механізм передбачає попередній розподіл усього обсягу даних на інформаційні

пакети невеликого розміру, які обробляються за допомогою алгоритму корекції помилок.

Кадр, утворений вокодером IMBE, містить 88 біт мовної інформації та 56 додаткових біт корекції помилок. Таким чином, повний обсяг кадру передачі мовного сигналу дорівнює 144 біт, а швидкість його передачі становить 7,2 кбіт/с. Далі кожні дев'ять кадрів голосового сигналу поєднуються в групу даних LDU, а дві групи LDU формують суперкадр (рис. 6.25). Швидкість передачі суперкадрів по радіоканалу становить 9,6 кбіт/с.

Голосовий радіозв'язок побудований на безперервній передачі послідовності суперкадрів, яким передує заголовок повідомлення. Радіозв'язок завжди починається з передачі заголовка цифрового повідомлення, потім посилають групи LDU, після яких йде ознака кінця повідомлення.

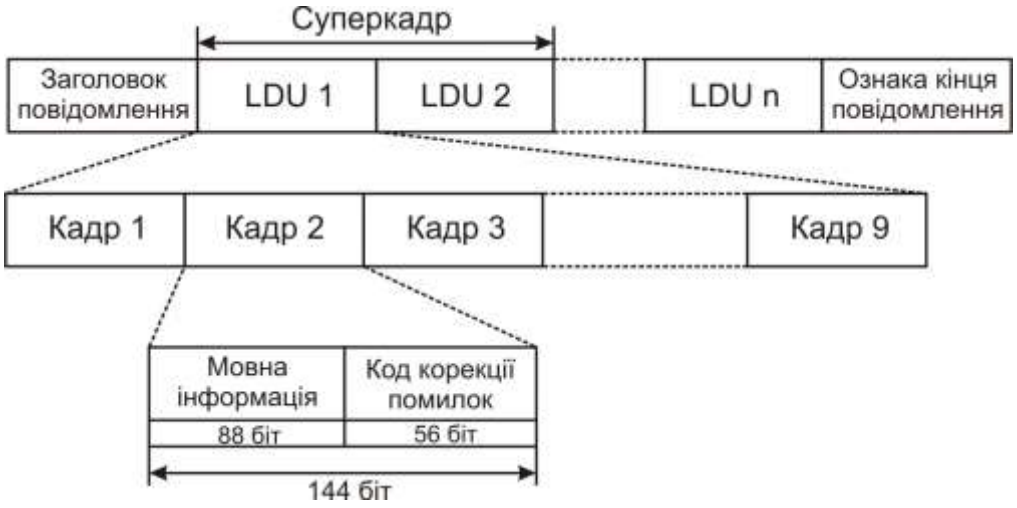

Рис. 6.25. Структура мовного повідомлення в системі APCO 25

Закладена в стандарті APCO 25 система ідентифікації абонентів дозволяє адресувати в одній мережі не менше 2 мільйонів радіостанцій і до 65 тисяч груп. При цьому затримка при встановленні каналу зв'язку в підсистемі відповідно до функціональних і технічних вимог стандарту APCO 25 не повинна перевищувати 500 мс (у режимі прямого зв'язку – 250 мс, при зв'язку через ретранслятор – 350 мс).

Системи APCO 25 відповідно до функціональних і технічних вимог повинні забезпечувати 4 рівні криптозахисту. Використовується потоковий метод шифрування інформації із застосуванням нелінійних алгоритмів формування шифрувальної послідовності. При використанні спеціального режиму OTAR (Over-the-air-re-keying) ключі шифрування можуть передаватися по радіоканалу.

У зв'язку з тим, що основний метод доступу до каналів зв'язку в APCO – FDMA, на даний момент немає терміналів, які забезпечували б роботу абонента в режимі повного дуплекса.

Незважаючи на те, що APCO є міжнародною організацією, представництва якої є в Канаді, Австралії, Карибському регіоні, основну роль у просуванні цього стандарту відіграють американські фірми, підтримувані урядом США. До числа учасників суспільного сектора Асоціації відносяться ФБР, Міністерство оборони США, Федеральний комітет зв'язку, поліції ряду штатів США, Секретна служба й багато інших державних організацій. Як виробники устаткування стандарту APCO 25 уже показали себе такі провідні фірми, як Motorola (основний розроблювач стандарту), E.F.Johnson, Transcrypt, Stanlite Electronics й інші. Фірма Motorola уже представила свою першу систему, засновану на стандарті APCO 25, яка має назву ASTRO.

Найбільшу зацікавленість до даного стандарту проявляють фахівці МВС Росії. Пілотна мережа на основі двох базових станцій була розгорнута МВС Росії в Москві в 2001 р. В 2003 р. у Санкт-Петербурзі до 300-річчя міста була розгорнута мережа диспетчерського радіозв'язку на 300 абонентів для різних силових структур.

Система Tetrapol

Роботи зі створення стандарту цифрового транкового радіозв'язку Tetrapol були розпочаті в 1987 р., коли фірма Matra Communications уклала контракт з французькою жандармерією на розробку та введення в експлуатацію мережі цифрового радіозв'язку Rubis. Мережа зв'язку була введена в експлуатацію в 1994 р. За даними фірми Matra на сьогоднішній день мережа французької жандармерії охоплює більше половини території Франції та обслуговує більше 90 тис. абонентів. У тому ж 1994 р. фірма Matra створила свій форум Tetrapol, під егідою якого були розроблені специфікації Tetrapol PAS (Publicly Available Specifications), які визначають стандарт цифрового транкового радіозв'язку.

Архітектура цифрової транкової системи Tetrapol нагадує МРТ 1327: кожна базова станція управляє певним числом каналів, один із яких є керуючим (контрольним), а інші слугують для передачі інформації абонентів (рис. 6.26).

Система Tetrapol ґрунтується на множинному доступі з частотним поділом (FDMA). Це значить, що для кожного сеансу зв'язку виділяється окремий частотний радіоканал.

Стандартно Tetrapol використовує частотні канали шириною 12,5 кГц, хоча за замовленням може бути запропонований 10 кГц варіант.

Використовуваний метод доступу FDMA (відповідно до технологічних і фізичних особливостей) впливає на розмір зон охоплення однієї базової станції, дозволяючи зменшити їхню кількість і, отже, знизити вартість системи. Більш ефективне (у порівнянні з TETRA) використання FDMA в умовах складного рельєфу місцевості, оскільки метод частотного доступу стійкіший до інтерференції та затримок при проходженні сигналів.

Tetrapol з початку розробки був орієнтований на використання службами суспільної безпеки, що не могло не позначитися на вирішенні питань надійності й захищеності зв'язку.

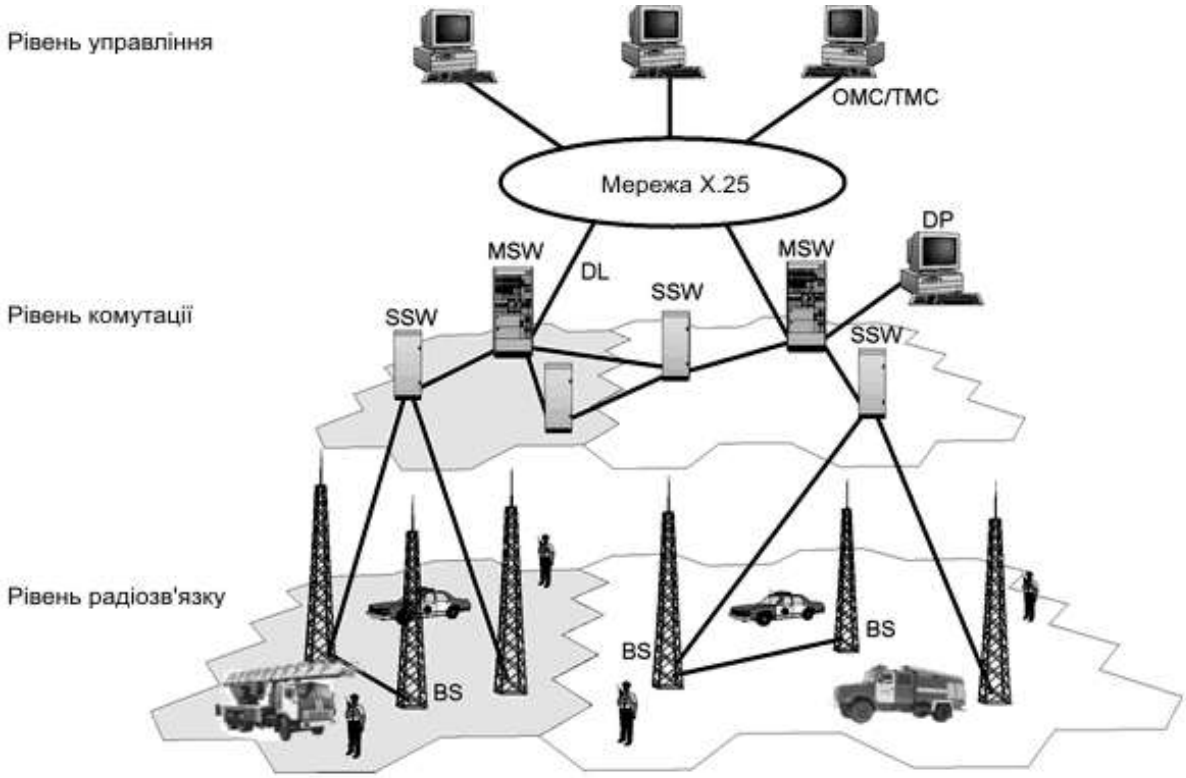

Рис. 6.26. Принцип побудови мереж зв'язку Tetrapol:
MSW – головний комутатор системи; SSW – вторинний комутатор; BS – базова станція; OMC – оперативний обслуговуючий комп'ютер; TM – технічне управління; DP – диспетчерський центр; DL – G.703 2-х Мбіт/с цифрова лінія зв'язку або один PCM слот.

По визначенню Форуму Tetrapol: «Ключовими відмінностями Tetrapol і TETRA є орієнтація на різні сектори ринку. Системи Tetrapol насамперед призначені для зв'язку служб суспільної безпеки, у той час як TETRA створювалася, в основному, з ініціативи операторів комерційних мереж зв'язку. Таким чином, TETRA і Tetrapol скоріше доповнюють одна одну, чим конкуруючі системи. Аналогічна ситуація спостерігається й на американському ринку, де проект APCO 25 (FDMA) і iDEN (TDMA) – є відповідними цифровими рішеннями для служб суспільної безпеки й для комерційних мереж».

Стандарт Tetrapol описує цифрову транкову систему радіозв'язку з виділеним каналом керування і частотним методом поділу каналів зв'язку. Стандарт дозволяє створювати як однозонові, так і багатозонові мережі зв'язку різної конфігурації, забезпечуючи також можливість прямого зв'язку між рухомими абонентами без використання інфраструктури мережі і ретрансляції сигналів на фіксованих каналах.

Системи зв'язку стандарту Tetrapol мають можливість роботи в діапазоні частот від 70 до 520 МГц, що у відповідності зі стандартом визначається як сукупність двох піддіапазонів: нижче 150 МГц (VHF) і

вище 150 МГц (UHF). Більша частина радіоінтерфейсів для систем цих піддіапазонів є загальною, розходження полягає у використанні різних методів завадостійкого кодування та кодового перемежування. В піддіапазоні UHF рекомендоване дуплексне рознесення каналів прийому і передачі становить 10 МГц.

Частотне рознесення між сусідніми каналами зв'язку може становити 12,5 або 10 кГц. Надалі передбачається перехід до розносу між каналами в 6,25 кГц. В системах стандарту Tetrapol підтримується ширина смуги до 5 МГц, що забезпечує можливість використання в мережі 400 (при рознесенні 12,5 кГц) або 500 (при рознесенні 10 кГц) радіоканалів. При цьому в кожній зоні може використовуватися від 1 до 24 каналів.

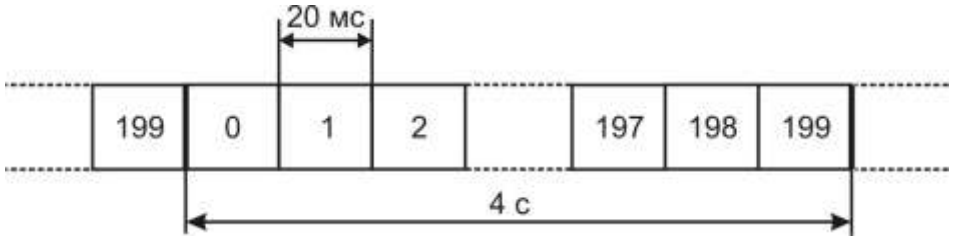

Рис. 6.27. Структура кадру системи Tetrapol

Швидкість передачі інформації в каналі зв'язку становить 8000 біт/с. Передача інформації організовується по кадрам довжиною 160 біт і тривалістю 20 мс (рис. 6.27). Кадри поєднуються в суперкадри тривалістю 4 с (200 кадрів). Інформація проходить складну обробці, що включає розгорткове кодування, перемежування, скремблювання, диференціальне кодування і остаточне форматування кадру.

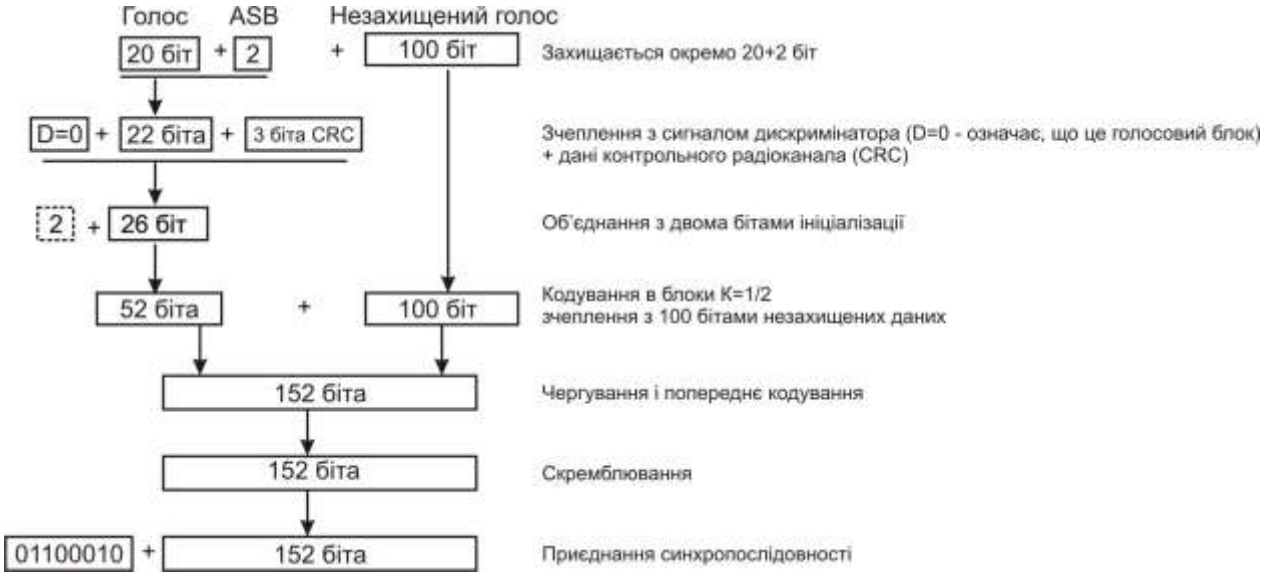

Рис. 6.28. Процес формування кадру для передачі мовного сигналу

На рис. 6.28 показано процес формування інформаційного кадру, який відповідає передачі голосової інформації. ASB (Associated Signalling Bits) – біти, асоційовані з типом інформації.

У системах стандарту Tetrapol використовується GMSK модуляція.

Для перетворення мови в стандарті застосовується кодек з алгоритмом мовоперетворення, що використовує метод аналізу через синтез типу RPCELP (Regular Pulse Code Excited Linear Prediction). Швидкість перетворення становить 6000 біт/с.

У стандарті визначаються три основних режими зв'язку: транковий, режим прямого зв'язку і режим ретрансляції.

У *мережному режимі* (або режимі транкового зв'язку) взаємодія абонентів здійснюється за допомогою базових станцій (БС), які розподіляють канали зв'язку між абонентами. При цьому сигнали керування передаються по окремому, спеціально виділеному для кожної БС частотному каналі. У *режимі прямого зв'язку* обмін інформацією між рухомими абонентами здійснюється без участі базової станції. У *режимі ретрансляції* зв'язок між абонентами здійснюється через ретранслятор, що має фіксовані канали передачі й прийому інформації.

У системах стандарту Tetrapol підтримується 2 основних види інформаційного обміну: передача мови і передача даних.

Служби мовного зв'язку дозволяють здійснювати наступні види викликів: широкомовний виклик, виклик установки відкритого каналу, груповий виклик, індивідуальний виклик, множинний виклик з використанням списку абонентів, аварійний виклик.

Служби передачі даних надають ряд послуг прикладного рівня, підтримуваних закладеними в радіотерміналах функціями, таких як міжабонентський обмін повідомленнями відповідно до протоколу X.400, доступ до централізованих баз даних, доступ до фіксованих мереж відповідно до протоколу TCP/IP, передача факсимільних повідомлень, пересилання файлів, передача сигналів персонального виклику, передача коротких повідомлень, передача статусних викликів, підтримка режиму передачі одержуваних за допомогою приймачів GPS даних про місце розташування об'єкта, передача відеозображень.

У стандарті Tetrapol передбачені стандартні мережні процедури, що забезпечують сучасний рівень обслуговування абонентів: динамічне перегрупування, аутентифікація абонента, роумінг, пріоритетний виклик, керування передавачем абонента, керування «профілем» абонента (дистанційна зміна параметрів абонентського радіотерміналу, закладених у нього при програмуванні) тощо.

Системи стандарту Tetrapol надають користувачам ряд додаткових послуг, які, поряд з наданням сервісних послуг, дозволяють ефективно реалізовувати специфічні мережі зв'язку служб суспільної безпеки та правоохоронних органів. До числа таких послуг відносяться пріоритет доступу (надання кращого доступу в систему при перевантаженні каналів радіозв'язку); пріоритетний виклик (присвоєння викликів у відповідності зі

схемою пріоритетів); пріоритетне сканування (надання користувачеві, що належить до декількох груп, можливості одержання викликів від абонента кожної із груп); виклик, санкціонований диспетчером (режим, при якому виклики надходять тільки із санкції диспетчера мережі зв'язку); переадресація виклику (безумовне перенаправлення виклику іншому абонентові або переадресація у випадку зайнятості викликуваного абонента); підключення до виклику (включення режиму, при якому один користувач, взаємодіючий з іншим, може зробити учасником з'єднання третього абонента); вибіркове прослуховування (перехоплення вступного виклику без впливу на роботу інших абонентів); дистанційне прослуховування (дистанційне включення абонентської радіостанції на передачу для прослуховування обстановки в абонента); ідентифікація викличної сторони (визначення й відображення на терміналі викликуваного абонента ідентифікатора викличної сторони); «подвійне спостереження» (можливість абонентського радіотерміналу, що працює в мережному режимі, одержувати також повідомлення і у режимі прямого зв'язку) тощо.

У зв'язку з тим, що стандарт Tetrapol був орієнтований на забезпечення вимог правоохоронних органів, у ньому передбачені різні механізми забезпечення безпеки зв'язку, спрямовані на запобігання таким загрозам, як несанкціонований доступ у систему, прослуховування переговорів, що ведуться, створення навмисних перешкод, аналіз трафіка конкретних абонентів тощо. До числа таких механізмів відносяться:

- *автоматична реконфігурація мережі* (періодичний перерозподіл ресурсів мережі зв'язку (зміна конфігурації) за рахунок установки та скасування відкритих каналів, динамічного перегрупування, перепризначення каналів зв'язку диспетчером мережі тощо);
- *керування доступом у систему* (контроль доступу до встаткування мережі зв'язку за допомогою смарт-карт і системи паролів);
- *наскрізне шифрування інформації* (забезпечення можливості захисту переданої інформації в будь-якій точці лінії зв'язку між абонентами);
- *аутентифікація абонентів* (автоматична або проведення по запиту диспетчера мережі посвідчення дійсності абонентів);
- *використання часових ідентифікаторів абонентів* (заміна унікальних ідентифікаційних номерів абонентів на псевдоніми, змінювані при кожному новому сеансі зв'язку);
- *імітація активності радіоабонентів* (режим підтримки постійного трафіка при перерві у веденні переговорів шляхом посилки БС по каналам зв'язку сигналів, які важко відрізнити від інформаційних);

- *дистанційне відключення радіотерміналу* (можливість відключення абонентського *радіотерміналу* диспетчером мережі);
- *розповсюдження ключів по радіоканалу* (можливість передачі диспетчером мережі секретних ключів абонентам по радіоканалу).

Системи стандарту Tetrapol широко використовуються у Франції, Швейцарії, Німеччині, Румунії, ряді інших Європейських країн, країнах Південної Америки та Південно-Східної Азії.

Постановою Кабінету Міністрів України «Про створення національної системи мобільного конфіденційного радіозв'язку» від 21.04.99 №650 для національної системи мобільного конфіденційного радіозв'язку обрано стандарт радіозв'язку «Tetrapol» фірми «Matra Nortel Communication». Ця система транкового зв'язку згідно постанови повинна забезпечувати оперативним конфіденційним зв'язком тільки керівництво МВС, ГУМВС, УМВС, УМВСТ.

Система iDEN

Технологія iDEN (integrated Digital Enhanced Network) була розроблена компанією Motorola на початку 90-х років. Перша комерційна система на базі цієї технології була розгорнута в США компанією NEXTEL в 1994 р.

З погляду статусу стандарту iDEN його можна охарактеризувати як корпоративний стандарт із відкритою архітектурою. Це означає, що компанія Motorola, зберігаючи за собою усі права по модифікації системного протоколу, надає разом з тим ліцензії на виробництво компонентів системи різним виробникам.

Даний стандарт розроблявся для реалізації інтегрованих систем, що забезпечують всі види рухомого радіозв'язку: диспетчерського зв'язку, мобільного телефонного зв'язку, передачі текстових повідомлень і пакетів даних. Технологія iDEN орієнтована на створення корпоративних мереж великих організацій або комерційних систем, що надають послуги як організаціям, так і приватним особам.

При реалізації диспетчерських мереж рухомого радіозв'язку iDEN надає можливості групового й індивідуального виклику, а також режиму сигналізації виклику, при якому у випадку неприступності абонента виклик запам'ятовується в системі, а потім передається абонентові, коли той стає доступним. Число можливих груп в iDEN становить 65535. Час встановлення зв'язку при груповому виклику в напівдуплексному режимі не перевищує 0,5 с.

Системи iDEN надають можливості організації телефонного зв'язку в будь-яких напрямках: мобільний абонент-мобільний абонент, мобільний абонент-абонент ТфМЗК. Телефонний зв'язок повністю дуплексний. У системі передбачена можливість голосової пошти.

Абоненти систем iDEN мають можливість передавати й одержувати на свої термінали текстові повідомлення, а також передавати дані (у комутаційному режимі зі швидкістю 9,6 кбіт/с, а в пакетному – до 64 кбіт/с), що забезпечує можливість організації факсимільного зв'язку та електронної пошти, а також взаємодії з фіксованими мережами, зокрема з Internet. Пакетний режим передачі даних підтримує протокол TCP/IP.

Система iDEN виконана на базі технології TDMA. У кожному частотному каналі шириною 25 кГц передається 6 мовних каналів. Це досягається шляхом розбивання кадру тривалістю 90 мс на часові інтервали по 15 мс, у кожному з яких передається інформація для свого каналу.

Для мовного кодування використовується кодек, що працює по алгоритму типу VSELP. Швидкість передачі інформації в одному каналі становить 7,2 кбіт/с, а сумарна швидкість цифрового потоку в радіоканалі (за рахунок використання завадостійкого кодування й додавання керуючої інформації) досягає 64 кбіт/с. Настільки високої швидкості передачі інформації в смузі 25 кГц вдається досягти за рахунок застосування 16-позиційної квадратурної модуляції M16-QAM.

У стандарті використовується стандартний для Америки й Азії частотний діапазон 805-821/855-866 МГц. IDEN має найвищу спектральну ефективність серед розглянутих стандартів цифрового транкового зв'язку, він дозволяє розмістити в 1 МГц до 240 інформаційних каналів. Разом з тим, розміри зон покриття базових станцій у системах iDEN менші, ніж у системах інших стандартів, що пояснюється малою потужністю абонентських терміналів (0,6 Вт – для портативних станцій та 3 Вт – для мобільних).

Архітектурі системи iDEN властиві риси, характерні як для транкових, так і для стільникових систем, що пояснюється орієнтацію iDEN на обслуговування великої кількості абонентів та інтенсивний трафік. При створенні комерційних систем для обслуговування різних організацій або підприємств у системі може бути створено до 10000 віртуальних мереж, у кожній з яких може бути до 65500 абонентів, об'єднаних при необхідності в 255 груп. При цьому кожна із груп абонентів може використовувати всю зону зв'язку, забезпечувану даною системою.

Перша комерційна система, розгорнута в 1994 р. компанією NEXTEL, у наш час є загальнонаціональною і нараховує близько 5500 сайтів та 2,7 млн. абонентів. У США є інша мережа, оператором якої є компанія Southern Co. Мережі iDEN розгорнуті також у Канаді, Бразилії, Мексиці, Колумбії, Аргентині, Японії, Сінгапурі, Китаєві, Ізраїлі та інших країнах. Загальне число абонентів iDEN у світі на сьогодні перевищує 3 млн. чоловік.

В Україні системи iDEN не розгорнуті і немає відомостей про розробку проектів мереж даного стандарту.

6.4.6. Короткий порівняльний аналіз стандартів цифрового радіозв'язку

Технічні характеристики й функціональні можливості. Узагальнені відомості про системи стандартів EDACS, TETRA, APCO 25, Tetrapol, iDEN та їхні технічні характеристики представлені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7.Основні характеристики цифрових транкових систем [12]

Характеристика стандарту (системи) зв'язку	**EDACS**	**TETRA**	**APCO25**	**Tetrapol**	**IDEN**
1	2	3	4	5	6
Розроблювач стандарту	Ericsson (Швеція)	ETSI	APCO	Matra Communications (Франція)	Motorola
Статус стандарту	корпоративний	відкритий	відкритий	корпоративний	корпоративний з відкритою архітектурою
Основні виробники радіозасобів	Ericsson	Nokia, Motorola, OTE, Rohde&Schwarz	Motorola, E.F.Johnson Inc., Transcrypt, ADI Limited	Matra, Nortel,CS Telecom	Motorola
Можливий діапазон робочих частот, МГц	138-174; 403-423; 450-470; 806-870	138-174; 403-423; 450-470; 806-870	138-174; 406-512; 746-869	70-520	805-821/ 855-866
Рознесення між частотними каналами, кГц	25; 12,5 (передача даних)	8	12,5; 6,25	12,5; 10	25
Ефективна смуга частот на один мовний канал, кГц	25	6,25	12,5; 6,25	12,5; 10	4,167
Вид модуляції	FM	p/4-DQPSK	C4FM (12,5 кГц) CQPSK (6,25 кГц)	GMSK (BT=0,25)	M16-QAM
Метод мовного кодування та швидкість мовоперетворення	адаптивне багаторівневе кодування (перетворення 64 кбіт/с і компресія до 9,2 кбіт/с)	CELP (4,8 кбіт/с)	IMBE (4,4 кбіт/с)	RPCELP (6 кбіт/с)	VSELP (7,2 кбіт/с)
Швидкість передачі інформації в каналі, біт/с	9600	7200 (28800– при передачі 4-х інформаційних каналів на одній фізичній частоті)	9600	8000	9600 (до 64000 при передачі даних у пакетному режимі)
Час встановлення каналу зв'язку, с	0,25 (в однозоновій системі)	0,2 – при індив. виклику (min); 0,17 – при груповому виклику (min)	0,25 – в режимі прямого зв'язку; 0,35 – в режимі ретрансляції; 0,5 – в радіо-підсистемі	не більше 0,5	не більше 0,5

Продовження таблиці 6.7

1	2	3	4	5	6
Метод поділу каналів зв'язку	FDMA	TDMA (з використанням частотного поділу в багатозонових системах)	FDMA	FDMA	TDMA
Вид каналу керування	виділений	виділений або розподілений (залежно від конфігурації мережі)	виділений	виділений	Виділений або розподілений (залежно від конфігурації мережі)
Можливості шифрування інформації	стандартний фірмовий алгоритм наскрізного шифрування	1) стандартні алгоритми; 2) наскрізне шифрування	4 рівні захисту інформації	1) стандартні алгоритми; 2) наскрізне шифрування	немає відомостей

Функціональні можливості, які надаються системами стандартів цифрового транкового радіозв'язку, представлені в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8.Основні функціональні характеристики цифрових транкових систем [12]

№ з/п	**Функціональні можливості системи зв'язку**	**EDACS**	**TETRA**	**APCO 25**	**Tetrapol**	**IDEN**
1	Підтримка основних видів виклику (індивід., груповий, віщальний)	+	+	+	+	+
2	Вихід на ТфМЗК	+	+	+	+	+
3	Повнодуплексні абонентські термінали	+	+	-	-	+
4	Передача даних і доступ до централізованих баз даних	+	+	+	+	+
5	Режим прямого зв'язку	+	+	+	+	н/в
6	Автоматична реєстрація мобільних абонентів	+	+	+	+	+
7	Персональний виклик	-	+	+	+	+
8	Доступ до фіксованих мереж IP	+	+	+	+	+
9	Передача статусних повідомлень	+	+	+	+	+
10	Передача коротких повідомлень	-	+	+	+	+
11	Підтримка режиму передачі даних про місце розташування від системи GPS	+	+	н/в	+	н/в
12	Факсимільний зв'язок	-	+	+	+	+
13	Можливість установки відкритого каналу	-	+	н/в	+	-
14	Множинний доступ з використанням списку абонентів	-	+	+	+	+
15	Наявність стандартного режиму ретрансляції сигналів	н/в	+	+	+	+
16	Наявність режиму «подвійного спостереження»	-	+	н/в	+	н/в

Примітка: (н/в – немає відомостей)

Розглядаючи технічні характеристики й функціональні можливості представлених стандартів транкового зв'язку, можна відзначити, що всі стандарти мають високі (відносно даного класу систем рухомого радіозв'язку) технічні показники. Вони дозволяють будувати різні конфігурації мереж зв'язку, забезпечують різноманітні режими передачі мови і даних, зв'язок із ТфМЗК і фіксованими мережами. У засобах радіозв'язку даних стандартів використовуються ефективні методи мовоперетворення та завадостійкого кодування інформації. Всі стандарти забезпечують високу оперативність зв'язку.

Можна відзначити, що в порівнянні з іншими стандартами EDACS має меншу спектральну ефективність. Крім того, деякі фахівці відзначають, що в стандарті EDACS не використовуються цифрові методи модуляції, що дозволяє говорити про нього як про стандарт, у якому здійснюється передача оцифрованої мовної інформації з аналогового каналу зв'язку.

По функціональним можливостям стандарт EDACS також у певному ступені поступається іншим трьом стандартам, тому що він був розроблений трохи раніше. Стандарти TETRA, APCO 25, Tetrapol та iDEN специфікують широкий спектр стандартних послуг зв'язку, які за рівнем однакові між собою (як правило, перелік послуг, які надаються, визначається при проектуванні конкретної системи або мережі радіозв'язку).

Виконання спеціальних вимог до систем радіозв'язку служб суспільної безпеки.

Інформація про наявність деяких специфічних послуг зв'язку, орієнтованих на використання представниками служб суспільної безпеки, представлена в таблиці 6.9. Стандарт iDEN не розглядається, тому що цей стандарт розроблявся без врахування спеціальних вимог служб суспільної безпеки. У цей час з'являються лише окремі відомості про спроби адаптації систем даного стандарту до спеціальних вимог.

Оскільки представлені в таблиці стандарти розроблялися для служб суспільної безпеки, всі вони забезпечують виконання більшості вимог, висунутих до спеціальних систем зв'язку, що можна бачити по таблиці 6.9. Представлені цифрові стандарти забезпечують високу оперативність зв'язку (час доступу для всіх систем – не більше 0,5 с) і передбачають можливості підвищення відмовостійкості мереж радіозв'язку завдяки гнучкій архітектурі. Всі стандарти дозволяють реалізувати захист інформації: для систем TETRA і Tetrapol стандарти передбачають можливість використання як стандартного алгоритму шифрування, так й оригінальних алгоритмів завдяки наскрізному шифруванню; у системах EDACS можна використати стандартний фірмовий алгоритм або спеціально погодити з фірмою можливість застосування власної системи захисту; відповідно до функціональних і технічних вимог до систем стандарту APCO 25 повинно забезпечуватися 4 рівні захисту інформації (з яких тільки один може бути призначений для експортованих застосувань).

Таблиця 6.9. Основні характеристики цифрових транкових систем

№ з/п	Спеціальні послуги зв'язку	EDACS	TETRA	APCO 25	Tetrapol
1	Пріоритет доступу	+	+	+	+
2	Система пріоритетних викликів	+	+	+	+
3	Динамічне перегрупування	+	+	+	+
4	Вибіркове прослуховування	+	+	+	+
5	Дистанційне прослуховування	-	+	н/в	+
6	Ідентифікація сторони, яка викликає	+	+	+	+
7	Виклик, санкціонований диспетчером	+	+	+	+
8	Передача ключів по радіоканалу (OTAR)	-	+	+	+
9	Імітація активності абонентів	-	-	-	+
10	Дистанційне відключення абонента	н/в	+	+	+
11	Аутентифікація абонентів	н/в	+	+	+

При розгляді переліку спеціальних послуг, які надаються кожним стандартом зв'язку можна відзначити, що стандарти TETRA, APCO 25, Tetrapol забезпечують однаковий рівень спеціальних послуг, а EDACS – трохи нижчий. Стандарт iDEN не передбачений для надання спеціальних вимог.

Ресурси радіочастотного спектра

Наявність ресурсів радіочастотного спектра (РЧС) для розгортання системи радіозв'язку є найважливішим критерієм вибору тієї або іншої системи. У цьому випадку найбільш перспективні стандарти, які забезпечують можливість побудови мереж зв'язку в найбільш широкому діапазоні.

Системи EDACS реалізуються в діапазонах 138-174, 403-423, 450-470 й 806-870 МГц, причому є відомості про діючі мережі радіозв'язку у всіх діапазонах.

Системи TETRA допускають використання наступних діапазонів: 380-385/390-395, 410-430/450-470 МГц та 806-870 МГц.

Системи APCO 25 відповідно до функціональних і технічних вимог забезпечують можливість роботи в кожному з діапазонів, відведених для рухомого радіозв'язку.

Стандарт Tetrapol обмежує верхню частоту своїх систем на рівні 520 МГц.

Системи стандарту iDEN функціонують лише в діапазоні 800 МГц, що обмежує їхнє використання для побудови певного кола систем.

Слід зазначити, що виділення ресурсів радіочастотного спектра для побудови систем цифрового транкового радіозв'язку найбільш реальне в діапазоні 400 МГц.

Статус стандарту (відкритий/закритий)

При виборі стандарту радіозв'язку обов'язково необхідно враховувати інформацію про те, чи є стандарт відкритим або корпоративним (закритим).

Корпоративні стандарти (EDACS і Tetrapol) є власністю їхніх розроблювачів. Придбання встаткування можливе тільки в обмеженого кола виробників.

Відкриті стандарти, до яких відносяться TETRA й APCO 25, забезпечують створення конкурентного середовища, залучення великої кількості виробників базового устаткування, абонентських радіостанцій, тестової апаратури для випуску сумісних радіозасобів, що сприяє зниженню їхньої вартості. Доступ до специфікацій стандартів надається будь-яким організаціям і фірмам, що вступили у відповідну асоціацію. Користувачі, які обирають відкритий стандарт радіозв'язку, не потрапляють в залежність від єдиного виробника й можуть змінювати постачальників устаткування. Відкриті стандарти користуються підтримкою з боку державних і правоохоронних структур, великих компаній багатьох країн світу, а також підтримуються провідними світовими виробниками елементної і вузлової бази.

Висновок.

Короткий порівняльний аналіз даних стандартів цифрового транкового радіозв'язку по основним розглянутим критеріям дозволяє зробити певні висновки про перспективність їхнього розвитку як у світі, так і в Україні.

Стандарт EDACS практично не має перспектив розвитку. У порівнянні з іншими стандартами, він має меншу спектральну ефективність і менш широкі функціональні можливості. Компанія Ericsson не планує розширювати можливості стандарту і практично згорнула виробництво устаткування.

Стандарт iDEN не передбачає багатьох спеціальних вимог, а також, незважаючи на високу спектральну ефективність, обмежений необхідністю використання діапазону 800 МГц. Ймовірно, що системи даного стандарту мають певний потенціал і будуть ще розгортатися й експлуатуватися, особливо в Північній і Південній Америці. В інших регіонах перспективи розгортання систем даного стандарту виглядають сумнівними.

Стандарт Tetrapol має гарні технічні показники й достатні функціональні можливості, однак так як і стандарти EDACS та iDEN, не має статус відкритого стандарту, що може істотно стримувати його розвиток в технічному плані, а також в частині вартості абонентського й стаціонарного встаткування.

Стандарти TETRA та APCO 25 мають високі технічні характеристики й широкі функціональні можливості, включаючи виконання спеціальних вимог силових структур, мають достатню спектральну ефективність. Однією з головних переваг цих систем є наявність статусу відкритих стандартів.

У той же час, більшість експертів схиляється до думки, що ринок цифрового транкового радіозв'язку буде завойований стандартом TETRA. Даний стандарт користується широкою підтримкою більшості великих

світових виробників устаткування і адміністрацій зв'язку різних країн. Останні події на вітчизняному ринку професійного радіозв'язку дозволяють зробити висновок, що і в Україні даний стандарт одержить найбільш широке поширення.

Згідно «Концепції розвитку електрозв’язку МВС України до 2010 року» затвердженої наказом МВС України №425 від 27 червня 2000 р., яка була прийнята в той час коли підрозділи пожежної охорони входили до складу МВС, перспективним визначено відкритий стандарт цифрового транкового зв’язку TETRA. Зважаючи на можливості протоколу об’єднувати віртуальні мережі зв’язку різних відомств (служб), використання протоколу TETRA є умовою створення єдиної диспетчерської служби «112», яка об’єднає оперативно-диспетчерські служби МНС, МВС, невідкладної медичної допомоги тощо.

РОЗДІЛ 7. ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В ГАРНІЗОНІ ОРС ЦЗ

7.1. Призначення і особливості організації радіозв'язку

Зв'язок у МНС України є одним з головних засобів, що забезпечує постійне управління аварійно-рятувальними підрозділами [16].

З урахуванням адміністративно-територіального поділу України визначено чотири рівні управління аварійно-рятувальними підрозділами МНС.

До першого рівня належать служби та підрозділи центрального апарату МНС. Другий рівень складають ГУ(У)МНС. До третього рівня належать загони та самостійні аварійно-рятувальні частини міст та районів області. Четвертий рівень складають підпорядковані аварійно-рятувальні частини (державні та професійні), які входять до складу аварійно-рятувальних загонів.

Загальне керівництво службою телекомунікаційних систем та інформаційних технологій МНС покладається на заступника міністра України МНС, а в ГУ(У)МНС України в областях – на начальників (заст. начальників) ГУ(У)МНС.

Безпосереднє керівництво по організації, використанню та технічному обслуговуванню систем оповіщення, засобів зв'язку, обчислювальної техніки та програмного забезпечення здійснюють в МНС начальник управління зв'язку та оповіщення. В ГУ(У)МНС – начальники відділів (секторів) зв'язку, оповіщення та АСУ.

Найважливішими завданнями зв'язку у МНС є:

- оперативний та якісний прийом і передача повідомлень про пожежі, аварії та стихійні лиха;
- своєчасне надсилання необхідних сил і засобів для ліквідації НС та її наслідків;
- постійне управління підрозділами, що слідують до місця НС, які працюють на ліквідації НС, та при вирішенні адміністративно-управлінських завдань;
- інформування відповідних посадових осіб і організацій про виникнення НС та хід її ліквідації (міліцією, медичною допомогою, газо-аварійною, енергетичною, водопровідною службами тощо);
- обмін інформацією між аварійно-рятувальними підрозділами та іншими службами, що взаємодіють із МНС;
- забезпечення управління силами й засобами служби цивільного захисту та взаємодію з військовими частинами, штабами ЦО, а також іншими міністерствами й центральними органами виконавчої влади.

Зв'язок в МНС за призначенням поділяється на такі види (рис. 7.1):

- зв'язок повідомлення, який забезпечує передачу і прийом повідомлень про НС;

- оперативно-диспетчерський зв'язок (призначений для передачі розпоряджень підрозділам; одержання інформації з місця НС; передачі інформації про НС певним особам, організаціям і міським службам; одержання повідомлень про виїзди підрозділів і повідомлень з аварійно-рятувальних автомобілів, які перебувають у шляху);
- зв'язок при ліквідації НС, що забезпечує керівництво аварійно-рятувальними підрозділами, які працюють на ліквідації НС;
- адміністративно-управлінський зв'язок.

Рис. 7.1. Види зв'язку ОРС ЦЗ України

Всі технічні засоби радіо- і провідного зв'язку ОРС ЦЗ України зосереджують в ЧЧ ОДС ОКЦ (черговій частині оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру); пунктах зв'язку загону (ПЗЗ); пунктах зв'язку частини (ПЗЧ); місцях НС; центральних пунктах радіозв'язку (ЦПР); польових вузлах зв'язку (ПВЗ); рухомих об'єктах тощо.

У порівнянні з іншими видами зв'язку радіозв'язок має ряд переваг:

- малий часом, необхідний для встановлення зв'язку;
- можливість ведення зв'язку з рухомими об'єктами;
- практична незалежність якості зв'язку на УКХ від метеорологічних умов, пори року й доби;
- можливість передачі повідомлень одночасно необмеженій кількості кореспондентів;
- здатність ведення зв'язку в місцях, де неможливо прокласти провідні лінії;
- можливість передавати нерухомі і рухомі зображення (графічну інформацію та відеозображення): плани споруд, які захищаються від НС, схеми, карти, а також плани ліквідації НС безпосередньо з місця їх виникнення.

Поряд з перевагами радіозв'язок має і ряд недоліків, які варто враховувати при його організації: не виключається можливість прослуховування передач сторонніми особами; виникають більші перешкоди при радіоприйомі в міських промислових районах; спостерігаються зони, де радіоприйом ускладнений або взагалі неможливий.

В підрозділах ОРС ЦЗ радіозв'язок використовується для оперативної передачі інформації. Нерідко він дублює телефонний зв'язок.

Радіозв'язок здійснюється на коротких та ультракоротких хвилях. Зв'язок на коротких хвилях має ряд недоліків: високий рівень індустріальних перешкод, залежність від часу доби, роки й погоди. Тому для зв'язку на далекі відстані необхідно виділяти змінні хвилі (денні й нічні). У діапазоні частот, що відведений для зв'язку, на коротких хвилях вдається розмістити малу кількість радіоканалів. Антенні пристрої КХ діапазону мають значні габарити. У зв'язку з цими недоліками КХ радіостанції використовуються в ОРС ЦЗ обмежено – тільки для зв'язку з віддаленими підрозділами, розташованими на відстані понад 50 км.

Крім того, в МНС розгорнуто КХ мережу оповіщення; в разі виникнення НС регіонального характеру може бути розгорнута мережа КХ радіозв’язку при виникненні НС, яка використовується як система зв’язку на випадок масштабних НС.

Для радіозв'язку в містах і на місці НС широко застосовуються УКХ радіостанції. Вони є основним засобом радіозв'язку ОРС ЦЗ.

Основні переваги зв'язку на УКХ полягають в наступному:

- стійкість, що практично не залежить від часу доби і погоди;
- більше низький, ніж на КХ, рівень перешкод; можливість розміщення в УКХ діапазоні більшого числа робочих каналів зв'язку;
- поширення УКХ у межах прямої видимості дозволяє використовувати без взаємних перешкод ту саму довжину хвилі для організації зв'язку у двох сусідніх гарнізонах.

УКХ радіостанції мають фіксовані робочі частоти, що забезпечують безпошукове та безпідстроювальне входження й ведення зв'язку, що підвищує оперативність передачі інформації.

Радіозв'язок може бути однобічним і двостороннім. При однобічному радіозв'язку в одному з пунктів здійснюється тільки передача, в іншому (або декількох) тільки прийом (рис. 7.2,а). При двосторонньому – передача і прийом здійснюється на кожному з пунктів. В ОРС ЦЗ в основному використовується двосторонній радіозв'язок.

Радіозв'язок між двома радіостанціями може бути симплексним, коли по черзі одна радіостанція працює на передачу, а друга на прийом (рис. 7.2,б), і дуплексним, коли радіостанції можуть працювати одночасно й на прийом, і на передачу (рис. 7.2,в).

Для симплексного зв'язку потрібна тільки одна хвиля, тому апаратури проста за будовою, легка по вазі, економічна по живленню. Завдяки зазначеним властивостям симплексний радіозв'язок знайшов широке застосування в ОРС ЦЗ. Основний недолік симплексного радіозв'язку – менша оперативність при передачі інформації, ніж при дуплексному, через те, що відсутня можливість переривати передавальну радіостанцію якщо буде потреба щось уточнити або передати своє повідомлення. Крім того, симплексний зв'язок має обмеження по виходу на телефонну мережу.

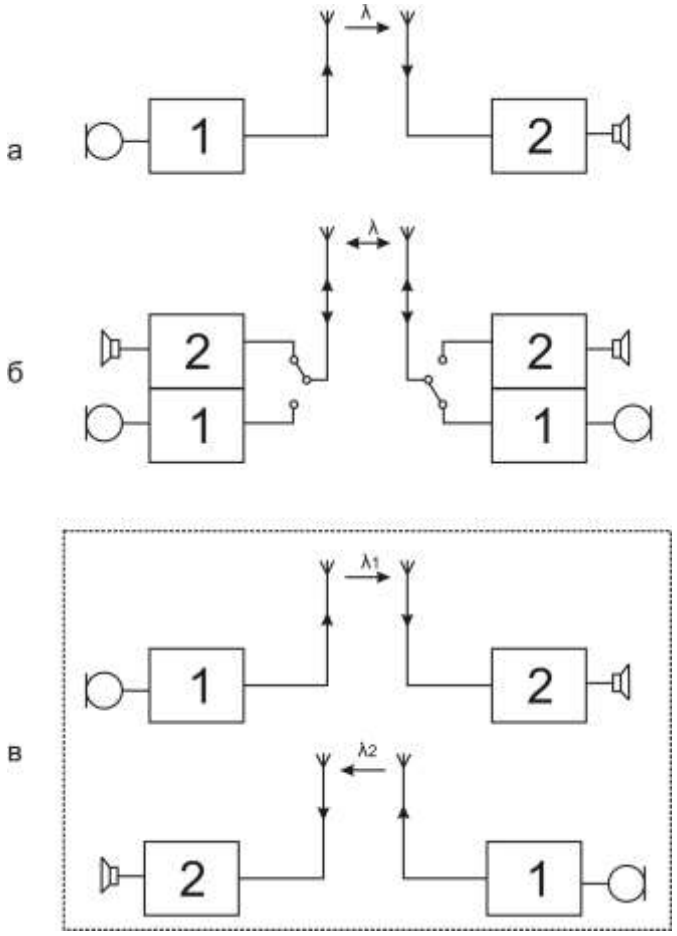

Рис. 7.2. Види радіозв'язку
а – односторонній; б – двосторонній симплексний; в – двосторонній дуплексний; 1 – передавач; 2 – приймач

Дуплексний радіозв'язок не має перерахованих вище недоліків, має більшу пропускну здатність, більш оперативний. Однак для нього необхідні два незалежні хвилі, тому апаратура дуплексного зв'язку значно складніша, і не знайшла широкого поширення [17].

Радіостанції ОРС ЦЗ поділяються на стаціонарні, возимі і носимі. При організації зв'язку в гарнізоні варто враховувати, що стаціонарні УКХ радіостанції дозволяють забезпечувати дальність зв'язку близько 40 км і встановлюються в ЧЧ ОДС ОКЦ, ПЗЗ, ПЗЧ і окремих постах. Возимі (мобільні) радіостанції забезпечують дальність зв'язку 7-15 км і можуть бути встановлені на основних і спеціальних аварійно-рятувальних автомобілях, допоміжній техніці, а також на пожежних судах.

Портативні радіостанції забезпечують дальність зв'язку 1-4 км. Ними оснащується оперативний начальницький склад штабів ліквідації НС, начальники бойових ділянок, зв'язкові, які працюють на пожежі тощо.

КХ радіостанції встановлюються в ЧЧ ОДС ОКЦ та польових (пересувних) вузлах зв'язку і забезпечують дальність зв'язку в межах всієї країни.

Варто враховувати, що на умови роботи носимих і возимих радіостанцій впливає підвищена вібрація, вплив несприятливих метеорологічних умов, підвищений рівень електричних перешкод тощо.

Специфічними вимогами, пропонованими до радіостанцій, які використовуються підрозділами ОРС ЦЗ є висока механічна міцність, вологозахищене виконання, здатність витримувати сильну тривалу тряску й вібрацію, забезпечувати надійний зв'язок в будь-який час доби при великих змінах температури навколишнього середовища і при підвищеній вологості, безпошукове входження у зв'язок і безпідстроювальне його ведення. Носимі і возимі радіостанції (у зв'язку з особливостями їхнього використання) повинні бути також економічними по живленню, мати малі габарити і вагу.

Апаратура радіозв'язку використовується широким колом посадових осіб, що перебувають як на пунктах зв'язку і рухомій техніці, так і на місцях НС. У зв'язку із цим радіостанції повинні відрізнятися простотою конструкції й зручністю в керуванні. Важливе значення має улаштування приймачів радіостанцій спеціальними шумоподавлювачами.

Радіозв'язок в ОРС ЦЗ будується по груповому принципу: на одній хвилі працюють кілька радіостанцій. Для виключення примусового прослуховування розмови в радіостанціях повинна бути передбачена система групових або індивідуального вибіркового викликів.

7.2. Організація зв'язку повідомлення

Зв'язок повідомлення покликаний забезпечувати передачу і прийом повідомлень про виникнення пожеж, аварій або стихійних лих. Здійснюється він за допомогою міського й місцевого (об'єктового) телефонного зв'язку; електричної (автоматичної й ручної) пожежної сигналізації; спеціального пожежного телефонного зв'язку, до якої можна віднести прямий телефонний зв'язок між об'єктом і пожежно-рятувальною частиною (ПРЧ) або ЧЧ ОДС ОКЦ; зв'язку зі спостережними постами, розташованими на вишках.

Зв'язок повідомлення в гарнізоні повинен бути організований так, щоб забезпечувалася максимальна швидкість повідомлень про виниклі НС до ЧЧ ОДС ОКЦ, що є центром керування пожежно-рятувальними силами й засобами в місті.

Схемою зв'язку повідомлення передбачається з'єднання ЧЧ ОДС ОКЦ із МТС за допомогою вхідних сполучних ліній, призначених спеціально для прийому повідомлень про НС. Якщо в місті існує міська автоматична телефонна станція (МАТС), зв'язок її абонентів з ЦПР і ЧЧ ОДС ОКЦ здійснюється по лініям, підключеним до спецвузлів зв'язку набором номера 01 (112).

У невеликих містах спецвузли зв'язку, як правило, об'єднані з МАТС, у великих містах – відокремлені.

Для забезпечення оперативності зв'язку повідомлення здійснюється:

- установка на ПЗЧ телефонного комутатора або телефонів міської (об'єктової) мережі, призначених спеціально для прийому повідомлень про НС від населення й працівників об'єктів, розташованих у районі виїзду даної частини;
- установка на ПЗЧ телефонів міської (або об'єктової) мережі, спеціально призначених для прийому повідомлень про НС з телефонних апаратів від населення та з об'єктів, розташованих у районі виїзду даної пожежно-рятувальної частини. У цьому випадку повідомлення про пожежу здійснюється набором номера 01, або набором іншого встановленого коду, наприклад 22-01, або заявою номера телефону даної пожежно-рятувальної частини;
- установка в пожежно-рятувальних частинах і ЧЧ ОДС ОКЦ спеціальних систем електричної пожежної сигналізації для прийому повідомлень про пожежі й для зв'язку з найбільш пожежонебезпечними й важливими об'єктами;
- з'єднання прямими лініями телефонного зв'язку ЧЧ ОДС ОКЦ, ПЗЗ й ПЗЧ із найбільш важливими пожежонебезпечними об'єктами міста. Ефективність таких видів зв'язку полягає в тому, що виключаються випадки зайнятості оперативно-службових ліній, тому що пряме їхнє призначення – повідомлення про випадки пожежі, загорянь й аварій на об'єкті;
- з'єднання прямими лініями станцій оперативного зв’язку чергових частин із комутаторами органів внутрішніх справ і підрозділами Державної служби охорони для прийому повідомлень про пожежі;
- з'єднання заявника (працівників АРС, які оснащені засобами радіозв'язку) з черговою частиною каналами радіозв'язку.

7.3. Організація оперативно-диспетчерського зв'язку

Оперативно-диспетчерський зв'язок покликаний забезпечувати своєчасну передачу розпоряджень підрозділам для висилки пожежних підрозділів на місця ліквідації НС; одержання інформації з місць НС для централізованого управління силами й засобами ліквідації НС.

До диспетчерського зв'язку відносяться:

- прямий телефонний і радіозв'язок ЧЧ ОДС ОКЦ області, міста із ПЗЧ, ПЗЗ й пожежними постами;
- телефонний і радіозв'язок ЧЧ ОДС ОКЦ із частинами й підрозділами, що працюють на ліквідації НС;
- радіозв'язок центрального пункту радіозв’язку або ЧЧ ОДС ОКЦ із пожежними автомобілями, автомобілями зв'язку (зв'язку й освітлення), оперативними й іншими автомобілями, що перебувають на шляху слідування;

– прямий телефонний зв'язок зі службами взаємодії.

В організації управління підрозділами оперативно-рятувальної служби значну роль відводиться оперативно-диспетчерському радіозв'язку. Він використовується тоді, коли потрібний зв'язок ЧЧ ОДС ОКЦ із пожежними частинами, що не мають телефонного зв'язку; у випадку обриву телефонного зв'язку, а також для зв'язку ЧЧ ОДС ОКЦ із пожежно-рятувальними автомобілями, що виїжджають на НС й, головним чином, для одержання інформації з місця ліквідації НС.

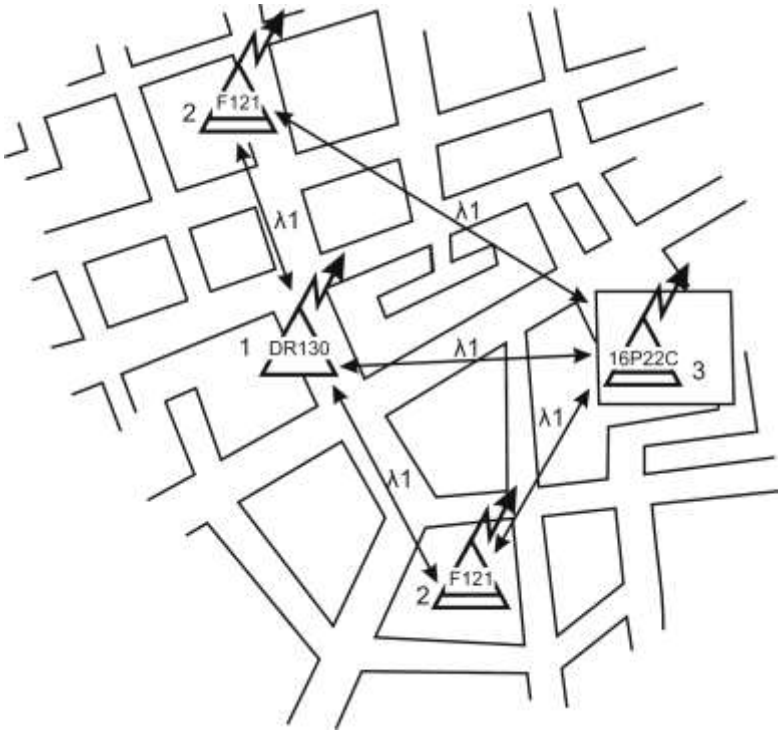

Рис. 7.3. Схема радіомережі [2]
1 – радіостанція возима; 2 – радіостанція стаціонарна; 3 – центральний пункт радіозв'язку

Оперативно-диспетчерський радіозв'язок дозволяє прискорити виклик додаткових сил і засобів до місця пожежі; передавати необхідну інформацію про обстановку зацікавленим організаціям й особам; забезпечувати управління підрозділами і їхню взаємодія при роботі на НС, а також організовувати резервні канали зв'язку при пошкодженні провідних засобів.

Оперативно-диспетчерський радіозв'язок (залежно від чисельності гарнізону пожежної охорони, можливості виникнення одночасно декількох великих НС у місті, кількості використовуваних радіостанцій і виділених для зв'язку робочих частот (хвиль)) організується за принципом радіомереж і радіонапрямів.

Радіомережа утвориться в тому випадку, коли на одній хвилі λ_1 працюють три й більше радіостанції (рис. 7.3). У радіомережах стаціонарні *2* і мобільна *1* радіостанції здійснюють радіообмін із центральним пунктом

радіозв'язку *3*. Робота радіомережі характеризується тим, що створюється можливість циркулярної передачі повідомлень всім радіостанціям мережі.

Радіонапрям утвориться при роботі на одній хвилі тільки двох радіостанцій. Достоїнство цього способу – швидкість входження у зв'язок, більша пропускна здатність при радіообміні й стійкість зв'язку; недоліки – потреба великої кількості робочих частот і радіостанцій.

Найчастіше радіозв'язок організується комбінованим способом, коли в схему входять радіомережі й радіонапрями (рис. 7.4).

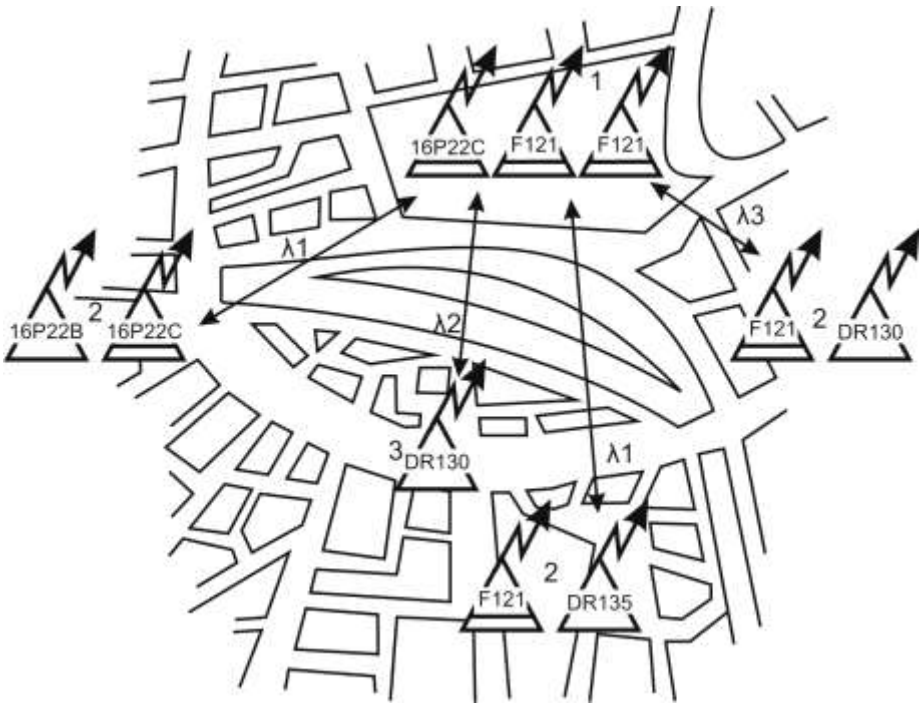

Рис. 7.4. Схема зв'язку, яка складається із радіонапрямів та радіомереж [2]
1 – радіостанція центрального пункту радіозв'язку; 2 – радіостанція ПЗЧ; 3 – радіостанція штабного автомобіля

Схема радіозв'язку гарнізону пожежної охорони будується з урахуванням типів радіостанцій, умов проходження радіосигналів, наявності перешкод радіоприйому й відстаней між радіостанціями. При наявності декількох радіомереж або радіонапрямів радіозасоби поєднуються в самостійні пункти радіозв'язку, які є складовими частинами центрального пункту зв'язку.

7.4. Організація зв'язку на місці ліквідації НС

Даний вид зв'язку призначений для управління силами і засобами, забезпечення їх взаємодії й обміну інформацією. Зв'язок на місці ліквідації НС за призначенням поділяється на зв'язок управління, зв'язок взаємодії і зв'язок інформації (рис. 7.5).

Зв'язок управління встановлюється між керівником ліквідації НС (КЛНС), начальником штабу (НШ), начальником тилу (НТ), бойовими ділянками, і окремими підрозділами, що працюють на ліквідації НС

(пожежі). Зв'язок управління дозволяє керувати ходом ліквідації НС, виконанням аварійно-рятувальних робіт; одержувати відомості про обстановку на ділянках і ходу ліквідації НС, а також передавати необхідні розпорядження.

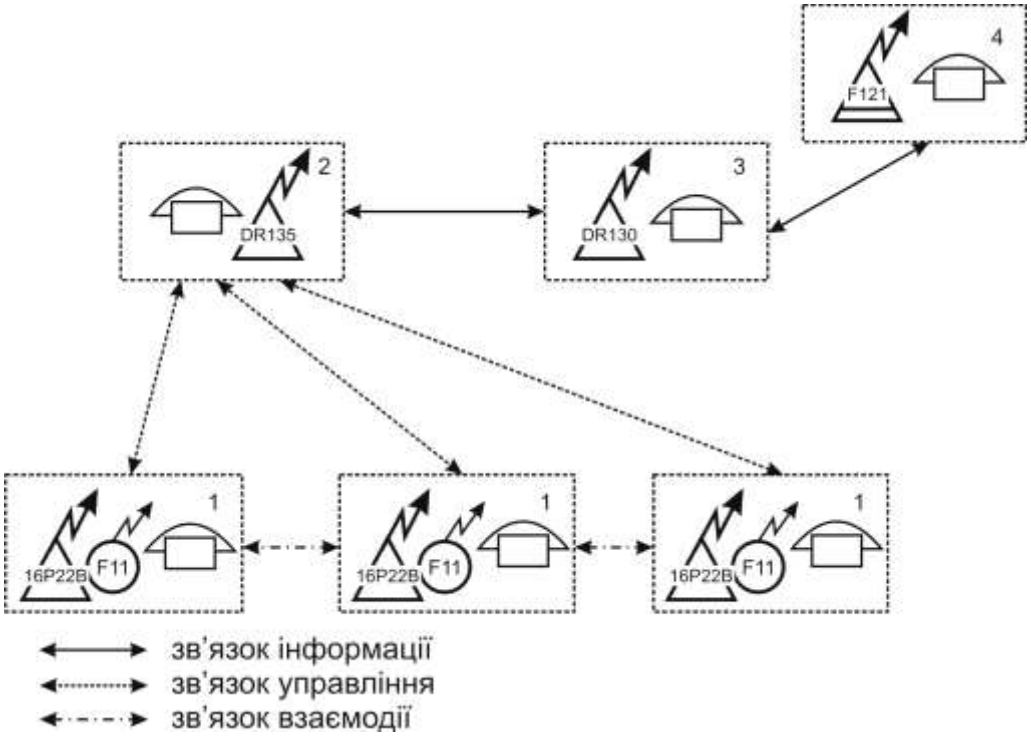

Рис. 7.5. Види зв'язку на місці ліквідації НС (пожежі)
1 – бойові ділянки; 2 – штаб; 3 – АЗО (ПВЗ); 4 – ЧЧ ОДС ОКЦ

Залежно від місця виникнення НС, рельєфу місцевості, особливостей розгортання сил і засобів, тривалості НС й інших умов зв'язок управління може здійснюватися за допомогою автомобільних, портативних радіостанцій, а також польових телефонних апаратів, сигнально-переговорних пристроїв, гучномовних установок, мегафонів і зв'язкових.

Зв'язок взаємодії встановлюється між начальниками бойових ділянок (НБД) і підрозділами, що працюють на НС, і призначається для взаємної інформації про обстановку на складних ділянках, а також для вироблення єдиного плану дій. Цей зв'язок (залежно від умов) може здійснюватися за допомогою радіостанцій, польових телефонних апаратів, сигнально-переговірних пристроїв і зв'язкових.

Зв'язок інформації встановлюється між КЛНС (оперативним штабом) і черговою частиною оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру (ЧЧ ОДС ОКЦ) або ПЗЗ (ПЗЧ). Він забезпечує своєчасну взаємну передачу інформації між ЧЧ ОДС ОКЦ (ПЗЗ, ПЗЧ) і підрозділами, що перебувають на НС або на шляху слідування, а також зв'язує КЛНС із керівниками різних служб: водопровідної, газоаварійної, медичної, енергетичної тощо.

Для зв'язку інформації можуть бути використані телефони міської й об'єктової мережі, радіостанції, встановлені на автомобілі зв'язку, пожежних, штабних й оперативних автомобілях.

Організація зв'язку на місці ліквідації НС залежить від наявних технічних засобів, від кваліфікації особового складу, який обслуговує ці технічні засоби.

Організація зв'язку на місці ліквідації НС при роботі одного караулу

При виїзді на НС головного пожежно-аварійного автомобіля за допомогою наявної на ньому радіостанції встановлюється зв'язок інформації. Залежно від прийнятої в гарнізоні ОРС ЦЗ схеми зв'язок підтримується з ЧЧ ОДС ОКЦ або із ПЗЧ. У першому випадку інформацію приймає радіотелефоніст або диспетчер ЧЧ ОДС ОКЦ, у іншому – радіотелефоніст ПЗЧ, який потім передає всю вхідну до нього інформацію на ЧЧ ОДС ОКЦ по прямим телефонним лініям зв'язку.

У випадку прибуття на НС оперативного автомобіля ГУ(У)МНС, загону ОРС зв'язок з диспетчером ЧЧ ОДС ОКЦ (при відсутності телефонного зв'язку) здійснюється за допомогою радіостанції оперативного автомобіля.

Зв'язок інформації повинен підтримуватися безупинно, тому необхідно, щоб канал зв'язку перебував у постійній готовності. Припинення зв'язку дозволяється тільки диспетчером ЧЧ ОДС ОКЦ.

Дуже важливою умовою є зв'язок при розвідці пожежі. Від правильного використання технічних засобів зв'язку групою розвідки залежить швидкість передачі до ЧЧ ОДС ОКЦ інформації про обстановку, що особливо важливо, якщо необхідно викликати додаткові сили й засоби для ліквідації НС. Із цією метою групова розвідка оснащується носимими радіостанціями (вони мають обмежений радіус дії). Тому інформація з місця НС передається спочатку на радіостанцію пожежного автомобіля, а вже із цієї радіостанції до ЧЧ ОДС ОКЦ або ПЗЧ.

Для розвідки пожеж у сильно задимлених приміщеннях або таких, які забруднені небезпечними (отруйними) речовинами група розвідки використовує апарати захисту органів дихання (АЗОД). При цьому рекомендується застосування носимих радіостанцій з відповідною гарнітурою.

При ліквідації НС зв'язок управління здійснюється КЛНС особисто або через зв'язкового, зв'язок взаємодії між начальниками бойових ділянок – особисто або через зв'язкових.

Організація зв'язку на місці пожежі при роботі декількох караулів

Зв'язок інформації в цьому випадку організується так само, як і при роботі на НС однієї варти, а зв'язок управління й взаємодії стає більш ефективним при використанні носимих радіостанцій.

На пожежі організовується місцева радіомережа, у яку входять радіостанція КЛНС, радіостанції бойових ділянок й окремих підрозділів. Радіостанція КЛНС є головною в мережі. Через неї КЛНС здійснює зв'язок управління, а також передає інформацію до ЧЧ ОДС ОКЦ шляхом

переприйому через радіостанцію пожежно-рятувального автомобіля. В цій мережі організується й зв'язок взаємодії.

Організація зв'язку на місці НС при роботі оперативного штабу

Оперативний штаб організовує роботу підрозділів відповідно до рішень, прийнятих КЛНС. При роботі штабу, як правило, на НС виїжджає відділення зв'язку. Це відділення виконує наступні роботи: встановлює й підтримує за допомогою радіостанцій зв'язок зі ЧЧ ОДС ОКЦ, підключає телефонні апарати до міської телефонної мережі; підтримує зв'язок з бойовими ділянками; розгортає штабний стіл; забезпечує безперебійну роботу всіх засобів зв'язку, що перебувають при штабі; встановлює виносні гучномовці на бойових ділянках; забезпечує зв'язок тилу зі штабом; якщо буде потреба за розпорядженням КЛНС проводить роботи з розгортання і обслуговування електроустаткування.

Відділення зв'язку прибуває до місця пожежі на автомобілі зв'язку (АЗ), зв'язку та освітлення (АЗО) або пересувному вузлі зв’язку, які призначені для доставки до місця НС особового складу, радіоустаткування, телефонного встаткування, електроживлення, пожежно-технічного озброєння.

Залежно від кількості ПРЧ, які входять до гарнізону, і числа відведених робочих частот кількість мобільних радіостанцій на АС може бути різною: від *2* до 5. Крім того, на АЗ передбачається доставляти до місця пожежі носимі радіостанції.

АЗ обладнується звукопідсилювальною установкою, антенним пристроєм, гучномовцями потужністю 10-50 Вт, електромегафонами, виносними мікрофонами, перехідними штуцерами для блоків підсилювача тощо.

Для забезпечення електроживлення АЗО на ньому встановлюється щит живлення апаратури зв'язку із зарядними пристроями й акумуляторні батареї. Крім того, на АЗО встановлено генератор змінного струму із прожекторами для освітлення місця НС. Вся апаратура зв'язку, використовувана на місці НС, живиться від акумуляторів, що забезпечують її безперервну роботу протягом 10 год. Передбачається можливість живлення цієї апаратури й освітлювальних приладів від мережі змінного струму. Для підключення електроустаткування АЗО до мережі використовуються котушки із силовим кабелем. Крім того, АЗО оснащується допоміжним устаткуванням.

Оперативний штаб розміщається звичайно в АЗО або в штабному автомобілі або ж у зручному для огляду відкритому місці. При цьому використовується штабний стіл. Розміщення засобів зв'язку здійснюється відповідно до прийнятої структури.

Радіозв'язок на місці НС при роботі оперативного штабу здійснюється за допомогою возимих *2* і носимих *1* радіостанцій (рис. 7.6). Зв'язок інформації зі штабом ведеться за допомогою мобільної радіостанції *2*, встановленої на штабному автомобілі, і стаціонарної радіостанції *3*, розміщеної в ЧЧ ОДС ОКЦ. Для зв'язку управління використовуються

портативні радіостанції, якими оснащуються КЛНС, НШ, НТ, НБД, начальники груп розвідки, окремі підрозділи.

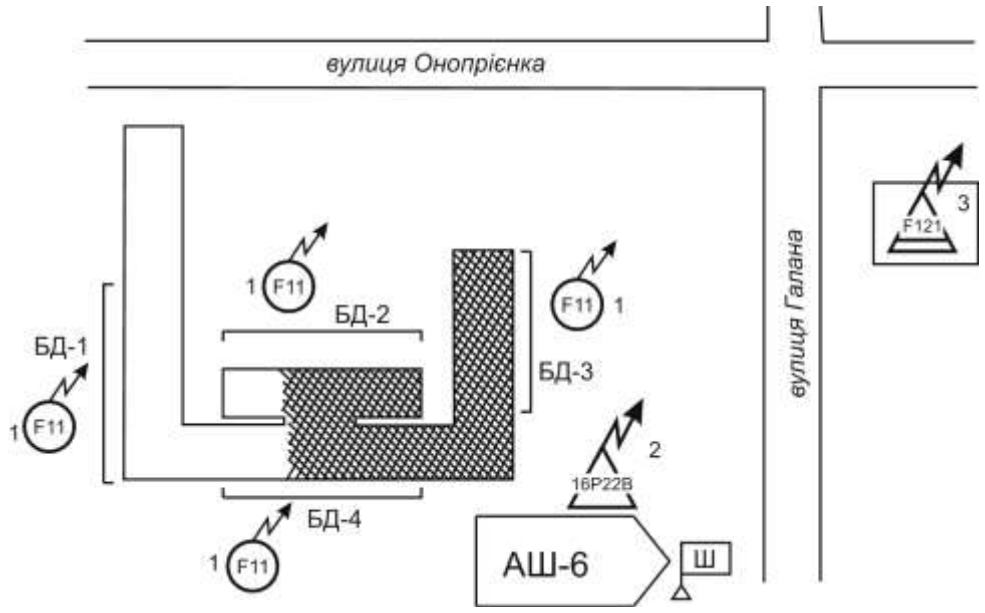

Рис. 7.6. Схема розміщення засобів радіозв'язку при ліквідації НС (пожежі)
1 – носима радіостанція; 2 – радіостанція штабного автомобіля; 3 – радіостанція ЧЧ ОДС ОКЦ

Зв'язок взаємодії ведеться за допомогою портативних радіостанцій. Зв'язок управління й взаємодії між відділеннями, що працюють на пожежно-рятувальних, спеціальних, допоміжних автомобілях й іншій техніці, забезпечується за допомогою мобільних радіостанцій, якими оснащені ці види техніки.

7.5. Особливості використання й розміщення засобів радіозв'язку

Використання й розміщення стаціонарних радіостанцій

При проектування мереж радіозв'язку (виходячи з умов експлуатації) необхідно визначити зону, у якій буде забезпечений надійний зв'язок. Варто враховувати, що дальність дії мережі УКХ радіозв'язку залежить від наступних факторів:

- обраного виду модуляції (маніпуляції);
- електричних параметрів приймача: чутливості, рівня зовнішніх шумів на його вході, заданого відношення сигнал-шум на виході приймача;
- параметрів антенно-фідерного тракту прийомної апаратури (діючої висоти антени, втрат в антенно-фідерному прийомному тракті, висоти установки прийомної антени);
- ефективної випромінюваної потужності (яка залежить від вихідної потужності передавача, втрат в антенно-передавальному тракті, посилення антени, нерівномірності

діаграми спрямованості в горизонтальній площині передавальної антени, висоти установки передавальної антени);

– рельєфу місцевості.

Крім того, варто враховувати, що передавачі центральних радіостанцій потужніші, за передавачі абонентських радіостанцій. Рівень зовнішніх шумів на вході приймачів центральних, мобільних і стаціонарних абонентських радіостанцій різний. У дуплексних мережах радіозв'язку частоти прийому й передачі також відрізняються. У зв'язку із цим необхідно окремо проводити розрахунки для різних напрямків зв'язку (між стаціонарними радіостанціями, від стаціонарних радіостанцій до мобільних і, навпаки, між мобільними радіостанціями) і визначати зону дії даної мережі.

В окремих випадках побудови диспетчерських мереж радіозв'язку (на границі зони зв'язку й за її межами) допускається зв'язок зі зниженою розбірливістю мови. Очевидно, при розрахунку очікуваної дальності дії мережі радіозв'язку доцільно визначати кілька зон з різною якістю зв'язку, що відповідають вимогам для різних категорій абонентів.

Слід зазначити, що дальність зв'язку в УКХ діапазоні головним чином залежить від висоти підйому антен радіостанцій й у меншому ступені від потужності їхніх передавачів. Наприклад, збільшення потужності передавача у два рази збільшує дальність зв'язку не більше ніж на 20%. При плануванні мереж зв'язку можна скористатися матеріалами, наведеними в «Методике определения ожидаемой дальности УКВ радиосвязи с подвижными объектами» (изд. ЦБТИ Министерства строительства СССР. М., 1971).

Розміщення стаціонарних радіостанцій у приміщенні повинно бути таким, щоб забезпечувався вільний доступ до роз’ємів, клем, запобіжників, щоб було зручним проведення перевірки їхнього технічного стану. Установка радіостанцій повинна здійснюватися якомога ближче до антени, так, щоб довжина кабелю, що з'єднує радіостанцію з антеною, була якомога коротшою.

Антену рекомендується встановлювати на пануючій висоті місцевості. Вона повинна бути віддалена від навколишніх предметів на відстань не менш 5-10 м. Висота підйому антени – не менше 15 м. Опори для розміщення антен стаціонарних радіостанцій можуть бути будь-якої стандартної конструкції. У випадку спільної роботи декількох радіостанцій в одному районі їх варто розташовувати якнайдалі одна від одної (не менш 500 м), щоб уникнути взаємних перешкод. Для захисту операторів й апаратури зв'язку від грозових розрядів всі радіостанції повинні бути надійно заземлені.

Керування радіостанціями – дистанційне й може здійснюватися з одного або двох пультів. При цьому блок прийомопередавача розміщається на відстані до 100 м від пульта керування (і навіть від 1 до 10 км) – залежно від типу радіостанції. Це дозволяє скоротити довжину антенного кабелю й створити гарні умови для роботи оператора.

Використання й розміщення мобільних (возимих) радіостанцій

Мобільні (возимі) радіостанції встановлюються на різних рухомих об'єктах, тому окремі фактори (наприклад, висота установки приймальної та передавальної антен), що впливають на дальність зв'язки, для них різні. Варто орієнтуватися на дальність зв'язку, обумовлену за результатами розрахунків для гіршого варіанта умов поширення радіохвиль. Однак при необхідності очікувану дальність можна розрахувати для кожного виду рухомого об'єкта окремо.

При виборі типу мобільної УКХ радіостанції слід орієнтуватися на ті радіостанції, які мають відносно велику потужність – від 20 до 50 Вт, що дозволить в умовах міста (тобто несприятливих для проходження радіохвиль) покращити радіозв’язок з рухомими об’єктами.

Мобільні радіостанції постійно перебувають у русі; параметри ліній радіозв'язку безупинно змінюються. Це приводить до погіршення зв'язку з ними за межами розрахункової зони дії мережі радіозв'язку.

Мобільні радіостанції можуть бути встановлені на всіх типах автомобілів, використовуваних ОРС ЦЗ, а також на річкових пожежних катерах.

Установку антенного пристрою треба на рухливих об'єктах робити в місцях, що забезпечують кругову діаграму спрямованості. Прийомопередавач із блоком живлення й пульт керування встановлюються в місцях, захищених від дощу й бризок. Монтажні комплекти й розмітка для кріплення, наведені в технічному описі кожного типу радіостанції, дають можливість установлювати антенні пристрої практично на всіх рухомих об'єктах.

На пожежних автомобілях АЦ-40(130)63Б або АНР-40(130) (рис. 7.7) радіостанції типу «Виола-АП» розміщуються в такий спосіб: прийомопередавач 1 кріпиться на кронштейні на нижньому обрізі приладового щитка, розподільник 2 кріпиться в куту кабіни поблизу правих дверей, блок мікротелефона (маніпулятор) *3* кріпиться на верхній панелі приладового щита (перед вітровим склом) напроти місця командира відділення (начальника варти), підсилювач низьких частот (ПНЧ або гучномовець) встановлюється по правому борту на рівні голови або на верхній панелі приладового щита. Другий пульт управління *7* із тримачем мікротелефонної трубки кріпиться на спеціальному кронштейні в задньому (насосному) відсіку до лівої вертикальної стінки. Гучномовець *8* закріплюється вище пульта управління. Антенний пристрій *4* встановлюється на кронштейні перед пеналами по центру кабіни водія. Сполучні кабелі прокладаються під внутрішнім обшиванням кузова. Прийомопередавач підключається до клем акумулятора *10* через фільтр із запобіжниками *9*. Підключення повинно здійснюватися безпосередньо до клем акумулятора, а не замиканням прийомопередавача на масу автомобіля.

Мобільні радіостанції на легкових автомобілях встановлюються у різних місцях. Так пульт керування з маніпулятором й гучномовець

розміщуються на приладовому щитку в зручному для оператора місці; прийомопередавач може бути вмонтований в панель приладового щита або розміщений під сидіннями водія або пасажира;; антена встановлюється по центру даху кузова автомобіля; акумулятор розміщується у відсіку двигуна; сполучні кабелі прокладаються у кутах кабіни. Закріплення кабелів повинне виключати їхню надмірну вібрацію й перегини під час руху автомобіля (щоб уникнути обриву жив провідників).

Веденню зв'язку під час руху пожежного автомобіля заважає наявність шумів, викликаних рухом автомобіля й електричних перешкод від працюючого двигуна. Для зниження електричних перешкод варто завчасно перевірити справність завадоподавляючих пристроїв. У зимовий час низька температура позначається на стартерних акумуляторних батареях, ємність яких різко скорочується, тому їх варто утеплювати.

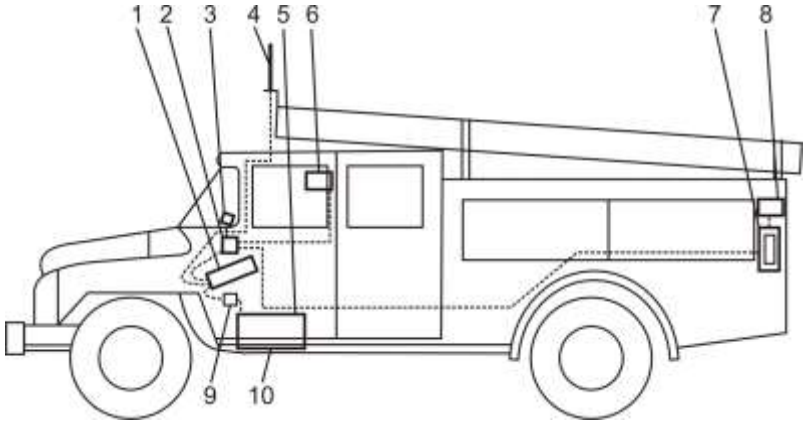

Рис. 7.7. Схема розміщення радіостанції на аварійно-рятувальному автомобілі

Під час руху автомобіля в тунелях, поблизу висотних будинків або повітряних ліній електропередач можна спостерігати зниження чутності або ж взагалі припинення зв'язку. Це явище пояснюється особливостями поширення радіохвиль УКХ діапазону.

Слід зазначити, що поширення УКХ у містах зв'язане зі складними процесами інтерференції радіохвиль, багаторазовими відбиттями від різних споруд і накладенням нуля промислових перешкод. Тому для стійкого зв'язку варто прагнути до більш високого розташування антен. На НС автомобіль, що підтримує зв'язок зі ЧЧ ОДС ОКЦ або ПЗЧ, повинен бути орієнтований з урахуванням напрямку на зазначені пункти й розташовуватися в найбільшому видаленні від споруд і джерел електричних перешкод.

Порядок розміщення носимих (мобільних) радіостанцій на місцевості

1. Не розміщуйте радіостанцію безпосередньо біля перешкод, які знаходяться в напрямку зв’язку з кореспондентом, таких, наприклад, як крутих схилів, підвищень, насипів, кам’яних та залізобетонних будівель, металічних споруд, поперек ЛЕП і ліній провідного зв’язку тощо. Розміщуйте РС, якщо дозволяють обставини, на схилі гори, оберненої до кореспондента, на боковому схилі чи на зворотному

схилі крутого підвищення, ближче до вершини, тобто створювати умови прямої видимості.

2. При розміщенні кореспондента в сторону відкритої місцевості не розгортати радіостанцію на узліссі, а краще заглибитись в ліс, або відійти на 15-20 м від нього.
3. При роботі в лісі надавати перевагу розміщенню радіостанції в центрі групи дерев, а не на границі їх з галявиною. Це пояснюється тим, що на ділянках різкого переходу провідності ґрунту радіохвилі сильно поглинаються. Це характерно не тільки для лісових масивів, але й для ділянок вода–ґрунт.
4. При роботі з кам'яної будівлі а особливо в залізобетонних будинках, для радіостанції слід вибирати приміщення з вікнами, що виходять на кореспондента.
5. При роботі з радіостанцією встановленою на автомобілі, необхідно пам'ятати, що максимальна дальність зв'язку забезпечується вздовж осі автомобіля. В автомобільних радіостанціях противагою є металічний каркас, а оскільки він має видовжену конструкцію, то і діаграма направленості антени буде зорієнтована вздовж осі автомобіля. Цю обставину слід пам'ятати при встановленні пожежних автомобілів на вододжерелах.
6. В умовах міста, особливо великого, спостерігається явище інтерференції УК-радіохвиль, яке виявляється в тому, що в декількох метрах від місця гарної чутності зустрічаються місця з дуже поганою чутністю чи чутність відсутня взагалі. І якщо зв'язок встановлено ненадійно, то радіостанцію слід віднести на декілька метрів від місця початкового встановлення, туди, де зв'язок встановлюється надійний.
7. В умовах міста, навіть при відсутності прямої видимості, радіозв'язок досить стійкий. Проходження радіохвиль в точку прийому здійснюється завдяки багаторазовому відбиттю радіохвиль від будинків і споруд, і все ж таки не слід розміщувати радіостанції безпосередньо біля стін будівель.
8. При роботі в закритих приміщеннях відбувається явище інтерференції, яке виявляється в тому, що поряд з ділянками хорошої чутливості зустрічаються ділянки з поганою чутливістю, або повною її відсутністю. Це пояснюється тим, що радіохвилі багаторазово відбиваючись від стін приміщення, приходять в точку прийому в фазі, або протифазі. В першому випадку чутливість буде хороша, а в другому погана, або її взагалі не буде. В подібних випадках покращення якості зв'язку можна досягти переміщуючи радіостанцію, інколи навіть на кілька метрів.
9. При розміщенні РС на підвищених місцях досягається дальність зв'язку, яка перевищує номінальні значення.

Таким чином, знаючи особливості розповсюдження радіохвиль, можна досягти стійкого зв'язку в межах характеристик радіостанцій.

7.6. Побудова профілю радіотраси при організації внутрішньообласного радіозв'язку аварійно-рятувальних підрозділів МНС

В аварійно-рятувальних підрозділах МНС України для службового радіозв'язку використовують в основному діапазон метрових хвиль, віддаль дії яких практично обмежується границями прямої видимості.

Розповсюдження поверхневих радіохвиль, особливо УКХ-діапазону, на дуже пересіченій, або густо забудованій місцевості складає надзвичайно складну картину, що не дозволяє застосовувати точні аналітичні розрахунки, наприклад, при організації зв'язку з пожежними автомобілями при слідуванні до місця пожежі в умовах великого міста.

Експериментально встановлено, що тривкий зв'язок у цьому діапазоні забезпечується за дотримання такої умови:

$$d = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \qquad (7.1.)$$

де: d – відстань між радіостанціями, км; 3,57 – емпіричний коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів; h_1, h_2 – висота антен радіостанцій, м.

Згідно з цією формулою, у будь-яких умовах місцевості зв'язок може бути гарантований, якщо антени кореспондуючих радіостанцій „бачать" одна одну, хоча на практиці зв'язок нерідко забезпечується й в умовах відсутності прямої видимості антен.

Однак дальність зв'язку на метрових хвилях може бути і більшою завдяки явищу рефракції, яке ми розглянули вище. Тому з врахуванням рефракції дальність зв'язку збільшується приблизно на 15% і визначається за формулою:

$$d = 4,15(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \qquad (7.2.)$$

Даючи оцінку дальності радіозв'язку не достатньо визначити дальність прямої видимості. В процесі виконання організаційно-технічних заходів, що забезпечують надійність дії радіозасобів аварійно-рятувальної служби на території області, виникає необхідність вирішення таких задач:

- вибір напрямку майбутньої траси;
- визначення необхідної висоти антенних опор пунктів передачі і прийому.

Вибір напрямку радіотраси і оцінювання місця встановлення радіостанцій слід проводити по топографічним картам масштабу 1:50000 чи 1:100000.

Основною умовою вибору правильного напрямку є відсутність на шляху розповсюдження радіохвиль великих природних перешкод (гір, високих горбів і височин), а також великих промислових центрів.

Якщо передбачувана довжина траси набагато перевищує технічні можливості радіозасобів, що використовуються, то трасу розбивають на декілька відрізків (60-100 км) з таким розрахунком, щоб вони починались і закінчувались в населених пунктах в яких надалі встановлюють ретранслятори.

Дані необхідні для розрахунку радіотраси, визначають після вибору її напрямку по топографічним мапам більшого масштабу, наприклад 1:50 000. З цією метою будують так звані профілі окремих відрізків чи профіль всієї радіотраси.

Профіль траси – це умовний вертикальний розріз земної поверхні за вибраним напрямком. Для його побудови на топографічній мапі з'єднують лінією пункти передачі і прийому. Далі лінію розбивають на відрізки з таким розрахунком, щоб була забезпечена необхідна точність зчитування висот рельєфу місцевості. Висоти у контрольних точках визначають за командними висотними відмітками мап. Якщо контрольна точка лінії траси не співпадає з висотною відміткою мапи, висоту даного відрізка місцевості визначають з врахуванням числа горизонталей від даної точки до командної висоти мапи, різниці висот між двома сусідніми горизонталями і загального підйому чи нахилу місцевості. На профіль траси (не залежно від кількості контрольних точок) обов'язково наносять висоти міських будівель, лісів, сільських будівель і т. п. Профіль траси будують в декартових координатах.

Рекомендується така послідовність операцій при виборі і оцінювання місця:

- На карті відмітьте пункти встановлення радіостанцій.
- По горизонталям карти визначте висоти цих пунктів, а також найбільш підвищені точки місцевості між ними.
- Проведіть орієнтовне оцінювання напрямку зв'язку шляхом порівняння напівсуми висот (з врахуванням висоти підйому антен) встановлення станцій з напівсумою найбільшої висоти по напрямку і висоти дуги кривизни земної поверхні, яка відповідає відстані між радіостанціями (якщо перша величина більша за другу, то напрямок вважається відкритим. В іншому випадку радіо напрямок вважається закритим. Перевищення другої величини над першою характеризує закриття напрямку зв'язку).

Висота дуги земної кривизни може бути визначена за наближеною формулою:

$$H = \frac{R^2}{50},$$

де H – висота дуги земної кривизни (м); R – відстань між станціями (км).

Для більш точного оцінювання місця встановлення КРС визначте земний профіль в напрямку зв'язку, побудуйте дугу земної кривизни і

нанесіть на неї всі основні висоти в напрямку зв'язку (з врахуванням місцевих предметів: будівлі, ліс тощо). Для побудови такої дуги визначте її висоту Н за наведеної вище формулою, а також ряд точок відповідно рис. 7.8 (для спрощення побудови дуги земної кривизни необхідні дані для різних відстаней між радіостанціями наведені в табл. 7.1). Побудуйте дугу земної кривизни в певному масштабі.

Висоти різних точок рельєфу місцевості в напрямку зв'язку зніміть з карти та нанесіть в масштабі на побудовану дугу. Нанесені точки з'єднайте плавною кривою, в результаті чого отримується земний профіль в даному напрямку зв'язку.

На лінію профілю в напрямку зв'язку в вибраному масштабі по висоті нанесіть місцеві предмети (ліс, споруди тощо). В точках встановлення станцій в тому ж масштабі відкладіть висоти антенних опор і їх верхні точки з'єднайте прямої лінією (лінією прямої видимості).

Якщо ця лінія проходить вище профілю направленості зв'язку і наземних перешкод, то напрямок є відкритим (рис. 7.9).

Таблиця 7.1. Дані для побудови дуги земної кривизни в залежності від відстані між точками встановлення радіостанцій [18]

R, км	**H,м**	**H/2, м**	**8/9H, м**	**0,36 R, км**	**R/6, км**
70	25,2	49	87,1	25,2	11,7
65	23,4	42,25	75,1	23,4	10,8
60	21,6	36	64	21,6	10
55	19,8	30,25	53,8	19,8	9,2
50	18	25	44,4	18	8,3
45	16,2	20,25	36	16,2	7,5
40	14,4	16	28,4	14,4	6,7
35	12,6	12,25	21,8	12,6	5,8
30	10,8	9	16	10,8	5
25	9	6,25	11,1	9	4,2
20	7,2	4	7,1	7,2	3,3

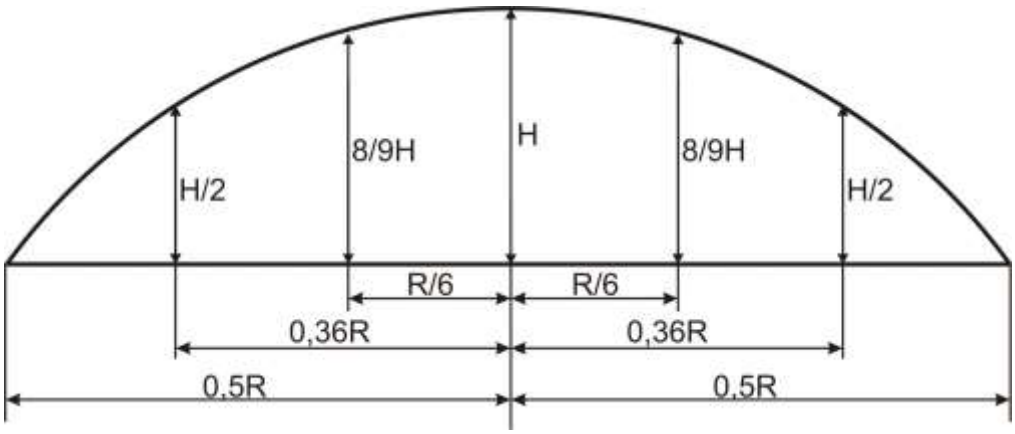

Рис. 7.8. Визначення допоміжних точок для побудови дуги земної кори

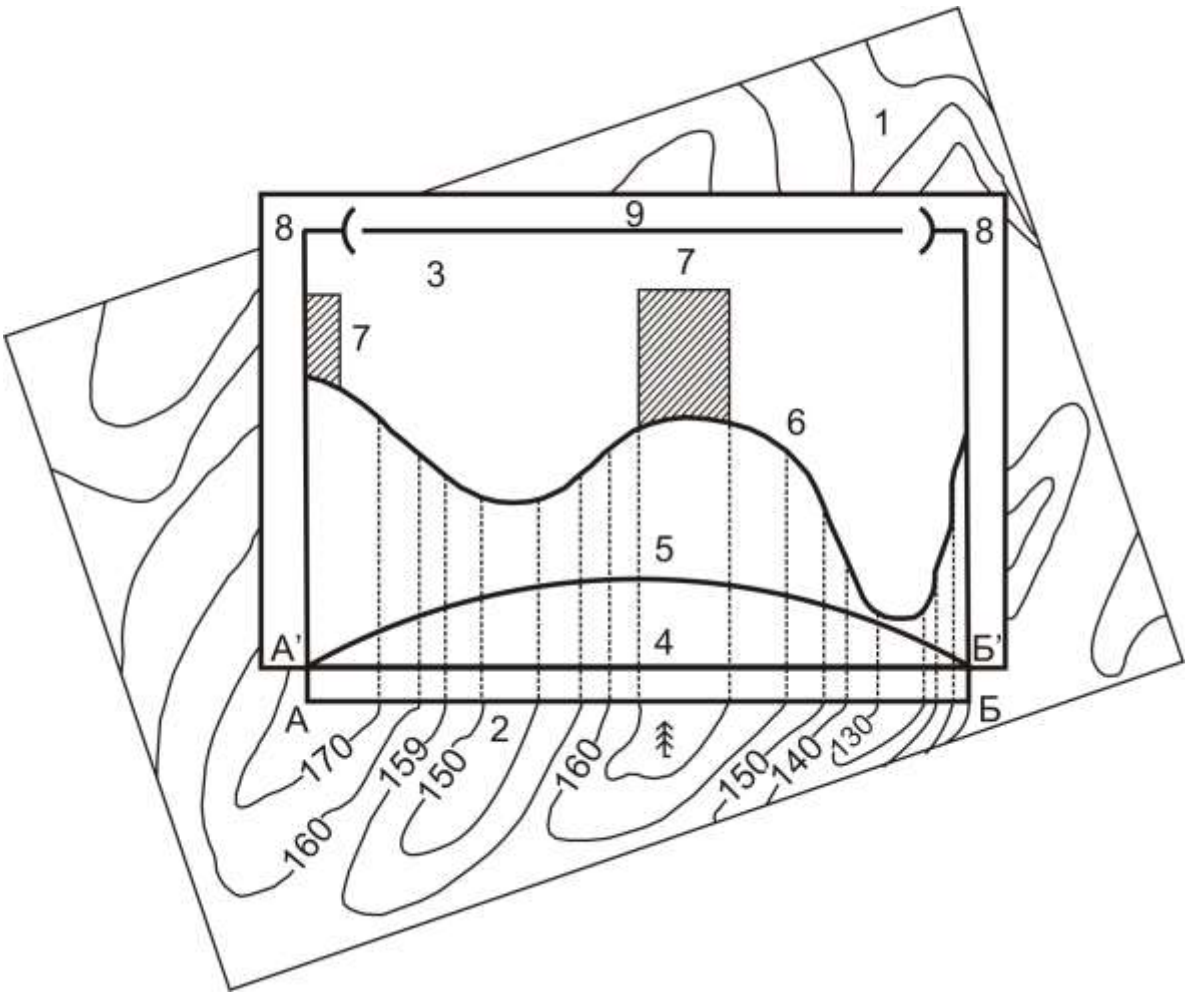

Рис. 7.9. Порядок креслення профілю траси

1 – топографічна карта; 2 – лінія на карті, яка з'єднує точки встановлення станції А і Б; 3 – лист креслення профілю траси; 4 – пряма лінія на листі від якої відкладається профіль траси; 5 – дуга земної кривизни; 6 – лінія профілю місцевості; 7 – місцеві предмети (ліс, будівлі тощо); 8 – антенні опори (в масштабі висоти); 9 – лінія прямої видимості.

При виборі та оцінюванні напрямку зв'язку слід враховувати, що навіть незначне зміщення радіостанцій в сторону (до 1-2 км) дозволяє суттєво зменшити закриття напрямку зв'язку, і, як наслідок, значно підвищити якість каналу зв'язку.

7.7. Організація УКХ та КХ радіозв'язку зі стаціонарними й рухомими об'єктами одноканальних мереж і розрахунок її дальності

При організації оперативного радіозв'язку ОРС ЦЗ в гарнізоні постає питання визначення дальності роботи складових системи – радіостанцій. Даний параметр – дальність радіозв'язку, як правило, приводиться в характеристиках радіостанцій, і залежить від їх електричних характеристик, від характеру місцевості, висоти встановлення антенних пристроїв тощо. Для сучасних стаціонарних і мобільних радіостанцій дальність зв'язку лежить у межах 10...30 км, а для носимих – 1...3 км. Однак наведені значення умовні й реальна дальність радіозв'язку

визначається для кожного конкретного випадку. Дійсно, дальність радіозв'язку залежить не тільки від електричних параметрів радіостанції, але й від умов, в яких організовується радіозв'язок (характер місцевості, висота встановлення антени тощо). При наявності прямої видимості між передавальною й приймальною антенами користуються формулою Б.В. Введенського:

$$E_m = \frac{4\pi\sqrt{60P_\Sigma\sigma}}{\lambda d^2} h_1 h_2, \qquad (7.3)$$

де E_m – напруженість поля, мкВ/м; P_Σ – потужність випромінювання передавальної антени, Вт; σ – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени; λ – довжина хвилі, м; d – довжина лінії радіозв'язку, км; h_1, h_2 – висоти підняття відповідно передавальної й приймальною антен, м.

Для впевненого зв'язку напруженість поля корисного сигналу в точці прийому повинна перевищувати напруженість поля перешкод у визначене число *N* разів, обумовлене технічними характеристиками радіозасобів, які використовуються. Для радіостанцій, які використовуються ОРС ЦЗ, таке перевищення становить 20 дБ (для діапазону УКХ), тобто:

$$N = 20\lg\frac{E_m}{E_П}, \qquad (7.4)$$

де E_m – напруженість електричного поля корисного сигналу в точці прийому, мкВ/м; $E_П$ – напруженість електричного поля перешкод в точці прийому, мкВ/м.

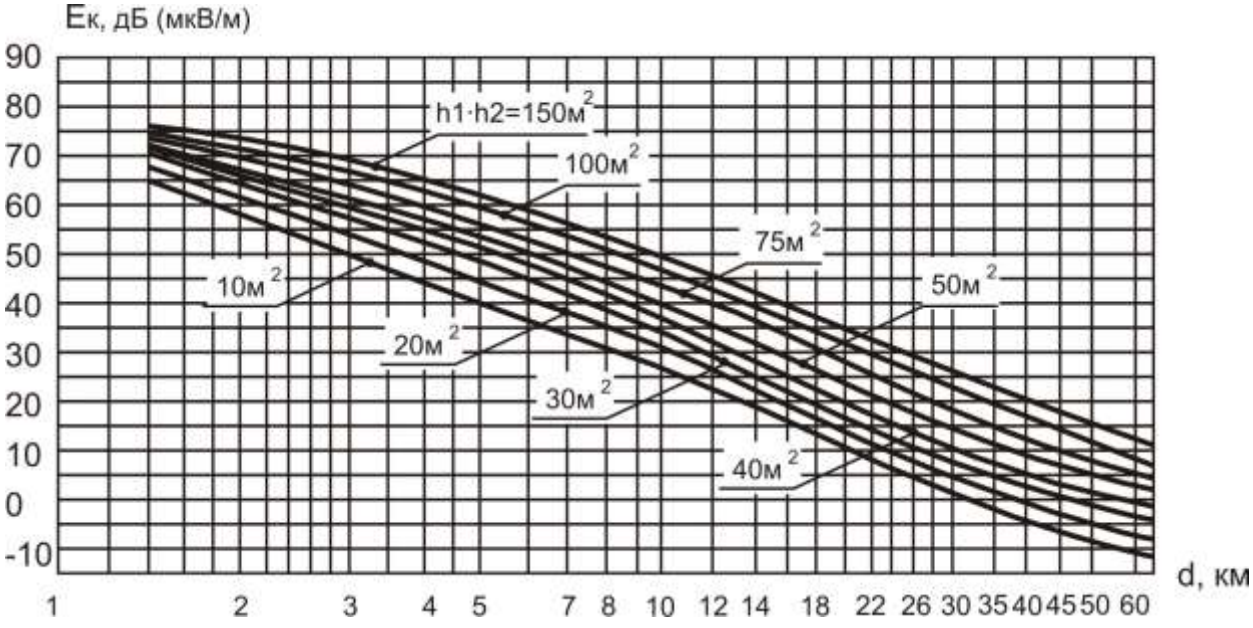

Рис. 7.10. Залежності середніх значень напруженості електричного поля від відстані між антенами для різних значень добутку висот підйому антен [19]

При розрахунку дальності зв'язку з рухомими об'єктами (пожежними та аварійно-рятувальними автомобілями) слід користуватися графічними залежностями напруженості поля ($E_к$, дБ) корисного сигналу від відстані (d, км) між антенами для різних значень добутку висот підйом антен ($h_1 h_2$, м^2). Ці графічні залежності, що є медіанними значеннями напруженості поля, які перевищуються в 50% місць і 50% часу. Графіки приведено для вертикальної поляризації антен і умов розповсюдження радіохвиль в смузі частот 140…174 МГц. Графіки побудовані для потужності випромінювання передавача $P_{пер} = 10$ Вт. У випадку відмінності потужності випромінювання передавача від 10 Вт необхідно користуватися графіком, приведеним на рис. 7.11 [19]. Даний графік представляє значення поправочного коефіцієнту $B_П$, дБ, який враховує зміну потужності передавача $P_{пер}$, Вт від 1 до 100 Вт, в залежності від типу радіостанції, яка використовується.

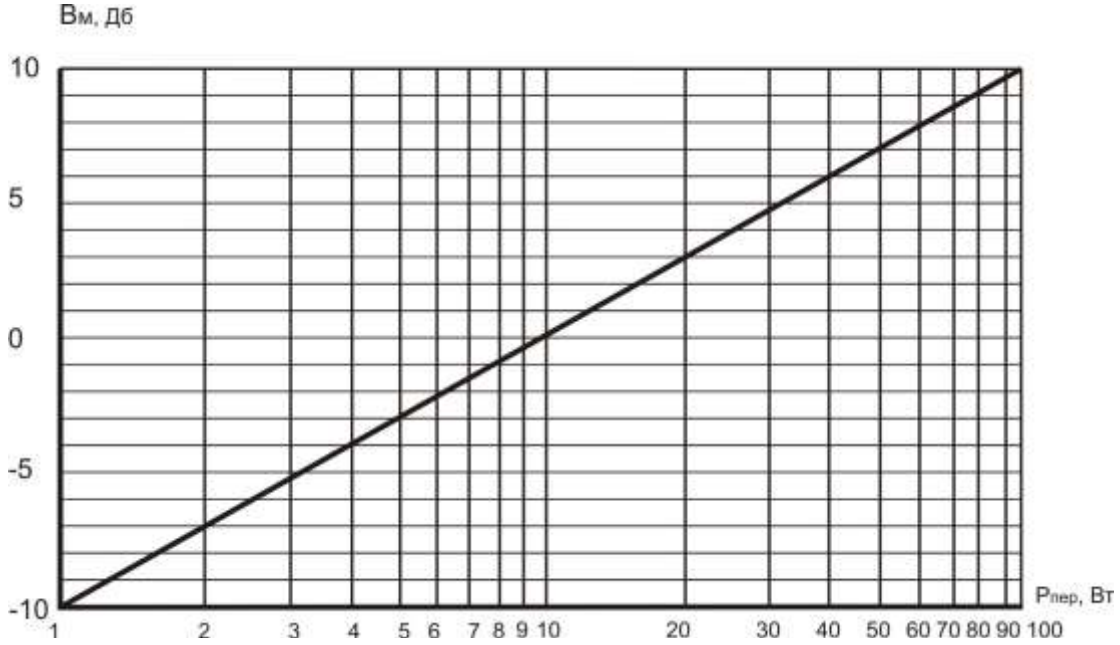

Рис. 7.11. Поправочний коефіцієнт B_M, який враховує відмінність потужності передавача від 10Вт

Графіки напруженості поля наведені для середньопересічної місцевості ($\Delta h = 50$ м). Середньопересічною вважається місцевість, на якій середнє коливання оцінок висот на відстані 10...50 км не перевищує 50 м (встановлено, що на відстані 10...50 км від стаціонарної радіостанції рельєф місцевості на дальність зв'язку істотно не впливає). Параметр Δh є умовною мірою нерівності рельєфу місцевості й визначається різницею рівнів місцевості, що перевищують на 10 й 90% довжину траси l (рис. 7.12). Якщо знайдене в межах дальності радіозв'язку значення $\Delta h > 50$ м, то в смузі 35...46 МГц напруженість поля, обчислену по кривим рис. 7.8, необхідно зменшити на 4 дБ; в смузі 33...35 МГц рельєф місцевості не

враховується. В смузі 140...174 МГц рельєф місцевості враховується за допомогою додаткового коефіцієнта ослаблення, значення якого варто відняти від значення напруженості поля, отриманого із кривих рис. 7.10.

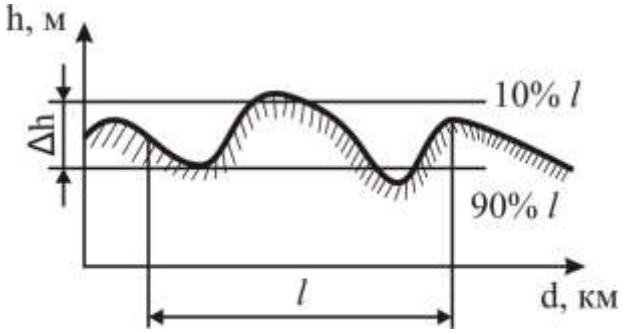

Рис. 7.12. Нерівність рельєфу місцевості [17]

Поправка, яка враховує відхилення реального рельєфу місцевості від значення $\Delta h = 50$, приведено в табл. 7.2 [19].

Табл. 7.2. Значення коефіцієнта ослаблення $B_{осл}$ в залежності від нерівності рельєфу

Δh, м	$d < 100$	$d > 200$	Δh, м	$d < 100$	$d > 200$
30	-2	-1	170	8	
40	-1		190	9	
50	0	0	210	10	
70	1		230	11	
90	3		250	12	6
110	4		290	13	
120	5		330	14	
140	6		360	15	
150	7	3,5	500	16	8

Значення коефіцієнта ослаблення $B_{осл}$ наведені для відстаней (d) до 100 і понад 200 км. Для відстаней 100...200 км застосовується лінійна інтерполяція.

Висота встановлення антен радіостанцій обирається із сімейства кривих (рис. 7.10) і залежить від рельєфу місцевості [20]. Місцевість можна вважати плоскою, якщо виконується умова

$$h_{\max} - h_{\min} \le h_a / 5,$$

де $h_{\max} - h_{\min}$ – максимальна різниця рівнів місцевості в області планованого радіусу дії радіостанції; h_a – висота підйому антени над землею в місці її встановлення.

На плоскій місцевості висота антени приймається рівній дійсній висоті підйому антени стаціонарної радіостанції. Якщо місцевість не можна вважати плоскої (але вона й не гористого характеру), то висоту підйому антени варто визначати відносно середнього рівня місцевості за умови, що планується мережа з радіусом дії до 15 км.

Мінімальні значення захищеної напруженості поля корисного сигналу, при яких забезпечується висока якість радіозв'язку в залежності від поля частот приведено в табл. 7.3 [20, 21]:

Таблиця 7.3. Мінімальні значення захищеної напруженості поля корисного сигналу

Діапазон частот, МГц	**Мінімальне значення напруженості електричного поля корисного сигналу** $E_{\min}$	
	дБ	мкВ/м
30...50 МГц	8	2,5
100...200 МГц	20	10
300...350 МГц	25	18

При розрахунку умов забезпечення заданої дальності радіозв'язку в УКХ діапазоні, мінімальне значення напруженості поля корисного сигналу $E_{\min}$, дБ, при якому забезпечується висока якість радіозв'язку, приймається рівним 20 дБ (10 мкВ/м).

При одночасній роботі близько розташованих радіостанцій, які працюють у різних радіомережах (на різних несучих частотах), виникає проблема забезпечення їхньої електромагнітної сумісності, тобто проблема забезпечення спільної роботи радіостанцій без взаємних перешкоджаючих впливів. Під перешкоджаючими впливами, насамперед, розуміється вплив передавача однієї радіостанції на приймач іншої радіостанції, рознесених між собою територіально і по частоті. Перешкоджаючі впливи повинні враховуватися, в першу чергу, у частині блокування корисного сигналу. Результати експериментальних досліджень прийомопередавачів стаціонарних та возимих радіостанцій, показали, що для забезпечення заданої якості й надійності радіозв'язку (заданого відношення сигнал/шум на виході низькочастотного тракту приймача) у випадку перевищення припустимого рівня перешкоджаючого сигналу, потрібне пропорційне збільшення рівня корисного сигналу на вході приймача [22]. Таким чином, для забезпечення радіозв'язку із заданою якістю й надійністю (при відомій величині перевищення припустимого рівня перешкоджаючого сигналу $\Delta E_{доп}$, дБ) необхідно мінімальну величину напруженості $E_{\min}$ поля збільшити на величину $\Delta E_{доп}$ (тобто на те ж число децибелів).

Визначення дальності радіозв'язку необхідно проводити виходячи з мінімального значення напруженості поля з урахуванням впливу рельєфу місцевості, вихідної потужності передавача, загасання рівня сигналу в антенно-фідерних трактах передавача ($\beta_1 l_1$) і приймача ($\beta_2 l_2$), коефіцієнтів підсилення передавальної (G_1) і приймальної (G_2) антен, величини перевищення припустимого рівня перешкоджаючого сигналу ($\Delta E_{доп}$).

Таким чином, величина напруженості поля корисного сигналу визначається за формулою [22]:

$$E_к = E_{\min} + B_{осл} - B_M + \beta_1 l_1 - G_1 + \beta_2 l_2 - G_2 + \Delta E_{доп}, \qquad (7.5)$$

де $E_{\min}$ – мінімальне значення захищеної напруженості поля корисного сигналу, дБ; $B_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення в залежності від нерівності рельєфу, дБ; B_M – поправочний коефіцієнт, який враховує відмінність потужності передавача від 10Вт, дБ; β_1 та β_2 – коефіцієнти погонного загасання фідерного тракту передавача й приймача відповідно, дБ/м; l_1 та l_2 – довжина фідерного тракту передавача радіостанції і приймача радіостанції відповідно, м; G_1 та G_2 – коефіцієнти підсилення антен передавача й приймача відповідно, дБ; $\Delta E_{доп}$ – величина перевищення припустимого рівня перешкоджаючого сигналу, дБ.

Для прикладу, проведемо розрахунок умов забезпечення необхідної дальності радіозв'язку в мережі, що працює на частоті 148 МГц на пересіченій місцевості ($\Delta h = 150$).

Максимальне віддалення ПЗЧ від ЧЧ ОДС ОКЦ – 35 км. Перевищення допустимого рівня перешкоджаючого сигналу – 1 дБ. Потужність передавачів радіостанцій рівна 35 Вт. Довжина фідерного тракту антени ЧЧ ОДС ОКЦ – 10 м, ПЗЧ – 8 м.

Розрахунок доцільно виконувати за таким алгоритмом:

1. Визначаємо мінімальну напруженість поля, яка відповідає робочій частоті 148 МГц за табл. 7.3. Ця величина складає 20 дБ.
2. Визначаємо додатковий коефіцієнт ослаблення $B_{осл}$ за табл. 7.2. Для $\Delta h = 150$ і $d < 100$ км він складає 7 дБ;
3. Знаходимо поправочний коефіцієнт для потужності випромінювання 35 Вт за графіком приведеним на рис. 7.11. $B_M = 5,5$ дБ.
4. Визначаємо остаточне значення напруженості поля в точці прийому:

$$E_к = E_{\min} + B_{осл} - B_M + \beta_1 l_1 - G_1 + \beta_2 l_2 - G_2 + \Delta E_{доп} =$$
$$= 20 + 7 - 5,5 + 10 \cdot 0,15 - 2,5 + 8 \cdot 0,15 - 1,5 + 1 = 21,2 дБ.$$

За отриманою величиною напруженості поля корисного сигналу на вході приймача $E_к = 21,2 дБ$ і заданому віддаленню ПЧ від ЧЧ ОДС ОКЦ (заданій дальності радіозв'язку) = 35 км за допомогою графіків (рис. 7.10) визначається добуток висот антен $h_1 h_2 = 150 м^2$. З отриманого добутку висот вибираються необхідні висоти стаціонарних антен ЧЧ ОДС ОКЦ $h_1 = 15 м$ і віддаленої ПРЧ – $h_2 = 10 м$.

Користуючись викладеним вище алгоритмом розрахунку, можна визначити максимальну дальність радіозв'язку між ЧЧ ОДС ОКЦ і пожежно-рятувальними автомобілями. У цьому випадку висота установки антени на автомобілі приймається рівною 2 м.

РОЗДІЛ 8. РУХОМІ ПУНКТИ УПРАВЛІННЯ

8.1. Принципи побудови рухомих пунктів управління

8.1.1. Призначення й особливості застосування рухомих пунктів управління

Рухомі пункти управління (РПУ) є самостійними елементами в загальній системі управління підрозділами ОРС ЦЗ. Поряд з іншими пунктами управління РПУ забезпечують управління підрозділами в будь-яких умовах обстановки при ліквідації НС. Основне призначення РПУ полягає в забезпеченні безперервного управління підрозділами при організації ліквідації складних НС в умовах відриву від загальнодоступних комунікаційних й інформаційних систем.

Використання РПУ викликане необхідністю забезпечення інформаційного супроводу ліквідації складних (затяжних) НС в польових умовах, при виведення виведенні з ладу систем зв'язку загального користування. РПУ можуть розміщуватися на літаках і вертольотах (повітряні пункти управління – ПовПУ), автомобілях і бронетранспортерах (командно-штабні машини КШМ), а також на поїздах і кораблях.

Технічну основу будь-якого РПУ складає рухомий вузол зв'язку (РВЗ). Рухливим вузлом зв'язку називається вузол зв'язку, розміщений у певному транспортному засобі й призначений для забезпечення зв'язку в русі. Відповідно до призначення РВЗ повинен забезпечувати виконання таких функцій:

- бути транспортним засобом для командира й офіцерів пункту управління, що забезпечує захист від впливу несприятливих факторів НС;
- забезпечувати засекречений телефонний і телеграфний зв'язок з керівниками вищестоячих, підлеглих і взаємодіючих ланок управління;
- забезпечувати дистанційне управління радіозасобами при виході командира й офіцерів з машини, а також ретрансляцію передач;
- забезпечувати прийом і передачу формалізованих команд управління;
- вирішувати завдання навігаційних вимірів по визначенню місця розташування й топоприв’язки РПУ;
- забезпечувати зручність роботи офіцерів РПУ з оперативними документами.

Таким чином, рухомі вузли зв'язку є складними комплексами радіоелектронних засобів зв'язку, засекречування, що забезпечують вирішення завдань по керуванню підрозділами при ліквідації складних НС у польових умовах (або при відмові систем зв'язку загального користування).

Складність побудови й забезпечення надійного функціонування рухомих вузлів зв'язку визначається особливостями їхнього застосування. Найбільш яскраво, ці особливості проявляються при експлуатації рухомих вузлів зв'язку управління при ліквідації складних НС. Розглянемо деякі з них.

1. Зосередження великої кількості радіоелектронних засобів різного призначення в обмеженому об’ємі рухомих об'єктів призводить до значних взаємних перешкод.
2. Робота рухомих вузлів зв'язку переважно в русі в складних умовах пересіченої місцевості й бездоріжжя визначає значні механічні навантаження на радіоелектронну апаратуру (удари, тряска, віюрація, хитання).
3. Слабкий захист радіоелектронної апаратури від впливів кліматичного характеру (дощ, сніг, спека, мороз), перепадів тиску й температури визначає необхідність підвищених вимог до надійності її функціонування.
4. Обмежені потужності передавачів і застосування малоефективних антенних пристроїв рухомих об'єктів при забезпеченні зв'язку на пересіченій місцевості обумовлюють використання радіозасобів різних типів, що працюють у діапазонах ВЧ і ДВЧ. Одночасна робота радіозасобів призводить до значних взаємних перешкод.
5. Вплив працюючих систем рухомої бази на роботу радіоелектронних засобів і специфічні перешкоди рухомих об'єктів призводять до істотного зниження якості зв'язку й передачі даних.

Основні функції й особливості застосування рухомих вузлів зв'язку визначають вимоги, які висуваються до них:

- висока надійність радіоелектронних засобів зв'язку, засекречування, АСЗ, визначається як здатність зберігати свої технічні характеристики в жорстких умовах експлуатації й значних кліматичних впливів;
- висока мобільність, реалізована на основі високої швидкості переміщення, високої прохідності рухомої бази, швидкості розгортання (згортання) антенних пристроїв й агрегатів електроживлення, а також підготовки до роботи радіоелектронної апаратури;
- можливість роботи в русі;
- можливість роботи з коротких зупинок з використанням антенних пристроїв підвищеної ефективності;
- простота експлуатації різної радіоелектронної апаратури і зручність її комутації в різних режимах роботи;
- зручність роботи офіцерів з оперативними документами й можливість одночасного ведення зв'язку з будь-якого робочого місця РВЗ;
- забезпечення ретрансляції передач інших радіозасобів, а також

дистанційне управління кожною з радіостанцій РВЗ та ведення засекреченого зв'язку з винесеного пульта;
- забезпечення тривалого часу роботи апаратури при автономному електроживленні або при використанні електроживлення інших вузлів зв'язку;
- забезпечення електромагнітної сумісності при одночасній роботі різних радіоелектронних засобів і систем рухомого об'єкта.

8.1.2. Структурна схема й коротка характеристика елементів рухомого вузла зв'язку

Структурна схема РВЗ представлена на рис. 8.1.

Рис. 8.1. Структурна схема РВЗ

Елементами рухомого вузла зв'язку є:
- транспортна база;
- засоби зв'язку (ЗЗ);
- апаратура автоматизованої системи зв'язку (АСЗ);
- навігаційна апаратура (НА);
- апаратура життєзабезпечення (ЖЗ);
- система електроживлення (ЕЖ).

Розглянемо детально основні з елементів РВЗ. Транспортна база рухомого вузла зв'язку складає його основу. Вибір транспортної бази РВЗ залежить від характеру завдань, які на нього покладаються. Як транспортна база РВЗ найбільш часто застосовуються автомобілі ГАЗ-66 (КШМ Р-125МТ-2, Р-142Н,Г), автомобільні шасі КамАЗ, УралАЗ, а також колісні бронетранспортери БТР-60ПБ (КШМ Р-145БМ), БТР-80. Сучасні рухомі вузли зв'язку (рис. 8.2) комплектуються, як правило, на базі гусеничних транспортерів БМП-1, МТЛ 64-60 (КШМ М-21, М-31).

Рис. 8.2. Сучасна КШМ на бронешасі

Основними вимогами, які висуваються до транспортної бази, є:

- висока прохідність, що забезпечує можливість пересування РПУ безпосередньо до місця проведення робіт з ліквідації НС;
- здатність долати водні перешкоди, можливість пересування по забрудненій (внаслідок викиду СДОР, техногенної аварії) місцевості;
- велика швидкість руху і запас ходу, що забезпечує вирішення завдань;
- вантажопідйомність і місткість.

Транспортна база багато в чому визначає мобільність і живучість РВЗ.

Засоби зв'язку РВЗ можуть бути представлені радіостанціями, радіорелейними станціями, а також станціями космічного зв'язку.

Для рухомих вузлів зв'язку управління основним засобом зв'язку є малопотужні радіостанції, що працюють у різних діапазонах частот. Це обумовлено основним призначенням РВЗ й особливостями забезпечення зв'язку в русі.

Засоби радіозв'язку складають основну частину апаратурного комплексу РВЗ, що забезпечує каналоутворення з іншими об'єктами управління. Засоби радіозв'язку включають:

- основне встаткування (радіостанції, радіоприймачі, підсилювачі потужності);
- антенно-фідерні пристрої (антени, фідера живлення, погоджувальні пристрої, блоки індикації);
- кінцеві пристрої (мікротелефонні трубки, гарнітури, телефонні апарати, шоломофони, динаміки, телеграфні ключі, датчики коду Морзе, диктофони);

– комутаційне устаткування (блоки радиста, командира, офіцерів, пульти управління, пристрої внутрішнього зв'язку).

Командно-штабні машини звичайно комплектуються 4...5 бортовими радіостанціями, або бортовими й портативними радіостанціями з підсилювачами потужності, що працюють у діапазоні ВЧ та ДВЧ.

До основних типів радіостанцій і радіоприймачів, які використовуються в КШМ є Р-111, Р-123, Р-130, Р-159, Р-163, Р-171, Р-326. Командно-штабні машини останніх зразків комплектуються новими радіостанціями Р-173 і Р-134.

Антенно-фідерні пристрої повинні забезпечувати роботу кожної з радіостанцій. Окремі антени можуть використовуватися як приймальні при одночасній роботі радіостанції й радіоприймача. Підключення антен до радіостанцій здійснюється за допомогою фідерів живлення, що підключають до антенних введень. Погоджувальні антенні пристрої (ПАП), виносні погоджувальні пристрої (ВПП), блоки узгодження (БУ) і блоки комутації (БК) забезпечують узгодження виходів передавачів різних радіостанцій з відповідними антенними пристроями. Блоки індикації (БІ) слугують для контролю наявності й величини випромінюваної потужності.

Кінцеві пристрої призначені для передачі й прийому телефонної або телеграфної інформації безпосередньо з робочих місць офіцерів, радистів, а також з лінії дистанційного управління радіостанціями.

Комутаційне устаткування забезпечує зручність експлуатації кожної з радіостанцій РВЗ. Воно повинне передбачати можливість підключення до кожної з радіостанцій або радіоприймача кінцевих пристроїв будь-якого робочого місця. Це здійснюється за допомогою спеціальних пультів радиста (ПР), командира (ПК) і офіцерів (ПО). Підключення кінцевих пристроїв до радіостанцій може бути безпосереднім, або через апаратуру засекречування. За допомогою комутаційного устаткування здійснюються також внутрішні переговори в русі між офіцерами РПУ, членами екіпажу й гучномовний прийом по кожній з радіостанцій. Крім того, комутаційне устаткування використовується для підключення апаратури передачі даних (АСЗ) до відповідних радіоканалів. У сучасних РВЗ апаратурні комплекси АСЗ використовуються для прийому й передачі формалізованих команд управління й збору інформації. Для їхньої роботи організовуються окремі радіоканали, причому радіостанції постійно закріплюються за цими каналами й не використовуються для потреб зв'язку. Апаратура АСЗ розміщується в рухомому об'єкті окремо від апаратури радіозв'язку в спеціальних обгороджених відсіках. Навігаційна апаратура й апаратура життєзабезпечення відноситься до спеціального устаткування рухомого об'єкта.

Система електроживлення є однієї з основних систем РВЗ. Вона включає первинні й вторинні джерела живлення. Як первинні джерела живлення РВЗ використовуються:

– пересувні бензоелектричні агрегати, що забезпечують однофазне живлення змінним струмом з напругою 220В (АБ-1-

0/230), або постійним струмом з напругою 30В (АБ-1-П/30);
- мережа змінного струму напругою 220В, 50 Гц;
- акумуляторні батареї (борт-мережа 30В);
- система відбору потужності від маршового двигуна з генератором постійного струму напругою 30В.

При русі РВЗ живлення апаратури здійснюється, як правило, від борт-мережі. На стоянці звичайно здійснюється буферне включення бортових акумуляторів і бензоелектричного агрегату. Система відбору потужності використовується в період розгортання з метою збереження ресурсу основного двигуна.

Вторинними джерелами живлення є різні перетворювачі напруги (блоки живлення), що забезпечують набір необхідних градацій напруг для живлення різних радіоелектронних засобів. Блоки живлення є окремими самостійними елементами, що входять до комплекту кожного з апаратурних комплексів.

8.1.3. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів рухомих вузлів зв'язку. Шляхи зниження взаємних перешкод

Під електромагнітною сумісністю радіоелектронних засобів розуміється здатність функціонувати без погіршення якісних показників апаратури й каналів зв'язку в заданій електромагнітній обстановці.

Електромагнітна обстановка визначається кількістю й потужністю джерел випромінювання, а також їхнім віддаленням від об'єкта. Чим більша потужність джерел випромінювання, їхня кількість і взаємна наближеність, тим складніша електромагнітна обстановка.

Кількісно електромагнітна обстановка оцінюється відношенням потужності електромагнітного поля корисного сигналу $E_{кс}$ до сумарної потужності електромагнітних полів джерел, що заважають, $E_{зс}$ випромінювання в місці прийому $E_{кс}/E_{зс}$.

Радіоелектронні засоби РВЗ розміщуються в обмеженому об’ємі рухомих об'єктів. Передавальні й прийомні антени радіостанцій перебувають у безпосередній близькості одна біля іншої. Сумарне електромагнітне поле навколо рухомого об'єкта, створюване за рахунок випромінювання радіопередавачів, що працюють на різних частотах й у різних діапазонах хвиль, призводять до значного взаємного впливу радіозасобів.

Безпосередня близькість радіоелектронних засобів РВЗ спричиняє також можливість взаємного впливу формально не випромінюючих систем (наприклад, гетеродинів радіоприймачів, системи запалювання рухомого об'єкта, перетворювачів вторинних джерел живлення). Таким чином, радіоелектронні засоби рухомих вузлів зв'язку працюють в умовах взаємних перешкод.

Розглянемо основні класи випромінювань радіоелектронних засобів РВЗ, що створюють сумарне електромагнітне поле взаємних перешкод. До них відносяться:

– побічні випромінювання передавача на гармоніках робочих частот:

$$f_{поб} = n \cdot f_{р}. \qquad (8.1)$$

Випромінювання на гармоніках в основному обумовлені нелінійним режимом посилення тракту передавача (режим з відсіченням струму). Фільтруючі здатності резонансних навантажень підсилювальних каскадів передавачів забезпечують лише істотне ослаблення гармонійних складових. При безпосередній близькості радіозасобів такі випромінювання, однак, створюють електромагнітні поля великої потужності;

– побічні випромінювання передавачів на супутніх частотах.

Такі випромінювання з'являються за рахунок формування сітки частот із застосуванням інтерполяційних, схем, а також схем множення частоти в трактах посилення

$$f_{поб} = n \cdot f_{г1} \pm m \cdot f_{г2}, \; f_{поб} = n \cdot f_{г1}, \qquad (8.2)$$

де $f_{г1}$, $f_{г2}$ – частоти гетеродинів або генераторів гармонік.

Прикладом цьому можуть служити схеми формування сітки частот у радіостанціях Р-130, де як частоти $f_{г1}$ та $f_{г2}$ використовуються коливання блоків рідкої та частої сітки частот. Множення частоти діапазонного збудника застосовується в радіостанції Р-111;

– побічні випромінювання передавачів на комбінаційних частотах (перешкоди взаємної модуляції).

Комбінаційні перешкоди виникають при одночасній роботі на передачу двох і більше передавачів. Наявність нелінійних елементів у вихідних ланцюгах передавачів при значних взаємонаведених напругах спричиняє появу випромінювання на частотах, відмінних від частот настроювання передавачів

$$f_{поб} = n \cdot f_{р1} \pm m \cdot f_{р2}, \qquad (8.3)$$

де $f_{р1}$, $f_{р2}$ – робочі частоти одночасно працюючих передавачів;

– випромінювання опорних генераторів (гетеродинів радіоприймачів)

$$f_{поб} = n \cdot f_{ог}. \qquad (8.4)$$

Незважаючи на малі потужності випромінювання опорних генераторів, створювані ними, можуть виникати істотні електромагнітні поля й вражати канали радіоприйому. Прикладом цьому може бути випромінювання опорного генератора радіостанції Р-111;

– специфічні випромінювання систем рухомої бази.

Причинами виникнення таких випромінювань є робота систем запалювання автомобіля, зміна контактного опору між корпусом об'єкта, що рухається, і поверхнею, що підстилає, розряди електростатичної електрики, які наводяться на корпусі об'єкта при його русі.

Ефективність впливу електромагнітних полів різних класів випромінювань на роботу радіозасобів визначаються кількістю побічних каналів прийому. Побічні канали прийому обумовлені принципами обробки сигналів у радіоприймачах супергетеродинного типу, обмеженим діапазоном підсилювачів радіочастоти й режимами роботи перетворювачів частоти. Найбільш характерними класами побічних каналів прийому є:

1. Канали блокування або забиття корисного сигналу потужним позасмуговим випромінюванням. Ефект блокування проявляється при близькому розташуванні частот прийому з основними частотами передачі або інших частот, на яких випромінюються потужні сигнали перешкод. Близьке розташування передавачів РВЗ спричиняє значні потужності електромагнітних полів побічних випромінювань, здатних блокувати основний канал радіоприйому.
2. Канали перехресної модуляції. Причиною перехресної модуляції є наявність нелінійності в каскадах загальних трактів прийому радіоприймачів. При цьому посилення каскадів змінюється із частотою модуляції сигналу, який заважає.
3. Канали на комбінаційних і проміжних частотах. Наявність потужного електромагнітного поля в широкому діапазоні радіочастот РВЗ призводить до недостатності динамічних діапазонів трактів радіочастоти радіоприймачів. Це спричиняє нелінійний режим їхньої роботи, що призводить до появи каналів прийому на субгармоніках і дзеркальних каналах. Можливість «просочування» сигналів перешкод на частотах $f_{пч}$ при цьому також істотно зростає. Придушення дзеркальних перешкод трактами радіочастоти також виявляється недостатнім.

Кількість побічних каналів прийому різних класів визначається з умови

$$f_{поб} = \frac{n}{m} \cdot f_0 \pm \frac{n \pm 1}{m} f_{пч}, \qquad (8.5)$$

де f_0 – частота настроювання радіоприймача, $f_{пч}$ – проміжна частота.

Основними шляхами зниження взаємних перешкод радіоелектронних засобів РВЗ є [1, 23]:

- раціональний розподіл і призначення робочих частот радіостанцій, що враховує найменшу кількість комбінаційних випромінювань, використання формалізованих таблиць і графіків при призначенні частот РВЗ;
- поліпшення технічних характеристик радіостанцій (передавачів і радіоприймачів), що забезпечує найменший рівень супутніх випромінювань; у якості одного з заходів у цьому напрямку є застосування радіозасобів РВЗ із єдиним принципом формування сітки частот;
- організоване використання радіозасобів, що працюють на передачу, зменшення одночасно працюючих станцій, скорочення часу на переговори, застосування апаратури швидкодії;
- ретельне екранування радіоелектронних пристроїв і систем рухомого об'єкта, що виключає несанкціоноване випромінювання;
- передача й прийом інформації при зменшенні швидкості руху об'єкта й з коротких зупинок.

8.2. Командно-штабні машини Р-145БМ і Р-142Н. Тактико-технічні характеристики, структурна схема, склад і призначення основних елементів КШМ

Командно-штабні машини Р-145БМ і Р-142Н відносяться до РПУ, використовуваних в основному для організації управління підрозділами ОРС ЦЗ у польових умовах і при виході з ладу систем зв'язку загального призначення. У технічному відношенні кожна з КШМ є РВЗ, що має практично однакову комплектацію переліку радіозасобів і спецапаратури. Відмінні риси КШМ полягають у відмінностях їхньої рухомої бази.

Командно-штабна машина Р-145БМ розміщується на плаваючому бронетранспортері БТР-60ПБ (без башти). Командно-штабна машина Р-142Н (рис. 8.3) комплектується на базі автомобіля ГАЗ-66. У порівнянні з іншими подібними КШМ вона має зменшений по висоті кузов.

Розглянемо основні технічні характеристики РВЗ на прикладі КШМ Р-145БМ.

Радіозасоби КШМ працюють у діапазоні частот (1,5...52) МГц.

Кількість фіксованих частот, крок сітки частот, способи формування сигналів і стабілізації частоти визначаються типами комплектуючих радіостанцій Р-111, Р-130М, Р-123М, що становлять радіоустаткування КШМ.

Випромінювані потужності передавачів також визначаються відповідними даними радіозасобів.

Дальність радіозв'язку, забезпечувана радіозасобами КШМ Р-145БМ, залежить від типу використовуваної антени, діапазону частот і класу

випромінювань. Дальність радіозв'язку при роботі з типовими радіозасобами показана в табл.8.1 [23].

Рис. 8.3. Загальний вигляд комбінованої радіостанції Р-142Н в похідному стані

Табл. 8.1. Дальність радіозв'язку при роботі з типовими радіозасобами КШМ Р-145БМ і Р-142Н

Тип радіостанції	**Тип антени**	**Класи випромінювань**	**Діапазон частот (МГц)**	**Дальність зв'язку (км)**
Р-130М	АЗВ симетричний	А3А А1	2...10,99	350
	АЗВ несиметричний	А3А А1	1,5...10,99	45
	Похилий диполь	А3А А1	1,5...10,99	350
Р-111	АШ-3,4	F3	20...52	30
	ШДА-16	F3	30...52	75
Р-123	АШ-4	F3	20...51…51,5	20

Все устаткування РВЗ розміщене в корпусі бронеоб'єкта з урахуванням забезпечення експлуатаційних характеристик і зручності роботи. Внутрішня частина бронетранспортера розділена приладовою стійкою на два відсіки: передній – командирський і задній – апаратний. Кожний з відсіків має свій вхідний люк.

Радіоустаткування КШМ представлене наступними елементами:

- радіостанція Р-111 – 2 комплекти*;*
- радіостанція Р-130М – 1 комплект;
- радіостанція Р-123М – 1 комплект.

До складу радіостанцій Р-111 входять два прийомопередавачі, два блоки живлення (вторинні джерела живлення), здвоєний ПАП з антенним розподільником і блоком автоматики.

До складу радіостанції Р-130М входять прийомопередавач, блок живлення (вторинне джерело живлення), виносний погоджувальний пристрій ВСУ-А, блок узгодження БУ і блок регулювання БР.

До складу радіостанції Р-123М входять прийомопередавач і блок живлення (вторинне джерело живлення).

Антенно-фідерне устаткування КШМ Р-145БМ включає такі типи антен:

Для радіостанції Р-111 – штирова антена висотою 3,4 м (АШ-3,4) і широкодіапазонна антена на телескопічній щоглі висотою 16 м (ШДА-16). Об'ємний вібратор антени має висоту 2,8 м і обладнаний 8-ма противагами довжиною по 2 м.

Для радіостанції Р-123М – танкова штирова антена висотою 4 м (АШ-4).

Для радіостанції Р-130М – антени зенітного випромінювання (АЗВ) і симетричний похилий диполь (ПД).

АЗВ розташована на даху БТР-60 ПБ (піднімальна висота 0,5 м).

Вона використається для зв'язку просторовою хвилею (симетричне підключення), і для зв'язку земною хвилею (несиметричне підключення). Перехід від одного способу підключення до іншого здійснюється перемикачем узгодження (БУ).

У симетричному варіанті підключення АЗВ, випромінювання енергії забезпечується горизонтальними проводами. Максимум анергії випромінювання при цьому спрямований під кутом 60...90° до горизонту. У несиметричному варіанті випромінювання забезпечується проводами зниження. Максимум енергії випромінювання спрямований вздовж землі.

Блок узгодження (БУ) забезпечує узгодження симетричного виходу передавача й входу приймача радіостанції Р-130М з АЗВ. При роботі земною хвилею для узгодження несиметричного варіанта АЗВ додатково використовується блок регулювання (БР).

Антена симетричний похилий диполь (ПД) розгортається на телескопічній щоглі висотою 12 м. Довжина променів антени становить 15м або 25м. Антена використовується для забезпечення зв'язку просторовими хвилями в діапазоні (1,5...6) МГц, або (5,5...10,99) МГц.

Комутаційне встаткування КШМ Р-145БМ забезпечує управління із шести робочих місць (двох робочих місць командира, робочого місця офіцера, двох робочих місць радистів і робочого місця механіка-водія). Кожне робоче місце комплектується відповідним пультом командира (ПК-1, ПК-2), офіцера (ПО), водія (ПВ). Пульт радиста (ПР) має два робочих місця. Управління радіостанціями, а також внутрішній зв'язок здійснюється за допомогою шести нагрудних перемикачів. Управління радіостанціями Р-111 і Р-130М можливе з будь-якого робочого місця, крім робочого місця механіка-водія. Внутрішній зв'язок РВЗ може бути як циркулярним, так і індивідуальним. Циркулярний зв'язок організовується лише з пультів командира (ПК-1, ПК-2) і офіцера (ПО). При роботі

командира із застосуванням апаратури засекречування передбачається блокування роботи всіх основних радіозасобів на передачу.

Для забезпечення дистанційного управління радіостанціями по двом двопровідним лініям використовується блок провідного зв'язку (БПЗ). Дистанційне управління радіостанціями із застосуванням апаратури засекречування передбачається тільки по лінії №1. Контроль зайнятості радіостанцією здійснюється за допомогою світлової індикації на пультах ПК-1, ПК-2, ПО, ПР. Система електроживлення КШМ включає:

- бензоелектричний агрегат АБ-1-П/30;
- пристрій відбору потужності з генератором Г-290, реле-регулятором РР-361 і фільтром Ф-5;
- зовнішню мережу напругою 220В и частотою 50Гц із випрямлячем, що забезпечує одержання постійної напруги 26В;
- дві батареї, включених послідовно, акумуляторів СТ-68ЭМ (бортмережа 26В ±10%);
- ввідний щит, призначений для підключення кабелів електроживлення від бензоелектричного агрегату й зовнішньої мережі, який забезпечує автоматичне відключення зовнішньої мережі при відсутності заземлення КШМ або появи на корпусі напруги понад 36В.

8.3. Використання КШМ підрозділами ОРС ЦЗ України

За умов виникнення надзвичайної ситуації на сучасному промисловому об’єкті, транспортному об’єкті, в житловому секторі (масиві) або на природному об’єкті гостро постає питання про забезпечення безпеки людини, про запобігання значним економічним, екологічним, врешті, культурним збиткам. Відомо, що сучасний постіндустріальний світ характеризується використанням енергоємних, надзвичайно небезпечних технологій (ядерна, хімічна, нафтохімічна промисловість), що створює додатковий ризик небезпеки для людини в сучасному суспільстві. При розвитку надзвичайної ситуації в промисловості, можливий швидкий розвиток подій, при цьому небезпечні фактори, що супроводжуватимуть розвиток НС, впливатимуть на значно більшій площі ніж площа об’єкту, на якому сталася аварія, створюючи загрозу для людського населення, екології та економіки держави. В Україні існує понад 1000 підприємств, аварія на яких може отримати статус надзвичайної ситуації державного рівня.

Розвиток надзвичайних ситуацій на об’єктах природи (а це такі НС, як забруднення річок та вододжерел небезпечними матеріалами, крупно масштабні лісові пожежі, паводки, селі, зсуви ґрунтів тощо) також призводить до колосальних економічних, екологічних збитків та може спричинити людські жертви. Непоодинокими стали масштабні та

резонансні аварії на транспорті, чи то залізничному, морському, чи автомобільному.

А тому, основним фактором, який відіграє роль при ліквідації вказаних надзвичайних ситуацій, стає час реагування підрозділів оперативно-рятувальної та аварійної служб.

Значний вплив на час реагування оперативних підрозділів МНС справляють системи зв'язку, що використовуються відповідними службами. Під час організації робіт з ліквідації масштабної НС постає питання встановлення та підтримки зв'язку між підрозділами, задіяними на ліквідації НС та штабом ліквідації НС; між штабом та інформаційними системами міністерства з питань НС (черговими частинами ОКЦ в регіоні), інших міністерств, відомств, служб; між штабом та спеціалістами, які обізнані з питань, пов'язаних з ліквідацією НС, але не можуть бути безпосередньо присутніми на місці НС.

Як результат впливу чинників НС, системи зв'язку загального користування можуть бути виведені з ладу (наприклад, під час руйнування Всесвітнього торгового центра в Нью-Йорку восени 2001 року компанія Verizon, найбільший провайдер послуг зв'язку, втратила 200 тис. телефонних ліній, 150 тис. ліній УАТС, 3,7 млн. ліній передачі даних (data circuits) і 10 стільникових ретрансляторних сайтів, що вивело з ладу системи зв'язку, які обслуговували понад 30 тис. абонентів) [12]. Тому, використання і експлуатація підрозділами ОРС ЦЗ рухомих вузлів зв'язку (РВЗ) є елементом, який забезпечує готовність підрозділів до ліквідації масштабних НС.

Таблиця 8.2. Табель належності пересувного пункту керування начальника ГУ(У)МНС України в області

№ п/п	**Назва технічного засобу**	**Один. виміру**	**К-сть**
1	2	3	4
1	Автомобіль підвищеної прохідності з КУНГ для розміщення обладнання зв`язку та робочих місць працівників штабу ліквідації НС	комплект	1
2	УКХ радіостанція автомобільна	штук	1
3	УКХ радіостанція автомобільна резервна		1
4	УКХ радіостанція для організації зв`язку взаємодії		*
5	УКХ радіостанція переносна		8
6	Зарядний пристрій для акумуляторів переносних р/станцій груповий		2
7	Радіоподовжувач телефонної лінії до 50 км	комплект	1
8	Переносний УКХ ретранслятор		*
9	Телефонний апарат АТС	штук	2
10	Комутатор польовий типу П-193	комплект	1
11	Апарати телефонні польові типу ТА-57	штук	10
12	Кабель польовий П-274 (П-275)	км	5
13	Котушка телефонна Т-2	штук	10
14	Установка гучномовна типу ГУ-20, СГУ-60	комплект	1
15	Радіотрансляційний вузол типу ТУ-100	комплект	1
16	Виносні гучномовці типу ГР-1	штук	3
17	Тестер		1

Продовження таблиці 8.2

1	2	3	4
18	ПЕОМ	комплект	1
19	Факс-модем для ПЕОМ		1
20	Факс (при відсутності ПЕОМ)		1
21	Пристрій безперебійного живлення		1
22	Акумуляторна батарея /типу НК 125/ 12/26 В для живлення радіостанцій		1
23	Зарядний пристрій для акумуляторних батарей 12/26 В		1
24	Щогла телескопічна 16 метрів		1
25	Антенно фідерні пристрої для забезпечення роботи УКХ радіостанцій в транспортному та стаціонарному режимі експлуатації (на всі радіостанції змонтовані на ППК)		
26	Бензоелектростанція до 4 кВт		1
27	Інструмент радіомайстра	комплект	1
28	Кабель електричний типу КГ для підключення до зовнішньої електромережі	м	100
29	Діелектричні рукавиці та боти	комплект	1

*Примітка: * – відповідно до схем організації зв`язку*

Проектом *Настанови із організації зв'язку та інформаційних систем в МНС України* передбачено використання пересувних пунктів управління (ППУ) начальників ГУ(У)МНС України в областях при організації управління підрозділами ОРС ЦЗ при ліквідації масштабних НС (табл. 8.2). Дані ППУ в гарнізонах МНС створені на базі РВЗ типу Р-142Н,Г та Р-145БМ.

Однак, вказані типи РВЗ не повністю відповідають вимогам, які висуваються до них, оскільки дані комплекси були створені для потреб управління підрозділами збройних сил. Наприклад, частотний діапазон комплексів апаратури (1,5…52 МГц), які встановлені в даних КШМ, не повністю відповідає частотному діапазонові, який використовується підрозділами ОРС ЦЗ (1,5…173 МГц).

Тому, постає питання про модернізацію комплексів апаратури встановленої на КШМ, які знаходяться на озброєнні підрозділів ОРС ЦЗ. Переоснащення КШМ може проводитися на базі технічної частини ГУ(У)МНС в областях. При цьому слід визначити основні напрямки переоснащення РВЗ:

- встановлення мобільних радіокомплексів, які працюють в діапазоні 148…173 МГц;
- демонтаж застарілих радіокомплексів, які працюють в діапазоні 20…52 МГц (радіостанції типу Р-111 та Р-123); при цьому слід залишити одну радіостанцію, яка працює у вказаному діапазоні, для організації зв'язку взаємодії зі службами, які мають радіочастотний ресурс 20…52 МГц;
- заміна ранцевих радіостанцій типу Р-107М (Р-159) на носимі УКХ радіостанції, які працюють в діапазоні 148…173 МГц;

- використання систем передачі даних на основі розгорнутих систем GSM (CDMA) зв’язку загального користування;
- організація автоматизованого робочого місця (АРМ) або системи підтримки рішення на базі ПК планшетного типу з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання (прогнозування) розвитку НС.

8.3.1. Модернізації КШМ Р-142Г проведена на базі Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

Модернізація КШМ Р-142Г (рис. 8.4) проведена з метою приведення її тактико-технічних даних до вимог, які висуваються особливостями діяльності підрозділів ОРС ЦЗ.

Рис. 8.4. Модернізована КШМ Р-142Г на тактико-спеціальних навчаннях

Модернізація проведена за такими напрямками:

1. демонтаж застарілої апаратури радіозв’язку:
   - демонтовано 2 комплекти радіостанцій Р-111;
   - демонтовано комплект радіорелейної станції Р-403МН.
2. встановлення сучасних комплексів радіозв’язку:
   - встановлено широкодіапазонну УКХ радіостанцію Alinco DR-130;
   - встановлено УКХ радіостанцію «Виола-АА»;
   - встановлено радіоподовжувач телефонної лінії Senao SN-258 plus;
   - встановлено КХ радіостанцію Icom IC-718;
3. модернізація бортової мережі:
   - встановлено перетворювач напруги 26В/12В для живлення радіоапаратури;

- встановлено груповий зарядний пристрій для акумуляторів носимих радіостанцій;

4. організація АРМ
   - до табелю належності введено комп'ютер планшетного типу з встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням (електронний атлас автомобільних доріг, інформаційна карта України з можливістю моделювання викиду СДОР тощо).

Таблиця 8.3. Технічні характеристики комбінованої радіостанції Р-142Г (КРС) до модернізації

Найменування (шифр) радіостанції	**Тип антени**	**Вид зв'язку**	**Дальність зв'язку, км**		**Діапазон частот, МГц**	**Примітки**
			вдень	вночі		
Р-111	Штирьова антена 3,4 м	Телефонний, симплексний	30	30	20…52	На стоянці і в русі
	Комбінована штирьова антена, піднята на 11-метровій телескопічній мачті		60	60	20…52	На стоянці
Р-123МТ	Штирьова антена 4 м	Телефонний, симплексний	20	20	20…51,5	На стоянці і в русі
	Комбінована штирьова антена, піднята на 11-метровій телескопічній мачті		40	40	20…51,5	На стоянці
Р-403МН	«Хвильовий канал»	Телефонний, дуплексний	45	45	60…69,975	На стоянці

Дана КШМ дозволяє організувати надійний радіообмін на місці ліквідації НС та призначена для розміщення робочих місць офіцерів штабу з ліквідації НС.Апаратура КШМ дозволяє:

1. організувати систему радіозв'язку на місці ліквідації НС в радіусі до 3-5 км від місця розгортання КШМ (дальність радіозв'язку залежить від умов рельєфу місцевості);
2. організувати радіозв'язок зі стаціонарними радіостанціями пунктів зв'язку частин, загонів та гарнізону оперативно-рятувальних сил на відстані до 80 км;
3. організувати радіозв'язок в КХ-діапазоні на відстань близько 1000 км;
4. організувати радіозв'язок в УКХ- діапазоні зі службами взаємодії (міліція, міськводоканал, медичною службою, тощо);
5. організувати мережу польового телефонного зв'язку з можливістю виходу на в телефонні мережі загального користування (у разі наявного поблизу місця встановлення КРС дротяних ліній телефонного зв'язку);

6. отримати вихід до телефонної мережі загального користування за умови наявності діючих ліній телефонного зв'язку на відстані до 40км;
7. проводити гучномовне оповіщення на дальність до 300м від місця встановлення КРС;
8. отримати доступ до мережі Internet (за наявності покриття оператором мобільного зв'язку) та користуватися послугами електронної пошти.

До складу штатного екіпажу КШМ входить начальник пересувного вузла зв'язку, водій-електрик та два радіотелефоніста. Передбачено робочі місця для керівника ліквідації НС та працівників штабу (до 4 чоловік).

Таблиця 8.4. Технічні характеристики комбінованої радіостанції Р-142Г (КРС) після модернізації

Тип (шифр) радіостанції	**Тип антени**	**Вид зв'язку**	**Дальність зв'язку, км**		**Діапазон частот, МГц**	**Примітки**
			вдень	вночі		
«Виола-АА»	Штирьова антена $5/8\lambda$	Телефонний, симплексний	25	25	148…148,975	На стоянці і в русі
	Колінеарна антена $2\times7/8\lambda$, піднята на 11-метровій телескопічній мачті		40	40	148…148,975	На стоянці
Alinco DR-130	Штирьова антена $5/8\lambda$	Телефонний, симплексний	30	30	136,000…174,000	На стоянці і в русі
	Колінеарна антена $2\times7/8\lambda$, піднята на 11-метровій телескопічній мачті		80	80		На стоянці
Р-123МТ	Штирьова антена 4 м	Телефонний, симплексний	20	20	20…51,5	На стоянці і в русі
	Комбінована штирьова антена, піднята на 11-метровій телескопічній мачті		40	40	20…51,5	На стоянці
Icom IC-718	«Інвертед Ві» (похилий диполь) або «long wire»	Телефонний, симплексний	1000	1000	1,5…29	На стоянці
Senao SN-258Plus	Штирьова антена	Телефонний, дуплексний	30	30	254,000; 380,000	На стоянці і в русі
	Направлена антена типу «хвильовий канал»		50	50		На стоянці

В таблиці 8.3 наведено характеристики комплексів радіоапаратури КШМ Р-142Г до модернізації; в табл. 8.4. – після проведеної модернізації.

Таблиця 8.5. Табель належності рухомого пункту управління (командно-штабної машини)на базі модернізованої КРС Р-142Г

№ п/п	Назва технічного засобу	Тип	Кількість
1.	Автомобіль підвищеної прохідності з КУНГ для розміщення обладнання зв`язку та робочих місць працівників штабу ліквідації НС	ГАЗ-66	1
2.	УКХ-радіостанція автомобільна	Виола-АА Alinco DR-130	1 1
3.	КХ-радіостанція	Icom IC-718	1
4.	УКХ радіостанція автомобільна резервна	Виола-АА	1
5.	УКХ радіостанція для організації зв`язку взаємодії	Р-123МТ	1
6.	УКХ радіостанція переносна	Виола-Н	5
7.	Зарядний пристрій для акумуляторів переносних р/станцій груповий	Ромашка	1
8.	Комутатор польовий	П-193М	1
9.	Апарати телефонні польові	ТА-57	5
10	Кабель польовий	П-274 (П-275)	500 м
11.	Котушка телефонна	Т-2	1
12.	Установка гучномовна	ГУ-20М	1
13.	ПЕОМ		1
14.	Радіомодем (GSM-модем)		1
15.	Щогла (мачта) телескопічна	11 метрів	3
16.	Антенно фідерні пристрої для забезпечення роботи УКХ-радіостанцій в транспортному та стаціонарному режимі експлуатації (на всі радіостанції змонтовані на ППК)	Використано 50-тиомний кабель Rg-58	Комплекти на всі станції
17.	Бензоелектростанція	АБ-І-П/30 1кВт/26 В	1

Машина має такі режими роботи:

Під час руху забезпечується одночасна робота:

- радіостанції «Виола-АА» або Alinco DR-130 на штирьову антену (5/8-хвильовий вібратор);
- Р-123МТ (в діапазоні 20-52 МГц);
- радіоподовжувача Senao SN-258Plus з виходом на телефонну мережу загального користування за умови встановлення бази радіоподовжувача на відстані до 40км (в залежності від рельєфу місцевості).

На стоянці забезпечується одночасна робота:

- радіостанції «Виола-АА» на штирьову антену (5/8-хвильовий вібратор);
- радіостанції DR-130 на колінеарну базову антену (2×7/8-хвильовий вібратор) встановлену на 11-м мачті;

- радіостанції Р-123МТ на 4-х метрову штирьову антену АШ-4;
- радіостанції ІС-718 (в діапазоні 1,5-29 МГц) на антени типу «інвертед-V» та «long Wire» встановлені на 11-м мачті;
- до 10 польових телефонів ТА-57 в системі польового телефонного зв'язку (через комутатор П-193);
- однієї лінії провідного телефонного зв'язку мережі загального користування;
- носимих УКХ радіостанцій в діапазонах частот 20-52 МГц та 145-174 МГц;
- радіоподовжувача Senao SN-258Plus з виходом на телефонну мережу загального користування за умови встановлення бази радіоподовжувача на відстані до 40км (в залежності від рельєфу місцевості);
- GSM-модему, що дозволяє організувати передачу графічних файлів через мережу Internet, отримати доступ до інформаційних ресурсів мережі, скористатися послугами електронної пошти та відправляти/отримувати факсограми (в разі наявності в місці розгортання КШМ GSM-покриття).

Після переоснащення КШМ набула нових характеристик і параметрів які були не притаманні базовому зразку. Проведена модернізація апаратури зв'язку і використання шасі базового зразка дозволило досягти значного економічного ефекту в порівнянні з проектуванням та виготовленням нового зразка РВЗ. Використання сучасної апаратури зв'язку та введення до табелю належності ЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням дозволяє швидко і точно отримувати дані про НС, що склалась та проводити комп'ютерне прогнозування її розвитку (зон можливого хімічного забруднення тощо). Крім того, використання GSM-модему дозволяє використовувати сучасні технології доступу до інформаційних ресурсів мережі Internet, а також забезпечувати передачу графічної інформації з місця ліквідації НС (фотографії, факсограми тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Л.С. Чайников, А.С. Брагин. Военная техника радио и электропроводной связи. Часть 1. Радиосвязь. Киев: КВВИУС, 1984.–208с.
2. Чудинов В.Н., Терехин А.А., Шаровар Ф.И. Связь пожарной охраны. – М.: ВИПТ МВД СССР, 1980.–177 с.
3. Електронний ресурс: http://www.viol.uz/
4. Кадушкин Е.В., Кузнецов И.М. Основы электроники и техники связи. М.: Колос, 1976, – 416 с.
5. Айзенберг Г. Коротковолновые антенны. – М.: Связьиздат, 1962.
6. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Часть 2. Основы и практика. – М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2006. – 288 с.
7. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Часть 1. Компьютерное моделирование. MMANA. – М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2004. – 128 с.
8. Рад Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике: Пер. с нем. – М. Мир, 1990.
9. Ротхаммель К. Антенны: Пер. с нем. – 3-е изд., доп. – М.: Энергия, 1979. – 320 с., ил.
10. Эксплуатация радиотехнических комплексов / А.И. Александров, Г.А. Бобровник, А.С. Еременко, Н.М. Поляков, Ю.Б. Русинов / Под ред. А.И. Александрова. – М.: «Сов. радио», 1976. – 280 с.
11. М.А. Чухман, О.Л. Муравьев, Т.Л. Альховская, Г.В. Панков, А.Г. Урьев. Основы радиосвязи, радиовещания и радиорелейных линий. Учебник для техникумов связи. – М.: Связь, 1976. – 296 с.
12. Електронний ресурс: http:/www.sagatelecom.ru/
13. С.В.Кунегин. Системы передачи информации. Курс лекций. М.: в/ч 33965, 1997, – 317 с., с илл.
14. Електронний ресурс: http:/iridium.com/
15. Іванченко А.Ю. Сучасні системи радіозв’язку та їх застосування в пожежній охороні: Посібник з дисципліни «АСУ і зв’язок». – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МВС України, 2001 – 46 с.
16. Проект Настанови із організації зв’язку та інформаційних систем в МНС України.
17. Шаровар Ф.И. Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране. М.: Радио и связь, 1987.–304с.; ил.
18. Комбинированная радиостанция Р-142Г. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЯГ1.201.035 ТО. 1978 г.
19. В.И. Зыков, Л.И. Кимстач, Н.Н. Ильинский, Ю.В. Чекмарев. Методические указания и контрольные задания на расчетно-графические работы по курсу «Автоматизированные системы управления и связь». – М.: Московский институт пожарной безопасности МВД РФ, 1998. – 105 с.
20. Мясковский Г.М. Системы производственной радиосвязи. – М.: Связь, 1980. – 295 с.
21. Зыков В.И., Елизаренко А.В. Методические указания по расчету системы стационарной радиосвязи. – М.: Транспорт, 1977. – 26 с.
22. Зыков В.И. Методические указания и контрольные задания на расчетно-графические работы по курсу «АСУ и связь пожарной охраны» для слушателей ФЗО. – М.: МИПБ МВД РФ, 1997.
23. Командно-штабные машины: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 112 с.

24. Автоматизовані системи управління та зв'язок у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник/ І.А.Чуб, В.Є. Пустоваров, Г.Е.Винокуров, П.М.Бортнічук, Л.А.Клименко,/ За загальною редакцією Щербака Г.В. – Харків, 2005. – 272 с.
25. Електронний ресурс: http://www.unicomm.ru/
26. Електронний ресурс: http://www.compasr.uz/
27. Електронний ресурс: http:/alexradio.com.ua/
28. Бушуй Л.А. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Методические указания по изучению теоретического курса раздела «Распространение радиоволн». – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 41 с.
29. Чудинов В.Н., Терехин А.А., Шаровар Ф.И. Связь пожарной охраны. – М.: ВИПТ МВД СССР, 1980.–177 с.
30. Проект Настанови із організації зв’язку та оповіщення в МНС України.
31. Тимчасове керівництво по радіозв’язку МНС України. Частина 1.
32. Керівництво по радіозв'язку Збройних сил України. Частина ІІ. Правила радіозв’язку.